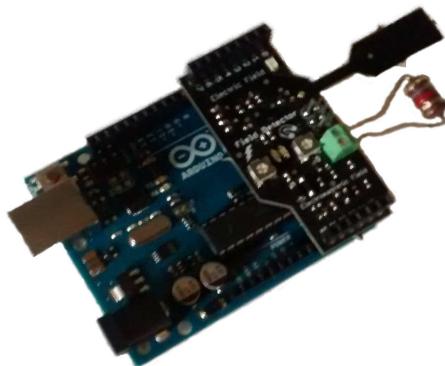




Departamento de Ingeniería Eléctrica

Proyecto Fin de carrera

**DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS
ELÉCTRICOS Y CAMPOS
ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO**



Autor: Andrés Martínez Rincón

Directores: Miguel Samplón Chalmeta

David Gascón Cabrejas

Ingeniería Técnica Industrial, Electrónica Industrial

Curso 2013-2014

Convocatoria Marzo

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Índice

1. Introducción	Pág. 9
1.1 Marco de trabajo	Pág. 9
1.1.1 Libelium y sus productos	Pág. 9
1.1.2 Las redes sensoriales	Pág. 10
1.2 Justificación	Pág. 17
1.2.1 Objeto	Pág. 17
1.2.2 Motivación del proyecto	Pág. 18
1.3 Objetivos	Pág. 18
1.3.1 Alcance	Pág. 19
1.4 Antecedentes	Pág. 21
1.5 Desarrollo del proyecto	Pág. 22
1.5.1 Seguimiento del proyecto	Pág. 22
2. Estudio del estado del arte	Pág. 24
2.1 Estudio de los campos a detectar	Pág. 24
2.1.1 Los campos eléctricos	Pág. 24
2.1.2 Los campos electromagnéticos	Pág. 25
2.1.3 Diferencia entre los campos eléctricos y los campos electromagnéticos en los circuitos eléctricos	Pág. 26

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

2.2 Estudio de los adaptadores utilizados y por utilizar

Pág. 28

2.2.1 La tecnología Arduino	Pág. 28
2.2.1.1 Características de Arduino	Pág. 29
2.2.1.2 Aplicaciones	Pág. 32
2.2.2 La tecnología Wasp mote	Pág. 33

3. Planteamiento Inicial Pág. 42

3.1 Sensor de Campos Eléctricos	Pág. 42
3.2 Sensor de Campos Electromagnéticos	Pág. 43

4. Sensor de campos eléctricos Pág. 45

4.1 Análisis y elección del diseño	Pág. 45
4.1.1 Otros diseños	Pág. 45
4.2 Elección de componentes y justificación	Pág. 48
4.3 Resultados reales	Pág. 49

5. Sensor de campos electromagnéticos Pág. 51

5.1 Análisis y elección del diseño	Pág. 51
------------------------------------	---------

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

5.1.1 Uso de un Fluxgate	Pág. 51
5.1.2 Amplificación de una intensidad inducida mediante amplificadores operacionales	Pág. 52
5.1.2.1 Amplificador uA741	Pág. 53
5.1.2.2 Amplificador LF351	Pág. 55
5.1.2.3 Amplificador TL084	Pág. 57
5.1.2.4 Amplificador de instrumentación INA122	Pág. 58
5.1.3 Amplificación de una intensidad inducida mediante transistores	Pág. 60
5.2 Elección de componentes y justificación	Pág. 61
5.3 Resultados reales	Pág. 63
6. Adaptación para Arduino	Pág. 65
6.1 Diseño Hardware	Pág. 65
6.2 Diseño Software	Pág. 66
6.2.1 Otras aplicaciones	Pág. 70
7. Futura adaptación para Wasp mote y otras plataformas	Pág. 71
7.1 Diseño Hardware	Pág. 71

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

7.2 Diseño Software

Pág. 72

8. Conclusiones

Pág. 74

8.1 Conclusiones personales

Pág. 75

8.2 Agradecimientos

Pág. 76

8.3 Líneas futuras

Pág. 77

9. Glosario

Pág. 79

10. Bibliografía

Pág. 80

10.1 Referencias bibliográficas

Pág. 80

10.2 Linkografía

Pág. 80

11. Anexos

Pág. 82

11.1 Artículo “*¿Qué son los sensores?*”

Pág. 82

11.2 Artículo “*Las ecuaciones de Maxwell*”

Pág. 82

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

11.3 Artículo “¿Qué son los campos electromagnéticos?”	Pág. 82
11.4 Artículo sobre el sensor de campos eléctricos inicial	Pág. 82
11.5 Sensor de campos electromagnéticos comercial	Pág. 82
11.6 Esquemas sobre los supuestos sensores de EMF para Arduino	Pág. 83
11.7 Artículo informativo sobre el fluxgate	Pág. 83
11.8 Esquemas para la detección de campos electromagnéticos mediante amplificadores operacionales	Pág. 83
11.9 Datasheet bc847c	Pág. 84

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

1. Introducción

1.1 Marco de trabajo

Este Proyecto de Fin de Carrera (PFC) se ha realizado en colaboración con la empresa Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. bajo la dirección de su cofundador y director de Investigación y Desarrollo (I+D), D. David Gascón Cabrejas, ingeniero en Informática, y bajo la supervisión de D. Miguel Samplón Chalmeta como ponente, profesor titular del departamento de electricidad de la Universidad de Zaragoza.

El proyecto se ha llevado a cabo íntegramente en las instalaciones de Libelium en el Centro Europeo de Empresas e Innovación de Aragón (CEEI), desde junio de 2013 hasta diciembre de 2013, bajo el formato de prácticas/proyecto en empresa de UNIVERSA.

1.1.1 Libelium y sus productos

Libelium es una empresa de diseño y fabricación de Hardware para la implementación de redes sensoriales inalámbricas, redes malladas y protocolos de comunicación para todo tipo de redes inalámbricas distribuidas.

Nace en 2006 como empresa *spin-off* de la Universidad de Zaragoza. Sus productos se han vendido en más de 40 países y sus esfuerzos se han visto reconocidos con diversos premios. En ella se utiliza en gran medida el *software libre* y el *firmware* tiene una licencia pública GPL (*General Public License*).

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Entre los productos de Libelium cabe destacar los más relevantes:

- Waspmove: dispositivo sensorial para la creación de redes sensoriales inalámbricas (actuando como nodo) de bajo consumo.
- Meshlium: dispositivo *router* multitecnología que integra tecnología *Wifi, ZigBee, GPRS, GPS y Bluetooth*.

1.1.2 Las redes sensoriales

Las redes sensoriales inalámbricas, también conocidas como WSN, son redes que buscan monitorizar el entorno. Compuestas por pequeñas máquinas, equipadas con distintos tipos de sensores, trabajan de forma colaborativa para la medición de datos captados del exterior. A cada una de estas máquinas se le llama *mote* o nodo.

Las principales características de este tipo de redes son:

- Escalabilidad: La capacidad de auto-organización de la red permite la instalación de nuevos *motes* y aumentar el área de monitorización. Éstos son reconocidos automáticamente por el resto de forma que actualizan sus tablas de rutas en consecuencia. Esto permite la instalación de WSN en gran variedad de escenarios.
- Alta disponibilidad: En caso de que un *mote* deje de funcionar, el resto de valores pueden seguir siendo transmitidos por caminos alternativos. Esto es gracias a los algoritmos de enrutamiento dinámicos que se encargan de actualizar las rutas.
- Fácil implantación: El hecho de que la comunicación es inalámbrica y que los *motes* son alimentados por medio de baterías, hace que la instalación sea fácil y posible en cualquier entorno.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

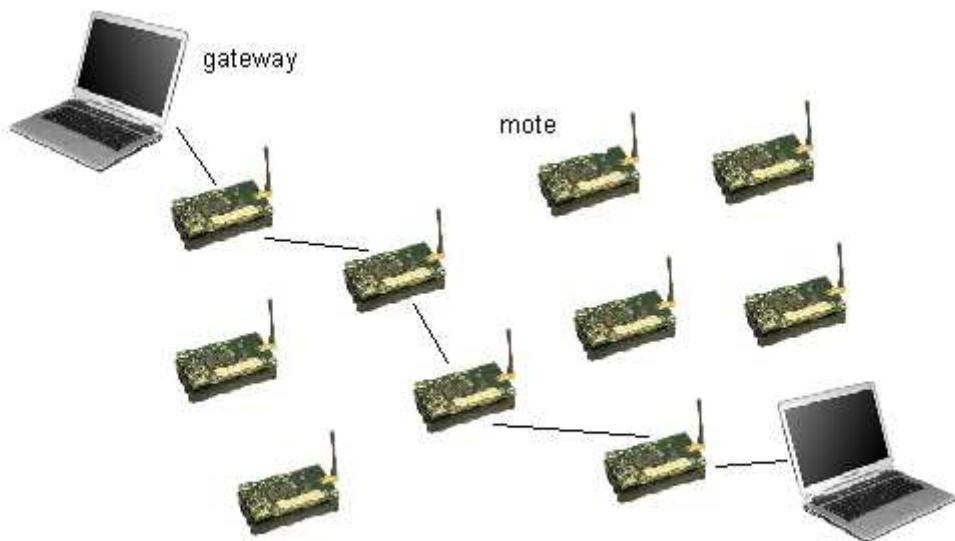


Fig. 1 Red sensorial inalámbrica

En sus orígenes estas redes se enfocaban a aplicaciones militares, pero actualmente están enfocadas a un mayor número de aplicaciones:

- Agricultura y ganadería: Es posible gestionar el cuidado de cultivos en viveros e invernaderos. Mediante la combinación de sensores de humedad, temperatura y luminosidad es posible detectar riesgo de heladas, posibles enfermedades de las plantas o la necesidad de riego. En explotaciones intensivas de tipo invernadero, las redes distribuidas ayudan a automatizar los procesos. Al aplicar el riego exacto en el momento justo, el ahorro de agua y otros recursos es considerable y la producción óptima, tanto en cantidad como en calidad.
- Medio ambiente: A través de una red sensorial inalámbrica es viable detectar y prevenir incendios forestales. Esto es realizable mediante sensores de infrarrojos, ultravioleta, temperatura y gases. A su vez, es posible monitorizar los niveles de contaminación de la atmósfera y recoger datos sobre

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

el clima. De esta forma es posible tomar medidas en consecuencia y garantizar un desarrollo sostenible.



Fig. 2 Red sensorial inalámbrica para agricultura

- Salud: La instalación de una red sensorial de comunicación en el entorno cercano a un paciente o persona con limitaciones, permite una atención y control constante. Es posible incluir sensores de parámetros biométricos, capaces de monitorizar los latidos, la respiración, movimientos, etc. De esta forma es posible dar un servicio de monitorización de constantes vitales desde el propio domicilio del paciente, de manera que su calidad de vida mejore.
- Detección de vehículos: Las redes WSN pueden usar una serie de sensores de cara a detectar vehículos, desde motocicletas hasta vagones. Por lo tanto, pueden informar de la situación del tráfico en ángulos muertos que no cubren las cámaras, o informar a los conductores en caso de atasco/accidente para tomar rutas alternativas.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

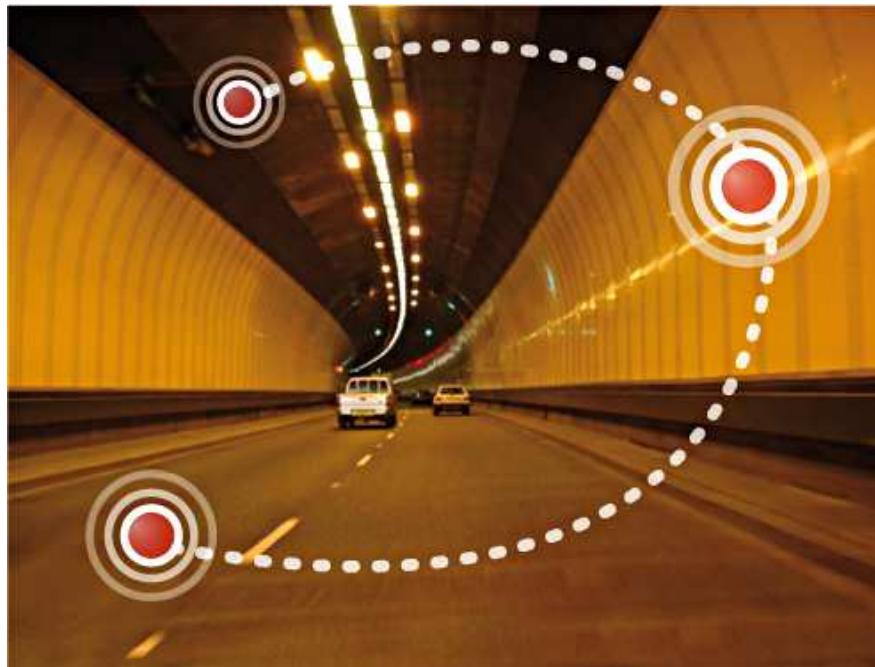


Fig. 3 Red inalámbrica para detección de vehículos

- Seguridad y emergencias: Es posible desplegar una red sensorial inalámbrica de vigilancia en cualquier parte. El objetivo es la detección de posibles intrusos y envío de las alarmas oportunas mediante sensores de infrarrojos, ultrasonidos, vibración, presión etc. Otras aplicaciones son el uso de sensores de campo magnético para la detección del estado de puertas y ventanas.
- Control del hogar y automatización de edificios: El manejo adecuado de los diferentes dispositivos de calefacción, refrigeración e iluminación de un hogar es facilitado por las redes WSN. Así como también es posible llevar un control detallado del gasto de gas, agua, electricidad, entre otros.
- Procesos industriales: El control de las emisiones y escapes de gases es un aspecto que preocupa tanto empresarial como ecológicamente para el desarrollo sostenible. Las redes sensoriales también sirven para mejorar la

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

calidad del producto final controlando los parámetros que influyen en su desarrollo.

- Control del hogar y automatización de edificios: El manejo adecuado de los diferentes dispositivos de calefacción, refrigeración e iluminación de un hogar es facilitado por las redes WSN. Así como también es posible llevar un control detallado del gasto de gas, agua, electricidad, entre otras.

Entre sus ventajas destacar:

- Sin cables
- Auto-organización
- Escalabilidad
- Robustez
- Fiabilidad
- Seguridad
- Mínimo mantenimiento

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

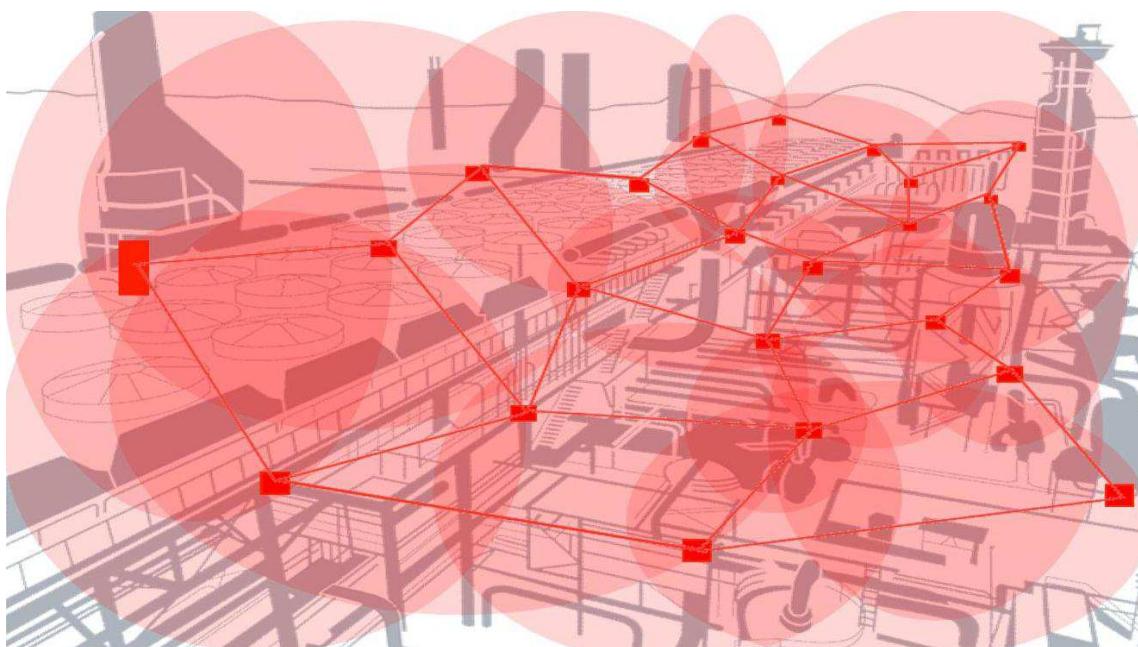


Fig. 4 Red sensorial inalámbrica para proceso industrial

Por otro lado existen una serie de limitaciones:

- Limitaciones de Hardware: incluyendo problemas de tamaño, ya que el dispositivo está acompañado de una unidad de potencia (batería y/o células solares), electrónica asociada a los sensores, una unidad de proceso y un transceptor para conectar el nodo con la red WSN.
- Limitación en el suministro de energía: El nodo de la red WSN tiene una fuente de potencia limitada. La administración y reserva de la potencia son críticas para este tipo de redes, y es necesario diseñar protocolos y algoritmos que tengan en cuenta esta limitación.
- Limitaciones medioambientales: En varias ocasiones, estas redes son utilizadas en localizaciones geográficas remotas, y los nodos de la red pueden estar sujetos a una serie de condiciones ambientales duras o aisladas.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

- Canales de transmisión: Las redes sensoriales a menudo operan en un ancho de banda concreto. Algunos dispositivos utilizan canales de RF a 868 o 900Mhz; otros sistemas utilizan la banda de 2.4Ghz mediante el protocolo IEEE 802.15.4.

Para facilitar la operatividad global de estas redes, el canal de transmisión seleccionado debe estar disponible a un nivel lo más extenso posible.

Over The Air Programming with 802.15.4 / ZigBee

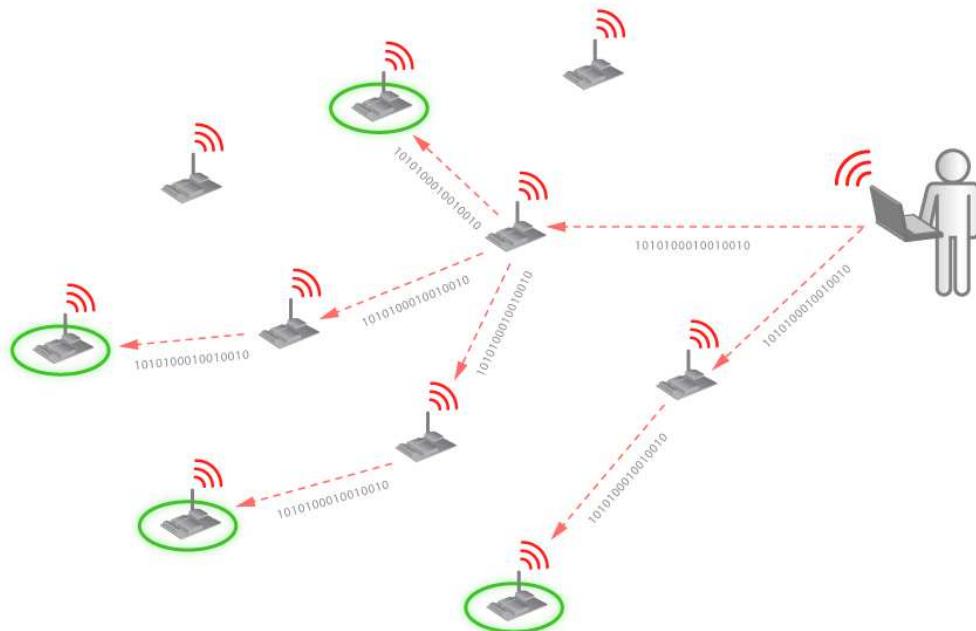


Fig. 5 Red sensorial inalámbrica

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

1.2 Justificación

1.2.1 Objeto

Libelium es una empresa de sensores, y por ello, cuando ofreció este proyecto constató inicialmente que el objetivo de éste era construir un prototipo capaz de detectar cuando tenemos un aparato en funcionamiento, para una de las plataformas más habituales con las que trabaja, Arduino. Para llevar a cabo este fin, a lo largo del proceso inicial de investigación, se planteó la idea de construir un prototipo capaz de detectar campos eléctricos y campos electromagnéticos de forma no invasiva para la plataforma ya mencionada.

El proyecto abarca multitud de campos y tareas a realizar, desde la investigación necesaria para la comprensión del funcionamiento de los módulos, hasta el estudio de los dos componentes pasivos fundamentales para la detección de los campos deseados que son la bobina y el condensador, y así aprender a configurarlos de manera correcta y más eficiente.

Como resultado final se espera un detector de bajo coste, que pueda implementarse en el mercado con un precio bastante asequible, y pueda ser utilizado en plataformas como Arduino o WaspMote, aunque en este proyecto nos centraremos en Arduino

Para ello comenzaré con una investigación de los dos campos que se van a trabajar en el proyecto. Se continuará con distintas pruebas con diversos circuitos que permitan su detección, para adquirir información de los resultados experimentados. Una vez obtenidos los resultados deseados se comenzará el diseño de los módulos y su fabricación, y así finalizar con una serie de pruebas para comprobar si funciona correctamente.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

1.2.2 Motivación del proyecto

Este proyecto surge de la necesidad de ampliar la gama de sensores de la tecnología de Libelium disponibles en el mercado.

Hoy en día los sensores son una parte muy importante de la electrónica, y por ello la empresa ya cuenta con hasta cincuenta y siete aplicaciones disponibles dentro su mundo de redes sensoriales inalámbricas *Smarter World*. El principal objetivo de la empresa es el de ampliar el campo de aplicaciones de su tecnología, pero manteniendo los niveles de rendimiento del sistema y de precisión.

Dentro de las aplicaciones actuales de la detección de campos eléctricos que nos interesa conocer es saber si un cableado proviene de la red o no, en definitiva saber si está conectado a una tensión. Obtenido este dato, podemos complementarlo con la aplicación que más nos conviene de la detección de campos electromagnéticos, que es la de determinar si por el cableado circula además una corriente, lo que nos permite a su vez saber si ese cableado está conectado a un circuito o un aparato que se encuentra en funcionamiento.

1.3 Objetivos

Analizado el objeto del proyecto, el objetivo principal de este PFC es la construcción y puesta a punto de un prototipo electrónico que incorpore la posibilidad de detección de tanto campos eléctricos y que permita la detección de campos electromagnéticos en una misma placa electrónica diseñada para Arduino Uno.

Para ello, analizaremos y haremos una serie de pruebas sobre los diferentes circuitos que podemos encontrar en fuentes de información como Internet, y sobre los prototipos actuales del mercado basados en este tipo de sensores.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Podemos definir también una serie de objetivos secundarios relacionados con la finalización del proyecto:

- Investigar todos los campos que deseamos detectar.
- Investigar las distintas aplicaciones y usos de la detección de ambos campos.
- Elección, integración y validación de los componentes que me permitan la detección de éstos.
- Comprender en profundidad el hardware utilizado (datasheet, documentación técnica...).
- Diseñar un sistema adecuado, con la alimentación apropiada, y bajo unos requisitos preestablecidos, garantizando su autonomía y minimizando el consumo.

1.3.1 Alcance

En este proyecto, aunque su función sea solo como detector, vamos a ser capaces de captar la magnitud de campo eléctrico y de campo electromagnético utilizando dos sensores.

Según el artículo “*¿Que son los sensores?*”, de la página web www.bitsingenio.com (Ver Anexo 11.1) éstos son dispositivos electrónicos con la capacidad de detectar la variación de una magnitud física tales como temperatura, iluminación, movimiento y presión; y de convertir el valor de ésta, en una señal eléctrica ya sea analógica o digital.

Un sensor es un elemento idóneo para tomar, percibir o sensar una señal física proveniente del medio ambiente y convertirla en una señal de naturaleza transducible. Un sensor o captador convierte las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica o magnética.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Estos elementos tienen un significado muy profundo: la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas, que por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas.

En la industria, los sensores son dispositivos encargados de percibir las variables físicas, tales como: presión, temperatura, pH, nivel, flujo, entre otras, controladas por un sistema que sigue una serie de instrucciones para verificar si el proceso está o no está funcionando.

Estos dispositivos se pueden llamar elementos primarios, ya que se encargan de sensar el valor de una variable dependiendo de lo que se esté controlando.

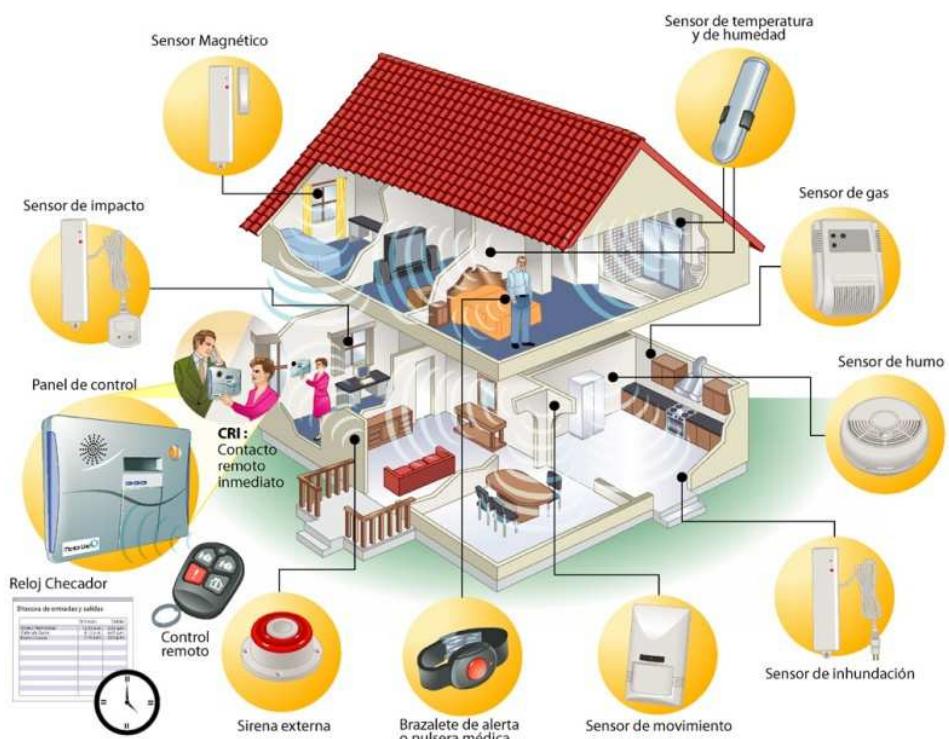


Fig. 6 Diferentes tipos de sensores

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Para hacernos una idea de la proyección de los sensores en el tiempo, se espera que en un futuro no muy lejano (ya se trabaja realizando experimentos para ser diseñados) sensores del tamaño de un grano de arroz pueden ser utilizados por las aerolíneas para buscar dentro de las estructuras de los aviones insectos grandes o roedores que podrían dañar el cableado u otros sistemas. Versiones aún más pequeñas, del tamaño de granos de sal, pueden agregarse a las pinturas para convertir superficies enteras en sensores inalámbricos capaces de detectar movimientos, funcionar como alarmas contra incendios o como sistemas de seguridad.

1.4 Antecedentes

Como indica la propia página web que la misma empresa da nombre, www.pepperl-fuchs.es, en 1958, ésta presentó al mundo el primer sensor de la historia, un sensor inductivo que serviría como circuito de control para unos transductores diseñados previamente en 1956 que eran controlados mediante contactos de fuentes intrínsecamente seguras.

Se combinaron así los caminos de innovación de la seguridad intrínseca y la tecnología de semiconductores, y nació la tecnología de sensores industriales, fundamental en la moderna tecnología de automatización industrial.

Llama la atención que solo 40 años después Pepperl+Fuchs esté produciendo más de 40 millones de sensores en más de 4.500 modelos distintos, y que menos del 33% tenga más de 2 años de antigüedad y ninguno más de 8 años. Estas cifras destacan el evidente crecimiento de esta tecnología en la actualidad.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

1.5 Desarrollo del proyecto

El desarrollo del proyecto se ha dividido en cuatro fases principalmente:

- En primer lugar se han estudiado los diferentes campos tanto eléctrico como electromagnético que vamos a tratar en el proyecto, los distintos sensores que vamos a utilizar y cuál va a ser la estrategia a llevar a cabo para implementar una salida de tensión como respuesta a tales magnitudes.
- En segundo lugar se ha implementado un prototipo, gracias a toda la investigación previa y pruebas experimentales que llevaron a la conclusión de que el circuito final era el adecuado, descartando previamente otras configuraciones que no dieron los resultados esperados.
- Por último, se ha revisado el prototipo para realizar una versión final, y se han llevado a cabo todas las pruebas necesarias para evaluar sus prestaciones y su correcto funcionamiento dándonos la función deseada.
- En paralelo a estas fases se ha ido realizando una memoria de proyecto, en la que se toma nota de todos los avances e investigaciones. Esta memoria ha sido la base de la actual documentación del proyecto.

1.5.1 Seguimiento

Se ha llevado a cabo un seguimiento de la búsqueda de información y de la ejecución del proyecto, tanto por parte de la universidad, como por parte de la empresa.

Estas son las dos vías distintas de seguimiento que se han llevado a cabo:

- Por medio de las distintas reuniones con D. Miguel Samplón Chalmeta, ponente y director del proyecto, profesor de la Universidad de Zaragoza.

En dichas reuniones se han tratado los siguientes temas:

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

- Aceptación de prácticas en empresa con elección del proyecto elegida por ésta previamente.
- Informes de avances.
- Fijación de los distintos documentos a presentar y sus índices.
- Revisión y modificación de documentos.
- Dudas generales.

- En la empresa, semanalmente, se han presentado los avances en el proyecto en reuniones con D. David Gascón, D. Luis Antonio Martín y D. Jorge Casanova, y con ellos los problemas que nos han aparecido. Esto ha permitido un avance continuo del proyecto.

Los principales problemas tratados han sido:

- Problemas en la investigación.
- Elección de la configuración del circuito.
- Errores de diseño.
- Acabado del producto.

También los distintos departamentos de la empresa (producción, diseño, I+D...) me han ayudado a resolver algunas de estas dudas o problemas que iban surgiendo a lo largo del desarrollo del proyecto.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

2. Estudio del estado del arte

2.1 Estudio de los campos a detectar

En este apartado se pretende dejar clara la diferencia entre los campos eléctricos y los campos electromagnéticos, que son los dos campos a medir en el prototipo, por lo cual es importante conocer que son y en que se diferencian el uno del otro.

2.1.1 Los campos eléctricos

Entre dos o más cargas eléctricas aparece una fuerza denominada fuerza eléctrica. Ésta se trata de una magnitud vectorial, cuyo módulo depende del valor de las cargas y de la distancia que las separa, mientras que su signo depende del signo de las cargas involucradas. Las cargas del mismo signo se repelen entre sí, mientras que las de distinto signo se atraen.

Los campos eléctricos se definen como una perturbación del espacio de forma que una carga eléctrica situada en su seno experimenta una fuerza proporcional a la perturbación.

El ejemplo más claro lo tenemos en el interior de un condensador. Éste es un dispositivo que cuando se expone a una diferencia de potencial, es capaz de almacenar energía en forma de campo eléctrico. Está separado por dos armaduras metálicas paralelas (generalmente de aluminio) en la que se distribuyen y almacenan las cargas, positivas y negativas, separadas por un material llamado dieléctrico donde se genera el campo eléctrico.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

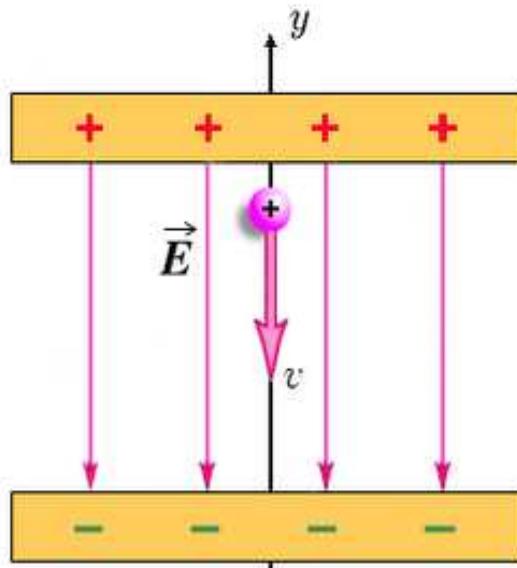


Fig. 7 Ejemplo de campos eléctricos en un condensador

2.1.2 Los campos electromagnéticos

Las ecuaciones de Maxwell describen por completo los fenómenos electromagnéticos. En este apartado no voy a extenderme en la descripción de estas ecuaciones, lo podemos encontrar en el Anexo 11.2, directamente se va a enfocar los efectos que estos fenómenos tienen sobre el cableado de los aparatos eléctricos.

Las cargas eléctricas, además de generar campos eléctricos, generan campos magnéticos. En el caso concreto de un cable conductor tenemos que estos campos son:

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

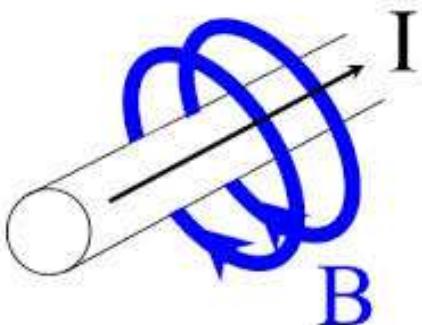


Fig. 8 Campos magnéticos originados por un conductor

Las ecuaciones de Maxwell decretan que aplicando estos campos magnéticos sobre un material conductor, aparece en éste una fuerza electromotriz inducida o FEM.

Gracias a este fenómeno podemos utilizar una bobina o inductor como sensor de campos electromagnéticos debido a que se trata de un dispositivo que debido a su configuración electrónica (espiras de alambre enrolladas) almacena energía en forma de campo magnético.

2.1.3 Diferencia entre campos eléctricos y campos electromagnéticos en los circuitos eléctricos

Es importante distinguir y tener claro cuando tenemos cada campo en un circuito eléctrico para poder realizar correctamente el prototipo del proyecto. Parece algo muy obvio para un ingeniero electrónico, pero como en los inicios del proyecto los directores de la empresa no lo tenían muy claro, expongo aquí una breve explicación extraída de un artículo de la Organización Mundial de la Salud sobre los campos electromagnéticos (Ver Anexo 11.3):

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

“Al enchufar un cable eléctrico en una toma de corriente se generan campos eléctricos en el aire que rodea al aparato eléctrico. Cuanto mayor es la tensión, más intenso es el campo eléctrico producido. Como puede existir tensión aunque no haya corriente eléctrica, no es necesario que el aparato eléctrico esté en funcionamiento para que exista un campo eléctrico en su entorno.

Los campos magnéticos se generan únicamente cuando fluye la corriente eléctrica. En este caso, coexisten en el entorno del aparato eléctrico campos magnéticos y eléctricos. Cuanto mayor es la intensidad de la corriente, mayor es la intensidad del campo magnético.”

En conclusión, cuando conectamos un aparato a la red eléctrica lo conectamos a una tensión, se genera un campo eléctrico en el cable de conexión, independientemente de si está enchufado o no. Sin embargo, hasta que no circula corriente por el cable de conexión éste no genera un campo electromagnético, por tanto es imprescindible que el aparato este enchufado para que se genere este tipo de campo.

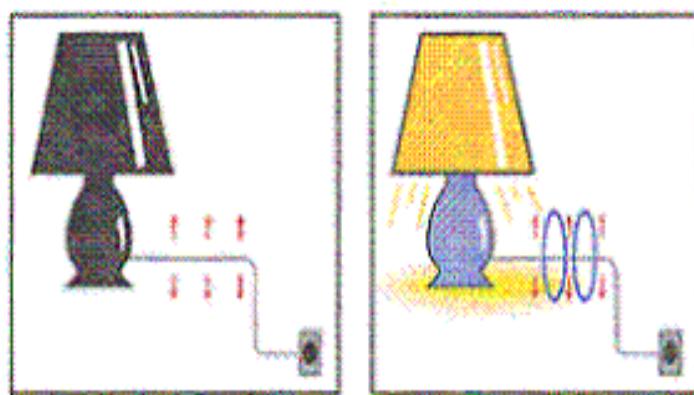


Fig. 9 Cuando circula intensidad (bombilla encendida) circula una I y como ésta es variable en el tiempo, se genera un campo EM. Si la corriente es cero no se produce campo magnético, aunque sí aparece un campo eléctrico.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

2.2 Estudio de los adaptadores utilizados y por utilizar

2.2.1 La tecnología Arduino

Arduino es una plataforma de hardware en abierto basada en los microcontroladores AVR de ATMEL. Se trata de una sencilla placa con entradas y salidas (E/S) analógicas y digitales que incluye un entorno de desarrollo para implementar el código en lenguaje C-C++.

Originalmente estaba pensada para el desarrollo de proyectos artísticos y entornos interactivos, pero debido a su versatilidad y facilidad de uso, se está usando en muchos otros proyectos, incluyendo robots, impresoras 3D, etc.



Fig. 10 Arduino Uno

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, MaxMSP).

Las placas pueden ser hechas a mano o compradas montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, así pues eres libre de adaptarlos a tus necesidades.

2.2.1.1 Características de Arduino

Hay muchos otros microcontroladores y plataformas con microcontroladores disponibles hoy en día en el mercado. Muchos otros ofrecen funcionalidades similares.

Todas estas herramientas organizan el complicado trabajo de programar un microcontrolador en paquetes fáciles de usar. Arduino, por sus características, además de simplificar el proceso de trabajar con microcontroladores, ofrece algunas ventajas respecto a otros sistemas a profesores, estudiantes y amateurs:

- **Asequible:** Las placas Arduino son más asequibles comparadas con otras plataformas de microcontroladores. La versión más cara de un módulo de Arduino puede ser montada a mano, e incluso ya montada cuesta bastante menos de 60€
- **Multi-Plataforma:** El software de Arduino funciona en los sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux. La mayoría de los entornos para microcontroladores están limitados a Windows.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

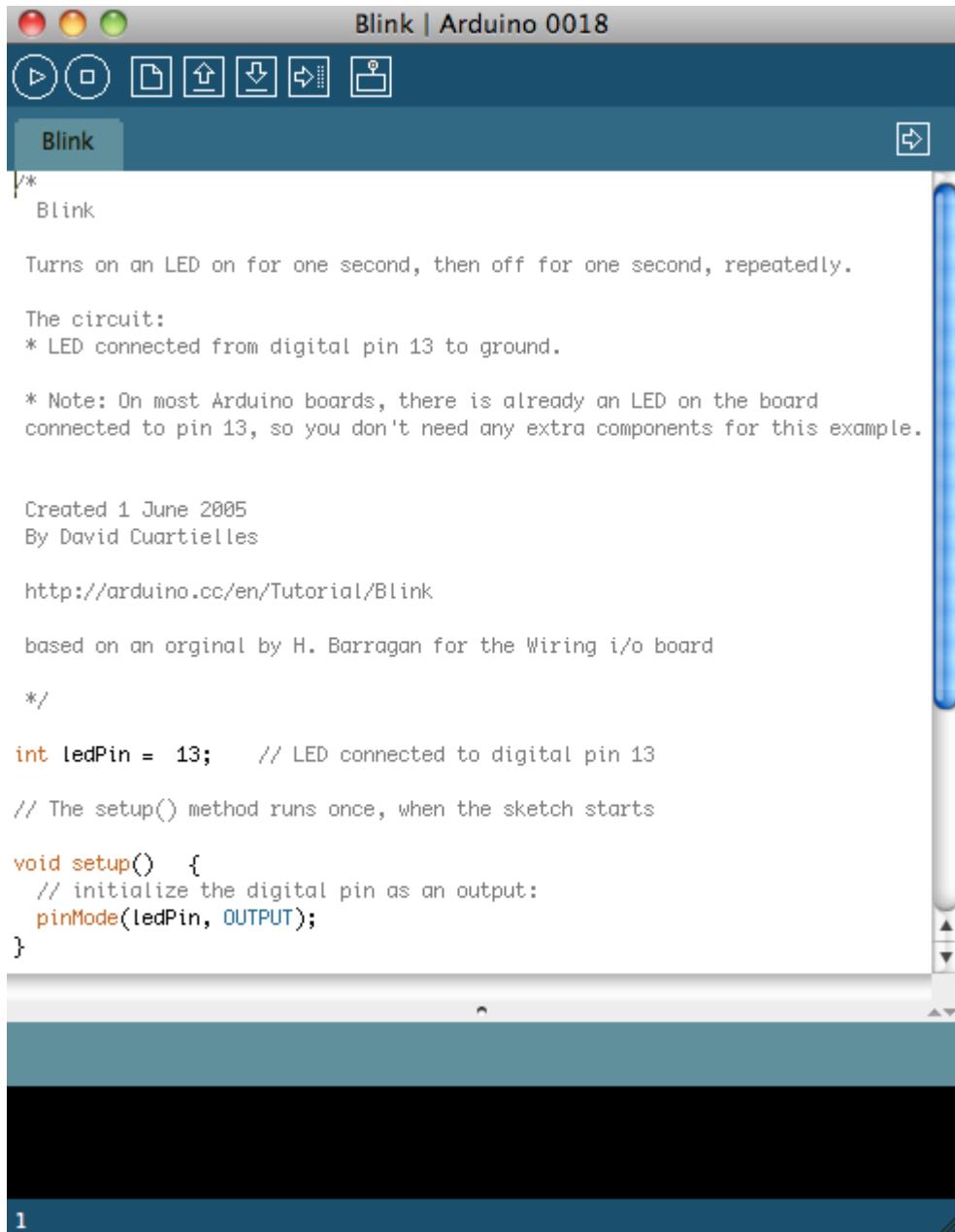
- Entorno de programación simple y directo: El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes y lo suficientemente flexible para los usuarios avanzados. Pensando en los profesores, Arduino está basado en el entorno de programación de Processing con lo que el estudiante que aprenda a programar en este entorno se sentirá familiarizado con el entorno de desarrollo Arduino.



Fig. 11 Logo de Arduino

- Software ampliable y de código abierto: El software Arduino está publicado bajo una licencia libre y preparada para ser ampliado por programadores experimentados. El lenguaje puede ampliarse a través de librerías de C++, y si se está interesado en profundizar en los detalles técnicos, se puede dar el salto a la programación en el lenguaje AVR C en el que está basado. De igual modo se puede añadir directamente el código en tus programas si así lo deseas.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14



```

Blink | Arduino 0018

Blink

/*
Blink

Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

The circuit:
* LED connected from digital pin 13 to ground.

* Note: On most Arduino boards, there is already an LED on the board
connected to pin 13, so you don't need any extra components for this example.

Created 1 June 2005
By David Cuartielles

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

based on an orginal by H. Barragan for the Wiring i/o board

*/
int ledPin = 13;      // LED connected to digital pin 13

// The setup() method runs once, when the sketch starts

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

1

```

Fig. 12 IDE de programación de Arduino

- Hardware ampliable y de código abierto: Arduino está basado en los microcontroladores ATMEGA168, ATMEGA328 y ATMEGA1280. Los planos de los módulos están publicados bajo licencia Creative Commons, por lo que diseñadores de circuitos con experiencia pueden hacer su propia versión del

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

módulo, ampliándolo u optimizándolo. Incluso usuarios relativamente inexpertos pueden construir la versión para placa de desarrollo para entender cómo funciona y ahorrar algo de dinero.

2.2.1.2 Aplicaciones

- Arduino se usa como “cerebro” de nuestro prototipo, ejerciendo de controlador y coordinador de nuestros sensores.
- Si queremos usar un ordenador más potente (o un portátil) como cerebro, Arduino puede servir como interfaz de control entre el ordenador y el prototipo.

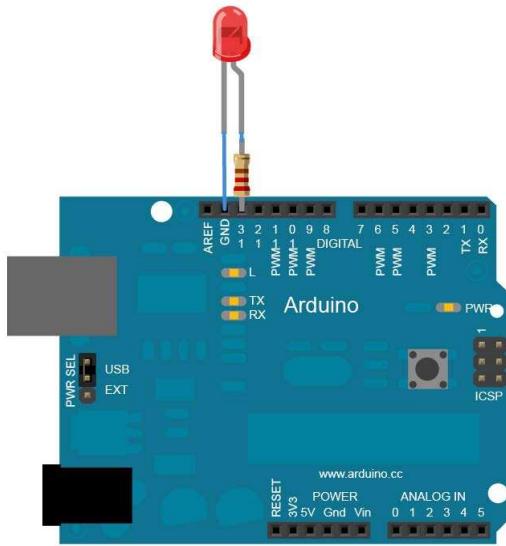


Fig. 13 Ejemplo de aplicación de un led en Arduino

Las aplicaciones que nos ofrece Arduino son múltiples, y dependerá de nuestra imaginación. Mediante sensores podemos crear aplicaciones sencillas enfocadas a la docencia para estudiantes de electrónica, proyectos más elaborados para la industria o incluso sistemas dirigidos simplemente al ocio.

Es muy utilizado también en los entornos artísticos para crear obras más elaboradas, dada su facilidad de programación.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

2.2.2 La tecnología Wspmote

Es importante nombrar esta tecnología porque pese a que el proyecto se basa finalmente en una placa para Arduino, en un futuro si que hay planes sobre la adaptación de los sensores por separado para este tipo de aparato.



Fig. 14 Logotipo libelium

Wspmote es un dispositivo sensorial inalámbrico, autónomo y de bajo consumo pensado para monitorizar cualquier tipo de sensor.

Fue desarrollado por el equipo de Libelium bajo los términos de software abierto Open Source, siguiendo la filosofía de la plataforma Arduino. Esto significa que cualquier persona tiene acceso y está autorizada a modificar la plataforma a nivel de código.

En noviembre de 2009 fue lanzado a la venta el developer pack, que contiene cinco Wspmotes completos y un Wspmote Gateway (conecta la red a un ordenador por su USB).

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14



Fig. 15 Waspmote

Waspmote está basado en el microcontrolador ATmega1281, que funciona a 8 MHz (ejecuta una instrucción de bajo nivel cada 125 ns) y que le proporciona 8 kB de SRAM, 4 kB de EEPROM y 128 kB de memoria flash.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

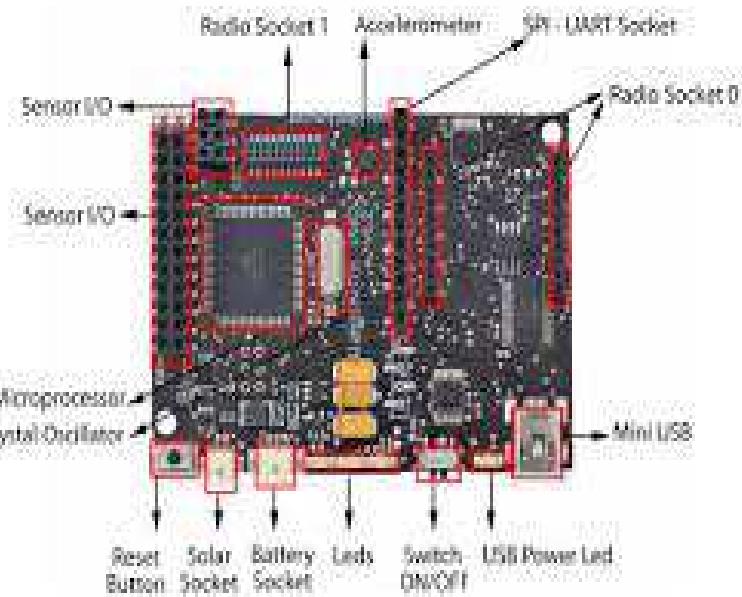


Fig. 16 Imagen de la parte superior de Waspmote, identificando sus bloques

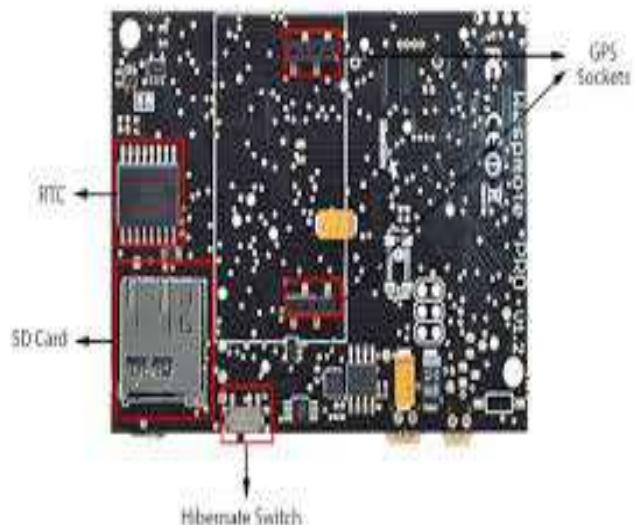


Fig. 17 Imagen de la parte inferior de Waspmote, identificando sus bloques

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

La arquitectura de Wasp mote es modular. La idea es adquirir únicamente los módulos que se necesiten facilitando la flexibilidad del sistema global. Los módulos se clasifican en:

- Placas de sensores
- Comunicaciones inalámbricas: ZigBee/802.15.4
- Comunicaciones GSM/GPRS
- Receptor GPS
- Almacenamiento en tarjeta SD, hasta 2 GB

Las placas de sensores desarrolladas en Libelium son múltiples, explicaremos tres de ellas:

- Placa de gases (sensores de CO₂, CO, O₂, metano, H₂, amoniaco, etanol, entre otros muchos)
- Placa de eventos (sensores de presión, peso, curvatura, presencia, vibración, impacto, entre otros)
- Placa de prototipado (para uso genérico, con electrónica auxiliar de soporte)

Wasp mote dispone de la función inalámbrica de unos puertos donde se puede conectar una amplia gama de módulos de comunicaciones de la marca XBee de la casa Digi, consiguiendo alcances de hasta 40 km:

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

	Protocolo	Frecuencia	Potencia TX	Sensibilidad	Rango
XBee-802.15.4	802.15.4	2.4 GHz	1 mW	-92 dBm	500 m
XBee-802.15.4-Pro	802.15.4	2.4 GHz	100 mW	-100 dBm	7000 m
XBee-ZB	ZigBee-Pro	2.4 GHz	2 mW	-96 dBm	500 m
XBee-ZB-Pro	ZigBee-Pro	2.4 GHz	50 mW	-102 dBm	7000 m
XBee-868	RF	868 MHz	315 mW	-112 dBm	40 km
XBee-900	RF	900 MHz	50 mW	-100 dBm	10 km



Fig. 18 Tabla de características de los módulos inalámbricos de WaspMote

Libelium ha desarrollado una tecnología que permite a cualquier WaspMote actuar dentro de una red como nodo final, router o coordinador, adaptándose a cualquier topología de red.

Además, WaspMote tiene un sistema por el cual un nodo se puede enganchar de forma automática a una red ya existente, de forma que la escalabilidad es muy alta y transparente para el usuario.

También es posible hacer las comunicaciones vía móvil con el módulo GPRS, que se basa en el modelo HiLo de Sagem con antena externa. Es cuatribanda (850/900/1800/1900 MHz) y entrega una potencia de transmisión de hasta 2 W, con una sensibilidad de recepción de -106 dBm. Se pueden realizar las siguientes acciones:

- Realizar/Recibir llamadas
- Realizar llamadas perdidas de x tonos
- Enviar/Recibir SMS
- Conexión a Internet a través de sockets TCP/IP y UDP/IP
- Servicio SMTP (envío de emails)
- Servicio POP3 (recepción de emails)

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

- Servicio FTP (descargar y subir ficheros)

En cuanto a pines, Wasp mote tiene 7 analógicos y 9 digitales, siendo posible configurarlos como entrada o como salida. Uno de los digitales puede operar como PWM (pulse width modulation). Aparte hay dos pines para realizar comunicaciones con el protocolo I2C (SDA y SCL) y otros tres pines de alimentación, con salidas de 5 V, 3,3 V y 0 V (tierra o GND). A través de todos estos pines se conectarán con Wasp mote las placas de integración electrónica desarrolladas en este proyecto.

El puerto mini-USB permite alimentar y transferir datos. Hay tres LEDs para monitorizar la potencia de señal (RSSI) y otros tres LEDs personalizables. Se tienen un interruptor de encendido/apagado y un botón de reset.

Se hizo hincapié en hacer de Wasp mote una máquina de muy bajo consumo para dotarle de una gran autonomía. Por lo general el mote está “dormido”, en modo deep sleep, consumiendo tan solo $62 \mu\text{A} \cdot \text{h}$. Cuando el mote debe realizar alguna acción, despierta y entra en modo ON, consumiendo $9 \text{ mA} \cdot \text{h}$. Entonces completa sus tareas (en general en pocos segundos) y vuelve a dormirse para ahorrar energía.

Como decímos, Wasp mote solo se despierta con interrupciones, que pueden ser de dos tipos:

Asíncronas:

- Sensores (umbral programable), por los pines TX y RX
- Batería baja (umbral programable)
- Acelerómetro: Caída libre, impacto (umbral programable)
- Llegada de SMS, llamadas y datos

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Síncronas:

- Watchdog: alarmas programables: desde 32 ms a 8 s
- RTC: alarmas programables: desde 1 s a días

Sus posibles fuentes de alimentación son:

- Batería de litio recargable de 1100 o 1900 mA · h
- Batería de litio de 13000 mA · h
- Para recargar, placa solar rígida (12 V – 200 mA) o flexible (7V – 100 mA)
- Cable USB para ordenador (5 V – 100 mA)
- Convertidor de 220 V a USB para conectar a la red eléctrica
- Convertidor de mechero de vehículo a USB

El sistema dispone del RTC (real time clock) modelo DS3231SN a 32 kHz, que es un integrado externo que proporciona una señal de reloj muy precisa, con una deriva de menos de 1 minuto al año (compensación de la T^a), y que permite programar alarmas y eventos. Se alimenta con una pila de botón auxiliar.

Wasp mote incorpora de serie dos sensores:

- Sensor acelerómetro de tres ejes, de precisión 1024 valores/g = 1024 valores/10 m/s².
- Sensor de T^a de placa.

Se monitoriza además la potencia de señal recibida y la carga de la batería, de manera que cada Wasp mote informa de su “salud”.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Sus pequeñas dimensiones, 73,5x51x13 mm, hacen que solo pese 20 g. Está capacitado para operar bajo niveles altos de ruido EM y en un rango de Ta de -20 a 65 °C.

El aparato tiene las certificaciones CE (Europa), FCC (EE.UU.) e IC (Canadá).

Para crear o modificar el código de Wasp mote se usa un entorno de programación o IDE (Integrated Development Environment) que es muy parecido al compilador de Arduino. El lenguaje de programación se basa en C/C++, Wiring y Processing. En el código que se carga al dispositivo hay dos partes diferenciadas: el setup y el loop. La primera parte se ejecuta una sola vez, al iniciar Wasp mote, y por lo tanto está pensada para configurar e iniciar el sistema. El loop se ejecuta continuamente, así que la estrategia es incluir comandos de bloqueo que duerman a Wasp mote después de completar sus tareas, parando la ejecución. Al volver del deep sleep con alguna interrupción, programada o no, se continúa en la siguiente línea de código, sin perder información en las variables.

En conclusión, Wasp mote es uno de los mejores dispositivos en el mercado porque sus características destacan frente a otros en:

- Alta modularidad: solo se compra lo que se necesita.
- Muy bajo consumo.
- Posibilidad de alimentarlo con energía solar (larga vida útil).
- Posibilidad de incluir casi cualquier tipo de sensor.
- Muchas entradas, tanto analógicas como digitales: se pueden conectar muchos sensores al mismo Wasp mote.
- Gran variedad de módulos de comunicaciones inalámbrica, con alcances muy grandes.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

- Posibilidad de GPRS y módulos extra (GPS, SD).
- Plataforma abierta y personalizable.
- La comunidad de usuarios crea nuevas utilidades y mejora las existentes.
- Precio muy competitivo y ausencia de cuotas anuales.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

3. Planteamiento Inicial

Desde el desconocimiento inicial de la empresa acerca de como es posible detectar, por ejemplo, una regleta eléctrica enchufada, un transformador en funcionamiento, etc, se realiza una investigación en Internet acerca de los diferentes sensores que podemos utilizar para llevar a cabo este objetivo.

3.1 Sensor de Campos Eléctricos

La idea inicial surge de un artículo encontrado por Internet, del sitio web <http://www.electrereaks.com> (Ver Anexo 11.4), traducido para nosotros, “*como construir un simple detector de voltaje sin contacto*”. Una vez analizado, parece ser que sí se puede medir si hay o no voltaje de forma no invasiva en cualquier cable sin necesidad de que esté separadas las vías de masa y corriente, una ventaja más que interesante ya que este método es mucho menos laborioso que el si tener que hacerlo.

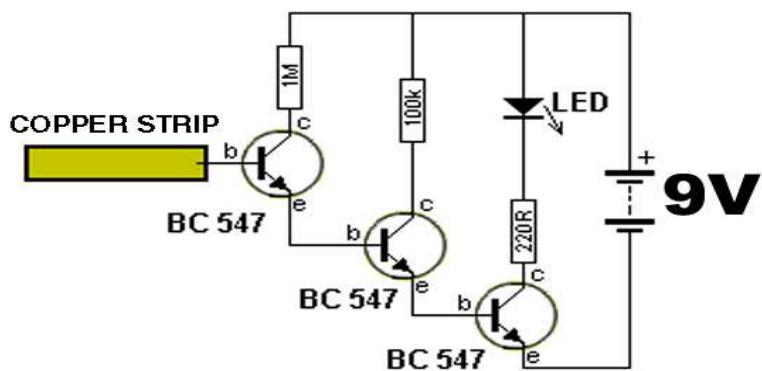


Fig. 19 Circuito sensor de Campos Eléctricos

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

“La parte frontal del cobre forma uno de los lados del condensador, y cuando éste es acercado a una fuente de voltaje, una corriente muy pequeña recorre el aire que es el dieléctrico del condensador”, explica el artículo. Después, esta corriente es amplificada a través de transistores BC 547, llegando a encender el LED.

El detectar esta pequeña corriente está muy bien, pero, ¿se podría llegar a medir? Eso sería lo más interesante, y es una de las cosas que se plantean para investigar.

En un principio solamente se construye el prototipo y se comprueba que el LED si que se enciende cuando aproximamos el cobre a una fuente de tensión como puede ser un cable conectado a la alimentación.

3.2 Sensor de Campos Electromagnéticos

La idea surge a partir de un sensor de campos electromagnéticos encontrado en el mercado (Ver Anexo 11.5)



Fig. 20 Sensor comercial de campos electromagnéticos

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

A partir de ahí se realizan una serie de pruebas para comprobar si ese sensor del mercado y el sensor anterior, previamente construido como hemos comentado, tienen la misma funcionalidad.

Evidentemente el resultado no es el mismo, puesto que los LEDs que vemos en la imagen anterior del prototipo del mercado solo se iluminan cuando acercamos el sensor a un cable de alimentación si éste está conectado a un aparato en funcionamiento, es decir, cuando por el cable circula una corriente eléctrica.

Es decir, el prototipo de mercado solo detecta campos electromagnéticos, y no también campos eléctricos como el prototipo construido, lo cual resulta bastante ventajoso y por tanto la idea será diseñar también un prototipo que realice también esta función.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

4. Sensor de Campos Eléctricos

4.1 Análisis y elección del diseño

El circuito se monta tal y como aparece en el artículo analizado del planteamiento inicial (Ver Anexo 11.4), y se experimenta que los resultados que da son óptimos y cumplen la función que el propio artículo describía, detectar una tensión en un cable eléctrico de forma no invasiva.

Su funcionamiento es el siguiente, cuando acercamos nuestro material de cobre a un cable eléctrico, se produce una distribución de cargas eléctricas, un movimiento de éstas, el cuál genera una intensidad de corriente entre nuestro cobre y el cable.

En otras palabras, virtualmente tenemos un condensador en funcionamiento, en los que el cable y el cobre serían las placas en las que se distribuyen las cargas separadas, y el espacio entre éstos el dieléctrico, por el que circula una pequeña corriente que vamos a amplificar a través de transistores BC547c, con la diferencia de que nosotros no vamos a utilizar esta señal amplificada como señal lumínica, sino que con la ayuda de un potenciómetro de alto valor utilizaremos esta señal para obtener el valor de una tensión y así poder adaptar la respuesta a nuestra plataforma.

4.1.1 Otros diseños

Pese a que en un principio el diseño anterior era muy bueno, se contemplaron otras alternativas. La más popular entre los usuarios de Arduino es el siguiente detector encontrado en diferentes sitios web (Ver Anexo 11.6) anunciado como detector de EMF (Electromagnetic field).

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

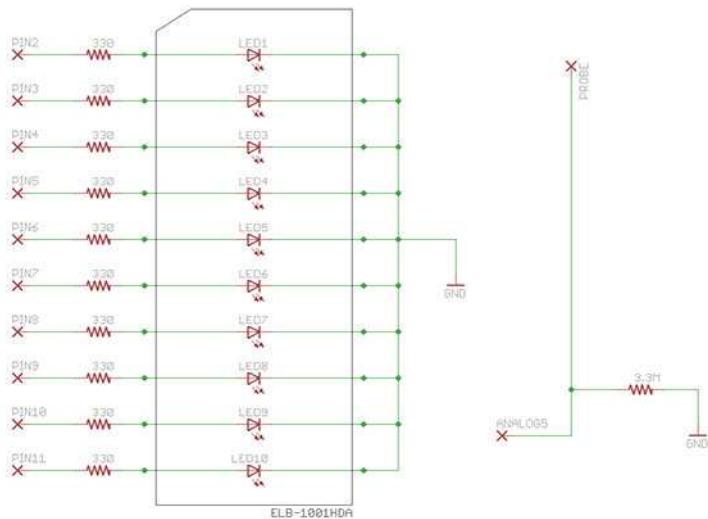


Fig. 21 Circuito sensor de Campos Eléctricos para Arduino

Como vemos se dispone de una entrada analógica donde mediremos una señal y en función de la “potencia” de esa señal encenderemos una barra de iluminación indicadora de la fuerza de esa señal.

Con un pequeño código se programa el Arduino para captar esa señal, y en función de su magnitud se da salida positiva a los diferentes pines digitales que alimentan los diodos de led.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Nosotros nos decidimos a probarlo:

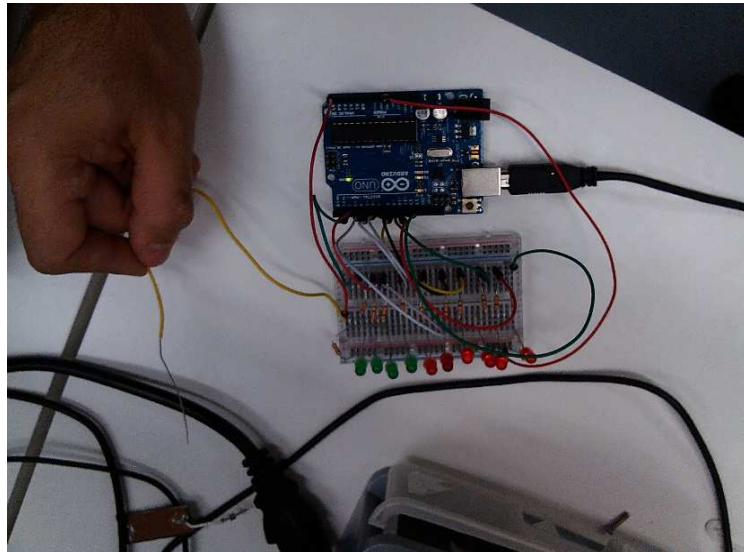


Fig. 22 Montaje del circuito anterior

Los resultados no fueron los esperados, no era un detector de campos electromagnéticos. Desde un principio nos pareció un simple detector de ruido en el que no teníamos interés, por ello decidimos desecharlo rápidamente.

Pese a ello, en las imágenes se puede ver como la antena cuando se aproxima a un cable de alimentación conectado a red si detecta señal, lo cual podría ser funcional en el caso de querer detectar campos eléctricos.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

4.2 Elección de componentes y justificación

Finalmente, el circuito resultante para la detección de este tipo de campos fue el siguiente:

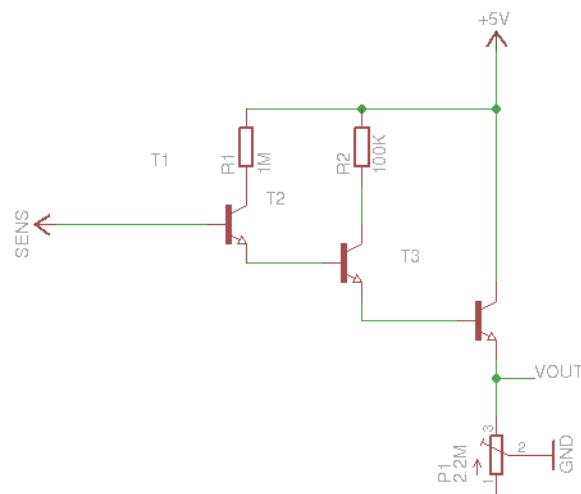


Fig. 23 Circuito del sensor elegido para Campos Eléctricos

Partimos de una placa de cobre como antena, y a partir de unos transistores BJT de alta ganancia, los de la familia BC847c (Ver anexo 11.9), ampliaremos la corriente obtenida de ese “condensador virtual” que formamos al detectar el campo.

Con el potenciómetro de gran valor óhmico nos equivocamos, la idea era hacer un pequeño regulador de detección, con el cual aumentaríamos o disminuiríamos la señal obtenida, con el fin de darle al circuito alguna característica más.

Experimentalmente solo tiene utilidad para cuando lo configuremos como una resistencia de valor cero, lleve GND a la salida que medimos y el sensor se desactive.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

4.3 Resultados reales

Los resultados de este sensor son bastante dispares debido a que dependen de varios factores, pero se podría decir que como detector de este tipo de campos funciona bastante bien.

Comprobando diferentes cables de aparatos siempre captamos una señal, que como bien digo depende de varios factores, todos ellos dependientes del condensador ficticio que se genera entre nuestro detector y el cable, entre ellos:

- La distancia entre la antena y el campo a medir, que debería ser entorno a tres centímetros máximo.
- El tipo de dieléctrico entre ambos, aparte del aire, el material del cable, el grosor...
- El propio campo a medir, aunque en menor medida, ya que como podemos observar podemos hasta cargar el pelo de nuestro cuerpo electroestáticamente y también seremos capaces de llegar a detectarlo.

A continuación se puede ver una tabla de mediciones de aparatos domésticos funcionando en condiciones normales, medidos con el sensor aproximadamente a un centímetro y un valor del potenciómetro intermedio.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Aparato	Resultado experimentado (V)
Teléfono fijo	No se detecta
Cargador de Ipad	0,29
Cargador de smartphone	0,37
Lámpara de bajo consumo 7W	1,25
Mini-TDT externo	1,28
Impresora de tinta	1,35
Router Wi-Fi	1,36
Lamparilla de noche 40W	1,37
Secador de pelo	1,39
Disco duro externo	1,43
Maquinilla de afeitar	1,46
Frigorífico	1,47
Cable de alimentación de ordenador	1,49
Televisión	1,58
Cafetera Nespresso	1,61
Consola Xbox 360	1,61
Sandwichera	1,72
Tostadora	1,76
Altavoces externos	1,78
Regleta varios aparatos	1,8

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

5. Sensor de Campos Electromagnéticos

5.1 Análisis y elección del diseño

La elección del circuito para este sensor fue mucho más complicada que la anterior, ya que el campo de soluciones es mucho más abierto.

5.1.1 Uso de un Fluxgate

Una de las opciones que me propuso mi tutor académico Miguel fue la utilización de un Fluxgate, uno de los sensores más con más referencia del mercado, pero en el cual en la empresa teníamos un total desconocimiento. Finalmente se hizo una investigación en Internet, y a través de nuevo, de un sitio web, sacamos una definición que nos dio una idea de lo que era este sensor. (Ver anexo 11.7)

Un Fluxgate es un sensor de líneas de flujo de campo magnético de alta precisión, utilizado en aeroespacio, submarinismo, etc.

Su funcionamiento es el siguiente: el corazón del Fluxgate es un núcleo ferromagnético rodeado por dos bobinas de cobre con una configuración parecida a un transformador. Una corriente alterna pasa por el primario, produciendo campo magnético alterno que induce corriente alterna en el secundario. La intensidad y la fase del secundario son medidas en todo momento. Cuando hay un cambio en el campo magnético externo, la salida del secundario cambia. El grado y la fase de este cambio pueden ser analizados para determinar la intensidad y la orientación de las líneas del campo magnético externo.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

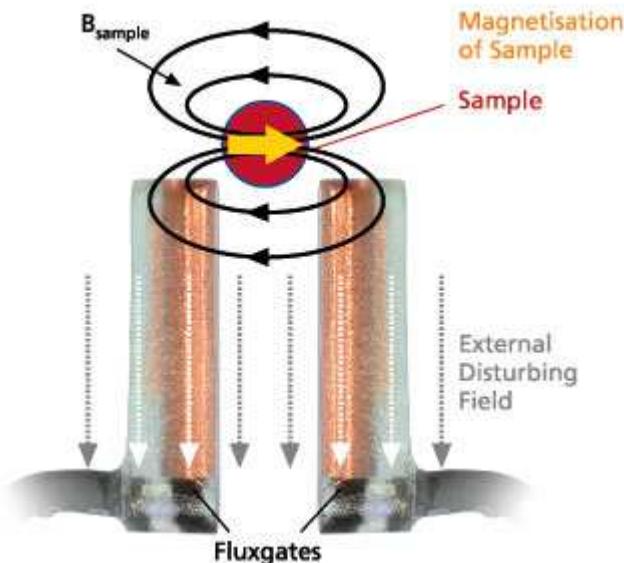


Fig. 24 Fluxgate

Este sensor junto el de campo eléctrico podría ser una de las soluciones para detectar campo electromagnético, pero fue descartado porque se buscaba mayor sencillez en el circuito y mucho menor coste, nunca llegamos a considerarlo.

5.1.2 Amplificación de una intensidad inducida mediante amplificadores operacionales

Tras descartar el modelo anterior, la investigación acerca de los sensores de campo electromagnético nos llevo al diseño de este tipo de circuitos. Fueron varios tipos circuitos los que probamos, con varios tipos de bobinas, pero ninguno nos dio los resultados que buscábamos o la estabilidad que deseábamos.

A continuación, mostramos las pruebas realizadas a partir de varios esquemas encontrados en Internet (Ver Anexo 11.8)

5.1.2.1 Amplificador uA741

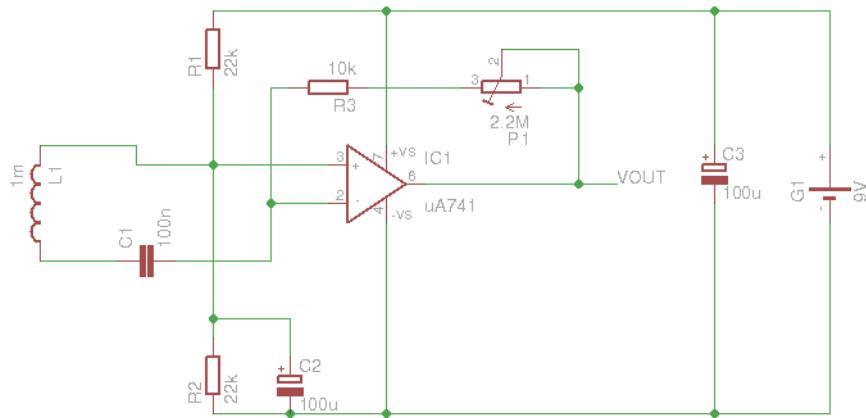


Fig. 25 Circuito con amplificador uA741 para campos electromagnéticos

El funcionamiento de este circuito se basa en lo siguiente, una corriente alterna es inducida en L1, amplificándose en forma de tensión alterna habiendo establecido previamente una referencia en la patilla V+ del amplificador de $V_{cc}/2$.

Con el potenciómetro establecemos el nivel de amplificación a la salida (la ganancia de la etapa), que da lugar a una tensión de salida en función de la corriente inducida en L1.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Diseñamos este circuito y realizamos una serie de pruebas:

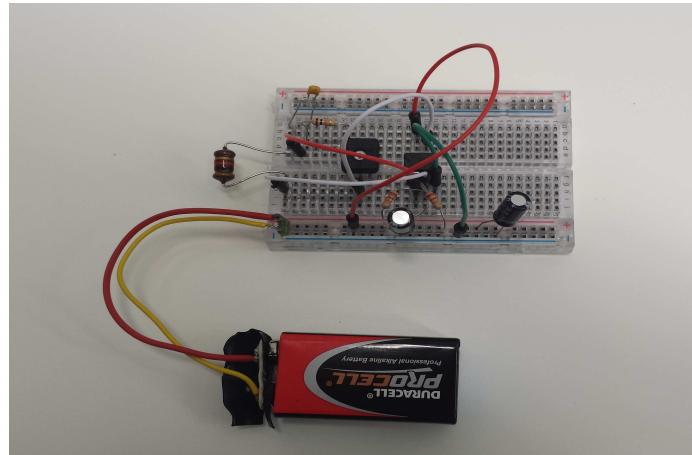


Fig. 26 Montaje del circuito anterior

El circuito funcionaba, pero obteníamos unos resultados en tensión bastante inferiores a los que esperábamos, solo eran aceptables cuando tratábamos de detectar campos excesivamente elevados como los que nacen a partir de un transformador, por ello decidimos descartar esta configuración.

Reposo	0,005 V AC
Cable Regleta Enchufada	0,025 V AC
Transformador	0,500 V AC

5.1.2.2 Amplificador LF351

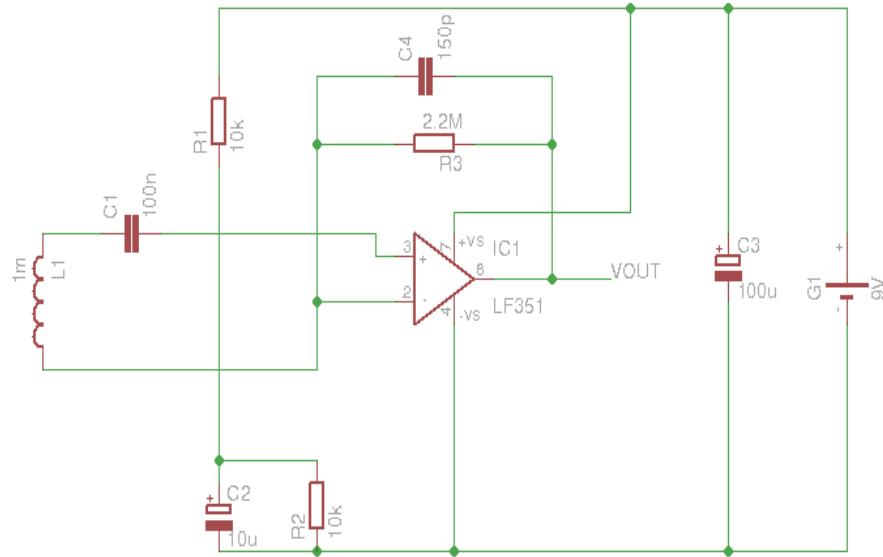


Fig. 27 Circuito con amplificador LF351 para campos electromagnéticos

Muy similar al anterior, encontramos en los esquemas otro circuito que utilizaba otro amplificador con menos ruido en sus entradas, el LF351, utilizado principalmente con la función de amplificar. En principio, este tipo de amplificador tenía otras características diferentes al anterior, tenía mejor comportamiento frente a posibles ruidos, y se probó con la esperanza de que mejorara los resultados del anterior:

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

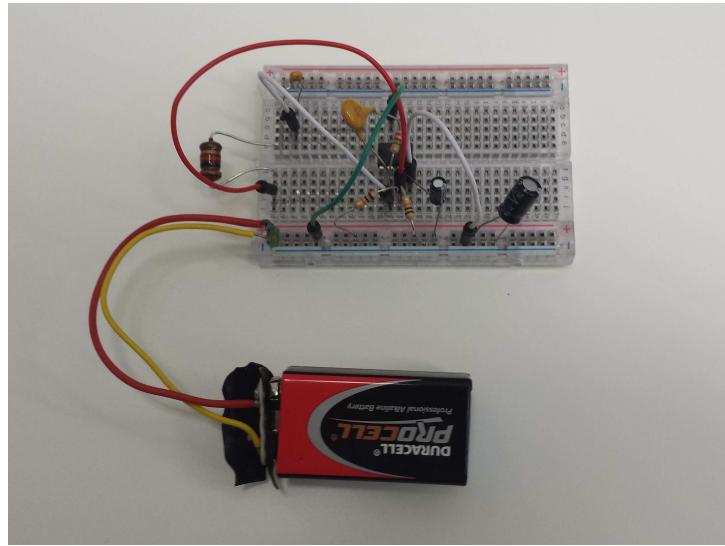


Fig. 28 Montaje del circuito anterior

Lamentablemente los resultados fueron incluso peores, y también terminamos descartando este circuito.

Resultados:

Reposo	0,002 V AC
Cable Regleta Enchufada	0,012 V AC
Transformador	0,250 V AC

5.1.2.3 Amplificador TL084

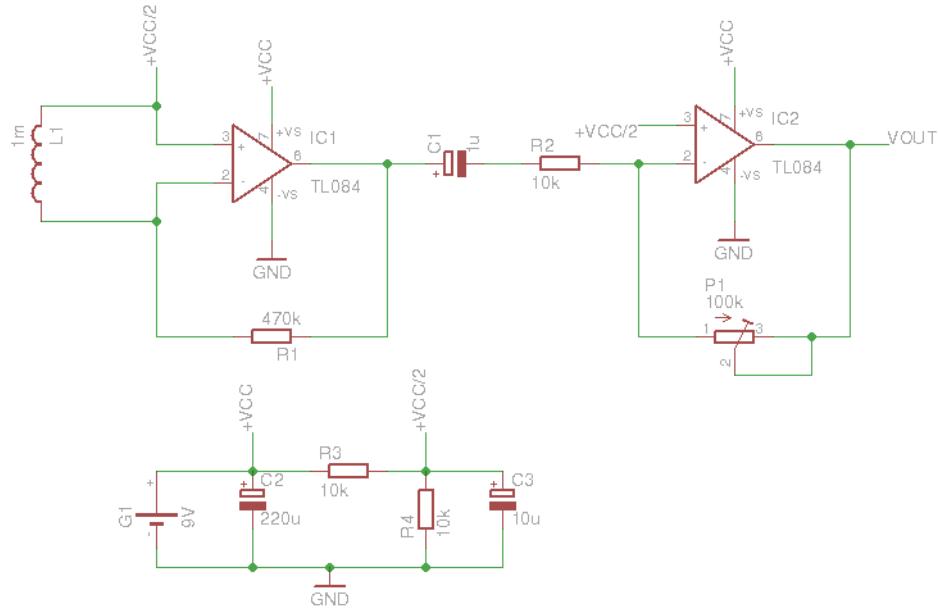


Fig. 29 Circuito con amplificador TL084 para campos electromagnéticos

Este circuito, de todos los de amplificadores operacionales, es el que bastante más cuidado y mejor está, ya que trata con una etapa previa eliminar algunas perturbaciones propias que se dan en el amplificador.

Su funcionamiento es similar a los anteriores, con la excepción de la etapa previa ya comentada.

Diseñamos este circuito y los resultados fueron mejores que los anteriores, este diseño ya no solo detectaba campos elevados como los de un transformador, también era capaz de detectar otros como los de por ejemplo una lámpara de iluminación utilizada como apoyo visual para soldar, y durante un tiempo se consideró como uno de los diseños interesantes.

Las principales desventajas eran que pese que era más funcional que los anteriores, tampoco era tan bueno como podía ser el modelo comercial que compramos previamente, el cuál analizaremos en este documento después.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Los resultados son similares aunque mejores a los diseños anteriores. Por lo que finalmente decidimos descartarlo es porque era un circuito bastante irregular, y como hemos comentado el prototipo comercial era mucho mejor.

	Reposo	Regleta	Transformador
uA741	0,005	0,025	0,5
LF351	0,002	0,012	0,25
TL084	0,005	1	3

5.1.2.4 Amplificador de Instrumentación INA122

El funcionamiento de este circuito vuelve a ser similar a los anteriores, solo que utiliza un AO ya preparado para el tipo de aplicaciones de amplificación de señales de sensores, mucho más sencillo de configurar, y con mayor precisión que los anteriores.

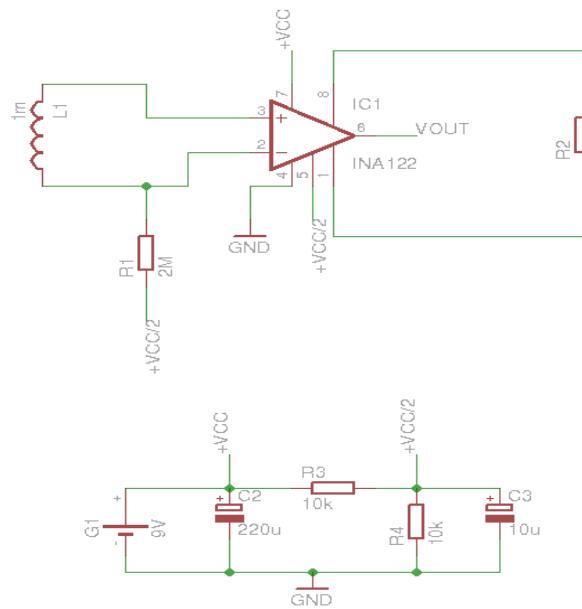


Fig. 30 Circuito con amplificador INA122 para campos electromagnéticos

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Variando la ganancia y llegando a estirarla hasta el extremo que daba el fabricante, se llegaron a observar estos buenos resultados en el osciloscopio.

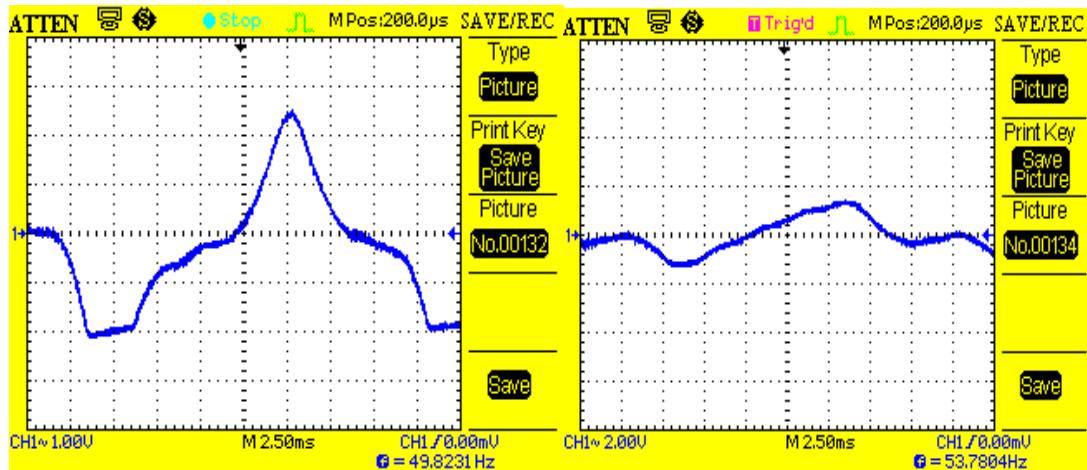


Fig. 31 Resultados con el osciloscopio, a la izquierda con un transformador (elevado Campo Electromagnético) y a la derecha con una regleta (Campo reducido)

Pero claro este tipo de circuito ya eleva el coste, y también fue descartado.

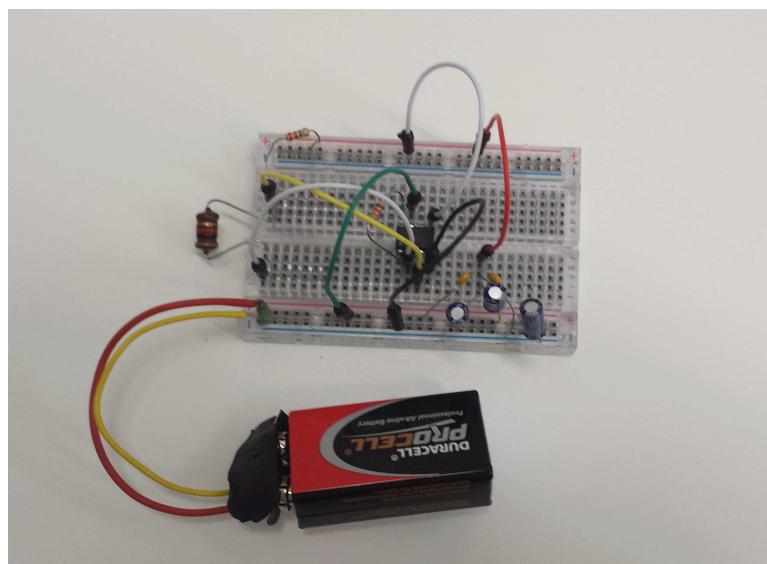


Fig. 32 Montaje del Circuito con INA122

La conclusión final de probar estos circuitos fue que se podría mejorar la sensibilidad de este sensor con un mayor presupuesto que permita el diseño de una sonda mejor y un diferente tipo de amplificador.

5.1.3 Amplificación de una Intensidad inducida mediante transistores

Finalmente, ante los malos resultados anteriores comparados con el sensor comercial previamente comprado, nos decidimos por la ingeniería inversa, y extraímos este circuito a partir del comercial, el cual vamos a analizar rigurosamente dividiéndolo en tres partes.

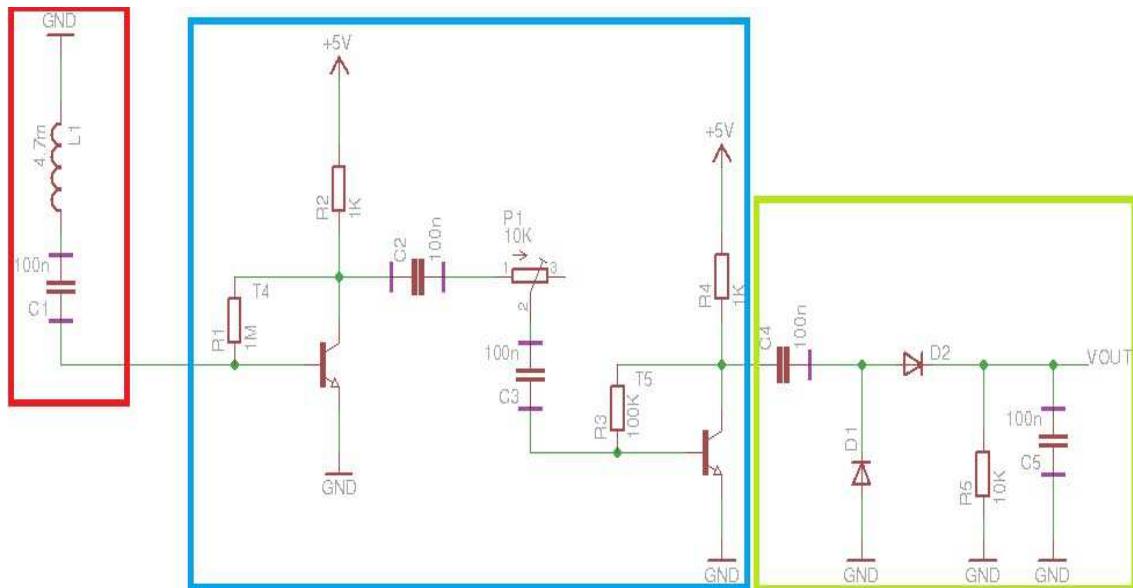


Fig. 33 Circuito con amplificador a partir de transistores para campos electromagnéticos

La primera parte del circuito la podemos caracterizar de la siguiente manera, se trata del circuito sensor, en el que tenemos una bobina de alto valor ($L_1=4,7\text{mH}$) por el que captaremos una fem inducida, a la cual bloquearemos

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

su parte de continua con un condensador, dando lugar a una tensión alterna de escaso valor con la cual trabajaremos en el resto del circuito.

La segunda parte del circuito es una etapa amplificadora, que a su vez consiste en dos etapas de amplificación de transistor colector-base, separadas con un selector de ganancia que es nuestro potenciómetro P1 que hará que varíe la señal final en función de su valor. Seguimos trabajando con una tensión alterna, aunque ya de un valor considerable.

Finalmente tenemos un cambiador de nivel, y rectificamos la tensión con un rectificador sencillo de media onda para obtener un nivel de tensión de continua el cual poder conectar a una entrada analógica de Arduino.

5.2 Elección de componentes y justificación

Tras realizar varias pruebas con diferentes tipos de bobinas, se decidió finalmente utilizar una bobina axial tal como en el modelo comercial, ya que el resto ofrecía un rendimiento menor e incluso en algunas como las toroidales era imposible la inducción de corriente a partir de un cable externo.

Al elegir una bobina axial, debemos tener en cuenta que su posicionamiento ideal es el siguiente, para una inducción de corriente óptima:

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14



Fig. 34 Posición óptima de la bobina para la detección de campos electromagnéticos

El campo magnético generado por el cable (B) tenemos que intentar que sea todo lo perpendicular posible a las espiras de la bobina, de esta forma la corriente que circule por éstas será, por los estudios vistos anteriormente, la máxima posible.

Otro de los componentes a tener en cuenta para mejorar la amplificación de la señal detectada era escoger un tipo adecuado de transistores, con alta ganancia, así que volvimos a elegir el transistor bc847c como en el circuito anterior.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

5.3 Resultados reales

Este sensor es más inestable que el de campos eléctricos. Aún así se ha alcanzado una buena fiabilidad y el número de aparatos en el que detecta Campos Electromagnéticos es bastante considerable. Aquí expongo una tabla con los algunos resultados experimentados con una serie de aparatos típicos de un entorno industrial, trabajando en condiciones normales, y exponiendo el sensor entorno a un centímetro sobre el cableado de éstos, y un nivel del potenciómetro intermedio.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

Aparato	Resultado experimentado (V)
Ventilador de baja potencia	No se detecta
Radio FM/AM	No se detecta
Calentador del agua	No se detecta
Cargador de teléfono móvil	Detección mínima
Cargador de Walkie-Talkie	Detección mínima
Soldador electrónico	0,51
Alargadera 1 enchufe	0,7
Calefactor	0,77
Luz interna de una pecera	1
Cafetera Nespresso	1,2
Microondas	1,46
Wasp mote	1,5
Raspberry Pi	1,5
Hinchador Industrial	1,9
Regleta varios aparatos	2
Pistola de aire	2,22
Alimentación de ordenador	2,75
Luz de un departamento	2,88
Luces de un jardín	3,1
Secador de manos	3,2

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

6. Adaptación para Arduino

Como en un principio este proyecto iba a ir solo destinado a Arduino, se fabricó la siguiente placa, que aunque en estos momentos no será comercializada, no se descarta que si que lo sea en un futuro ya que se trata de una placa funcional.

6.1 Diseño Hardware

Para el diseño hardware se utilizó el programa Eagle 6.4, capaz de diseñar PCB's. Se trató de separar cada circuito de cada sensor lo mejor posible para que no hubiera perturbaciones entre en ambos, y, aunque en un principio se optó por una antena para Campos Eléctricos externa, decidimos utilizar una interna, de tal modo que se evitan más posibles ruidos.

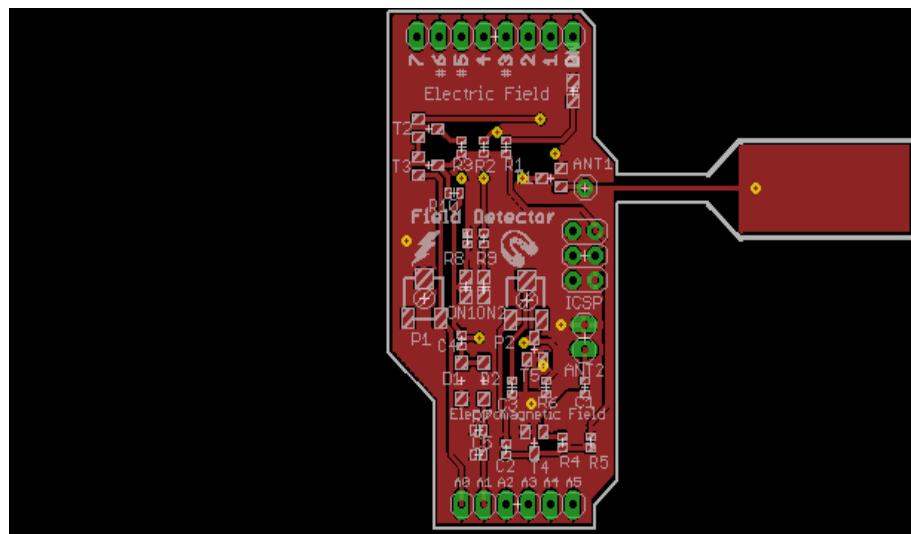


Fig. 35 PCB del diseño, cara Top

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

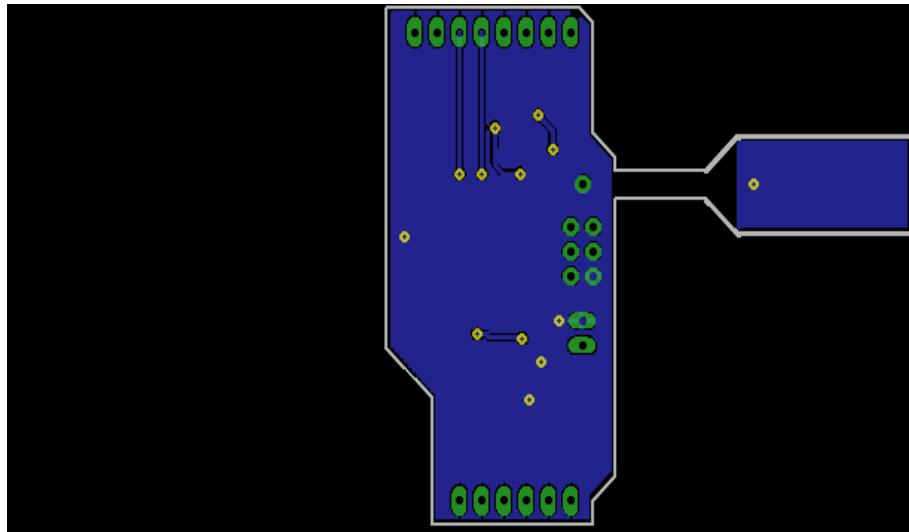


Fig. 36 PCB del diseño, cara Bottom

6.2 Diseño Software

Durante mi estancia en libelium, adquirí conocimientos sobre el lenguaje de programación en Arduino, y realicé este código que trataré de explicar brevemente.

Se trata de un código, bastante sencillo, para hacer pruebas, si el producto llegara a comercializarse debería programarse otro tipo de interfaz para dar más facilidades al usuario, o al menos, tratar de mejorar el aspecto del programa visualmente.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// VARIABLES DEL PROGRAMA
////////////////////////////////////////////////////////////////////////

int pinCampoE=0;
int pinCampoEM=1;

float voltage=0;
float voltageaux=0;
float voltage2=0;
float voltageaux2=0;

////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CONFIGURACIÓN INICIAL
////////////////////////////////////////////////////////////////////////

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(4,OUTPUT);
    digitalWrite(4,LOW);
    pinMode(5,OUTPUT);
    digitalWrite(5,LOW);
}


```

Fig. 37 Primera parte del código de Arduino

Las variables del programa no esconden ningún secreto y son fáciles de interpretar. En primer lugar están las que utilizaré como analógicas y recibir las tensiones de cada sensor (pinCampoE, pinCampoEM). Las de después las utilizaré para realizar diversos cálculos que explicaré más adelante.

Por otro lado, configuraré una rápida velocidad de lectura y estableceré dos salidas digitales que tendrán la misión de iluminar los LEDs de la placa en función de si se detectan los campos o no.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

```
/*
// CUERPO DEL PROGRAMA //
*/

void loop() {

    int i=0;
    for (i = 0; i < 1023; i++) {
        float voltageaux = analogRead(pinCampoE) * (5.0 / 1023.0);
        voltage = voltageaux+voltage;
    }
    voltage=voltage/1024;
    if (voltage >0.12){
        Serial.println("Hay campo electrico");
        Serial.print("Valor: ");
        Serial.println(voltage);
        digitalWrite(5,HIGH);
    }
    else {
        Serial.println("No se detecto campo electrico");
        digitalWrite(5,LOW);
    }
}
```

Fig. 38 Segunda parte del código de Arduino

Aquí empieza el programa. Yo lo que hago, aunque es más ineficaz y hace trabajar más al microprocesador es, en vez de tomar una muestra instantánea, tomar muchas (1024) y hacer la media, ya que tomando pocas, el funcionamiento era menos consistente y las medidas tendían a ser erróneas, de ahí el cambio, busqué que el programa tuviera mayor robustez.

Calculada la media, un valor que da Arduino entre 0 y 1023, yo transformo esa cantidad a voltios, y ya considero una cantidad mínima en la cual decido que existe campo, entonces a partir de todo ese proceso incluyo en el monitor serie del programa si se ha detectado o no ese campo, y su valor en voltios. Aquí en esta parte se ve la de los Campos Eléctricos, pero para los Campos Electromagnéticos el código es exactamente igual cambiando las variables, como se puede ver a continuación en la siguiente figura:

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

```

int j=0;
for (j = 0; j < 1023; j++) {
  float voltageaux2 = analogRead(pinCampoEM) * (5.0 / 1023.0);
  voltage2 = voltageaux2+voltage2;
}
voltage2=voltage2/1024;
if (voltage2 > 0.2){
  Serial.println("Hay campo electromagnetico");
  Serial.print("Valor: ");
  Serial.println(voltage2);
  digitalWrite(4,HIGH);
}
else {
  Serial.println("No se detecto campo electromagnetico");
  digitalWrite(4,LOW);
}

Serial.println("");
Serial.println("");

delay(100);

}

```

Fig. 39 Tercera parte del código de Arduino

Como se puede apreciar al final, el proceso se repite cada 100ms. El resultado final del programa se ve en el monitor serie del programa, es el siguiente:



Fig. 40 Monitor serie del programa

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

6.2.1 Otras aplicaciones

Una de las aplicaciones pensadas para este prototipo fue utilizar un módulo GPS/GPRS para Arduino comercializado en libelium, el cual podría advertirnos a través de mensajería SMS de cuando un aparato que estamos controlando deja de funcionar (es decir, no emite un Campo Electromagnético). Un ejemplo cotidiano podría ser el de un frigorífico, sería muy útil saber que se nos ha estropeado antes de que se nos descongele la comida.

El código empleado sería el que proporciona el propio fabricante del módulo anterior, proporcionado por el fabricante, en nuestro caso libelium, que sería activado cuando los valores de los campos no sean los deseados para los aparatos que estamos controlando.

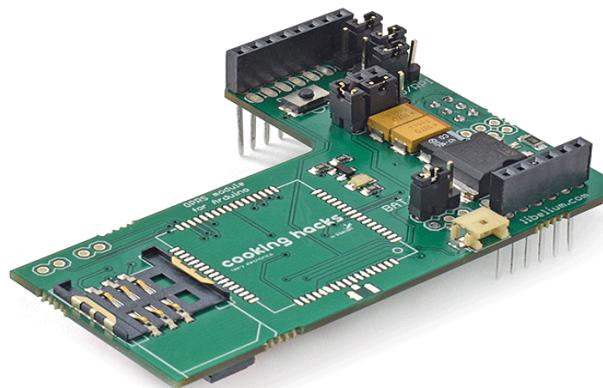


Fig. 41 Módulo GPRS+GPS para Arduino

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

7. Futura adaptación para WaspMote y otras plataformas

Aunque en un principio solo se buscaba hacer un prototipo para Arduino, finalmente mediante una evaluación de estudio de mercado se vio que no era viable fabricar el tipo de placa anterior y era más rentable fabricar estos diseños a modo de sonda capaz de ser utilizada en varias plataformas. En nuestro caso, lo utilizaríamos principalmente en WaspMote, aunque también sería válido para el propio Arduino, y podría ser utilizado por OEM.

7.1 Diseño Hardware

La idea es separar los circuitos y utilizarlos como sondas, pero aquí no tiene cabida diseñar una PCB específica, ya que cada plataforma podría buscar su propio estilo de acabado de sonda. Lo que si que es universal, es que tendrá que tener dos entradas de alimentación y una de salida. Con los prototipos utilizados para hacer las pruebas por separado podemos hacernos una idea aproximada.

A partir de ellos habría que diseñar una PCB que encaje con las necesidades del usuario o del fabricante que busque comerciar y con una protección adecuada, terminar la sonda.

***Nota:** yo llegué a diseñar e incluso a realizar uno de los prototipos de las dos sondas, pero la empresa libelium se ha guardado el derecho a reservarse este trabajo y facilitarme solo el material del PFC.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

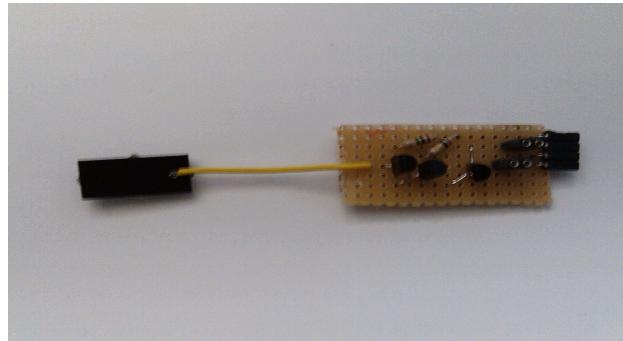


Fig. 42 Prototipo detector de campos eléctricos

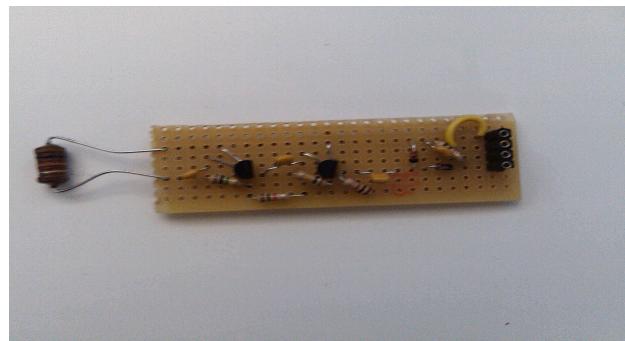


Fig. 43 Prototipo detector de campos electromagnéticos

7.2 Diseño Software

El diseño software para ambas sondas tendría que realizarse aparte, ya que uno de los productos estrellas de la empresa libelium es el Plug and Sense, que a través de la tecnología Waspmote es capaz de utilizar varias sondas en un solo conjunto, con el fin de controlar magnitudes de la misma temática.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14



Fig. 44 Plug and Sense de libelium, en este caso del tipo Smart Agriculture, dedicado a la agricultura

En el caso de otras plataformas (OEM), éstas son las que deberían llevar a cabo esta labor.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

8. Conclusiones

Se ha cumplido con éxito el resultado final del proyecto: la construcción y puesta a punto de un prototipo electrónico capaz de detectar campos eléctricos, y a su vez capaz de detectar campos electromagnéticos.

Se dispone de dos sensores que incorporan la electrónica junto a los circuitos necesarios, y el software utilizado para su control y programación.

También se han realizado las pruebas pertinentes para verificar su correcto funcionamiento. En un corto plazo este producto será incorporado de manera comercial.

La consecución del objetivo se hizo en orden, lo que ha permitido identificar una serie de hitos parciales:

- Se completó un proceso de investigación inicial, analizando todo lo relacionado con los campos eléctricos y los campos electromagnéticos, reuniendo información general del tema.
- Se realizó un estudio básico de la tecnología con la que se iba a trabajar:

Arduino, WaspMote y las redes sensoriales inalámbricas.

- Se consultaron las necesidades de los profesionales y usuarios del entorno que entrarían en el mercado de este producto.
- Se realizó un estudio de los distintos dispositivos más relevantes similares del mercado y otro sobre los componentes para utilizar en el diseño.
- Se hizo un estudio de las diferentes aplicaciones de ambos sensores en una serie de experiencias reales.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

- Para el diseño final del módulo, se realizó una serie de prototipos, con un firmware básico para posibilitar la comunicación entre nodos. Tras diversas pruebas de funcionamiento, se diseñó un prototipo final funcional, con su correspondiente firmware definitivo que permite realizar diferentes procesos con ambos sensores.
- Se realizaron las pruebas sobre la placa definitiva, que constataron que se cumplían las expectativas y objetivos preestablecidos.
- En paralelo se ha llevado una documentación diaria en la que se anotaba todos los avances realizados a lo largo de la investigación y desarrollo.

El módulo final trabajando con WaspMote y Arduino forma un sistema de altas prestaciones, muy completo, fiable y flexible, lo que junto al precio competitivo y facilidad de uso permitirán llegar a un gran número de usuarios.

Como el acceso al firmware final es sencillo y está disponible, cualquier persona con algún conocimiento de programación puede usar o personalizar su sistema, más allá del original.

8.1 Conclusiones personales

Trabajando varios meses en libelium, he aprendido multitud de cosas gracias a su excelente plantilla además de haber obtenido una grata experiencia. He aprendido cosas de múltiples ramas de la ingeniería, desde producción y fabricación (diseño, elección de componentes, soldadura y puesta a punto de una PCB), hasta diseño e investigación.

Tras la consecución de mi proyecto, existía la posibilidad de continuar en libelium como becario de prácticas, pero por problemas personales decidí no seguir adelante, aunque bajo mi punto de vista he realizado un buen trabajo con posibilidades de futuro y salida comercial.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

En estos casi 7 meses trabajando en el proyecto, he adquirido una visión más cercada y real del sector de la electrónica. El esfuerzo que he invertido me ha servido para aprender a tratar con dificultades, y la experiencia de trabajo en una empresa dentro de un departamento de I+D me ha resultado muy gratificante y constructiva. En este tiempo he madurado en diversos aspectos, y he aprendido a aplicar conocimientos que poseía.

He descubierto la relevancia que tiene el conocimiento del inglés en el mundo de la ingeniería, ya que diariamente te encuentras situaciones en las que debes desenvolverte de manera fluida con este idioma: como la lectura de documentación técnica o conversaciones con empleados de distintas empresas con el fin de búsqueda de información.

En cuanto a mi paso por la universidad en la Ingeniería Técnica Industrial, Electrónica Industrial, me he dado cuenta que los conocimientos adquiridos me han sido de gran utilidad. Aunque al trabajar en un empleo, te das cuenta de que has estado varios años sentado enfrente de una pizarra, sin ser consciente en las dificultades de tener que abordar un proyecto electrónico. Por esto creo que debería tratarse en mayor medida en un plan de estudio universitario de ingeniería, aspectos prácticos como son el desarrollo de productos, para abrirnos las puestas al mundo laboral.

8.2 Agradecimientos

Este apartado es muy importante para mi, ya que durante todo el procedimiento del proyecto he pasado por problemas personales de salud, y tengo que dar agradecimientos a mucha, mucha gente, toda la que me quiere e incluso gente que no, porque sin su apoyo nunca hubiera sido posible.

Mi familia por supuesto, mis padres y mis hermanos, personas imprescindibles en mi vida y que son capaces de aguantarme y apoyarme día

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

si día también. A mis tíos, primos, abuelos, todos sin excepción, que se preocupan y preguntan como me va todo, a ellos también se lo agradezco

Mis amigos, Alba, Alejandro, Sergio, Aragües, Cristian, Fran, Eduardo, Fabiola, Joseba, Madalena, Monty, Raquel, Santi, Víctor, Carlos, los de toda la vida, los del barrio, los que me han apoyado siempre. Al igual, aunque los vea menos, que la gente de mi pueblo, que es la que me ha enseñado casi todo en la vida durante los 23 veranos de mi existencia. Y mis compañeros de Universidad, con los que he compartido apuntes, disgustos y alegrías.

A libelium y a todos sus trabajadores, aunque no tuvimos el mejor adiós, no puedo olvidarme en este apartado de ellos, han aportado mucho a mi formación y sin ellos este proyecto no se hubiera llevado a cabo, Luis, Jorge, gracias.

Y también a mi tutor Miguel Samplón, que ha tenido mucha paciencia y siempre el mejor trato conmigo.

A todos ellos, gracias.

8.3 Líneas futuras

Para trabajos futuros con el objetivo de mejorar el sistema para mi la prioridad, y por eso lo he incluido en esta memoria, es la separación de ambos sensores y tratar cada uno por separado, ¿por qué no se hizo así desde el principio? Porque también había otra idea de este proyecto en mente.

Lo que hubiera sido la cima de este proyecto y una de las cosas que me gustaría haber diseñado es un sensor capaz de medir la Intensidad del cable de un aparato de forma no invasiva, tanto en alterna como en continua. Es evidente que era un reto prácticamente imposible para una persona sola y que no disponga de los mejores medios, pero si que pienso que puede que un

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

futuro alguien sea capaz de conseguirlo, ya que mi opinión es que la electrónica no tiene límites.

Se podría comenzar mejorando el sensor de Campos Eléctricos, incluyendo en este un sensor de proximidad para hacer un cálculo perfecto o muy aproximado de la Capacidad, la Carga y la Tensión finalmente determinada de la segunda placa (el cable) de ese condensador ficticio que se genera, partir de esta base.

Y con el sensor de Campos Electromagnéticos más de lo mismo pero con las magnitudes que el trabaja, Flujo Magnético y la FEM inducida.

Con todos esos datos, y haciendo aproximaciones de los cables a medir para establecer una resistencia interna universal para éstos, pienso que se podría llevar a cabo la idea inicial de medir Intensidad.

Todas las mejoras comparadas con ésta son insignificantes, pero bueno un resumen de ellas sería:

- La placa podría venir con un módulo GPRS o incluso 3G incluido para la aplicación de saber si un aparato sigue funcionando o no a través de comunicación móvil.

- También podría incluirse una pantalla LED capaz de mostrar los datos que estamos tomando, ya que esta placa siempre es mucho más cómoda utilizarla con alimentación exterior (pila) y no a través de un cable USB.

- Cualquier tipo de mejora comentada anteriormente para el cálculo de la Intensidad, aunque no se consiga la medición de ésta, también sería bienvenida.

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

9. Glosario

- PCB Printed Circuit Board (Placa de circuito impreso)
- WSN Wireless Sensor Network (Red sensorial inalámbrica)
- SMD Surface Mount Device (Dispositivo de montaje superficial)
- GPL General Public License (Licencia Pública Genérica)
- IDE Integrated Development Environment (Entorno de desarrollo integrado)
- GPS Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global)
- GPRS General Packet Radio Service (Servicio general de paquetes vía radio)
- SPI Serial Peripheral Interface (Interfaz de comunicación serie)
- EMF Electro Magnetic Field (Campo Electromagnético)
- FEM Fuerza ElectroMotriz
- OEM Original Equipment Factured (Fabricante de equipamiento original)

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

10. Bibliografía

10.1 Referencias bibliográficas

Los apuntes y artículos consultados a lo largo de este proyecto son los listados a continuación.

Apuntes:

- Notas sobre utilización Eagle 4.0. C. Bernal.

Artículos:

- Arduino: Guía técnica. Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L.
- Waspmove: Guía técnica. Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L.
- GPRS+GPS modulo para Arduino: Guía técnica. Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L.

10.2 Linkografía

A continuación se listan las diferentes páginas web en las que se ha buscado información o se han utilizado para la realización del proyecto.

Páginas web informativas:

- <http://www.libelium.com>
- <http://www.arduino.cc>
- <http://www.arduteka.com>
- <http://es.wikipedia.org>

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

- <http://www.circuit-finder.com>
- <http://www.fisicapractica.com>
- <http://www.ecircuitslab.com>
- <http://gadgetronicx.blogspot.com.es>
- <http://www.zen22142.zen.co.uk>
- <http://www.circuitstoday.com/electromagneti-field-sensor-circuit>

Páginas web de distribuidores

- <http://es.farnell.com>
- <http://es.rs-online.com>
- <http://www.digikey.es>
- <https://www.sparkfun.com>
- <http://www.cooking-hacks.com>
- <http://www.octopart.com>

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

11. Anexos

11.1 Artículo “*¿Qué son los sensores?*”

- <http://www.bitsingenio.com/%C2%BFque-son-los-sensores/>

11.2 Artículo “*Las ecuaciones de Maxwell*”

- http://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaciones_de_Maxwell

11.3 Artículo “*¿Qué son los campos electromagnéticos?*”

- <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/>

11.4 Artículo sobre el sensor de campos eléctricos inicial

- <http://www.elecfreaks.com/1765.html>

11.5 Sensor de campos electromagnéticos comercial

- <http://www.emartee.com/product/42044/Electromagnetic%20Wave%20Detection%20Sensor%20V3.0>

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

11.6 Esquemas sobre los supuestos sensores de EMF para Arduino

- <http://makezine.com/2009/05/15/making-the-arduino-emf-detector/>
- <http://www.instructables.com/id/Arduino-EMF-Detector/>
- http://dics.voicecontrol.ro/had/post/420/Arduino_EMF_%C2%A0sensor.html

11.7 Artículo informativo sobre el fluxgate

- <http://whatis.techtarget.com/definition/fluxgate-magnetometer>

11.8 Esquemas para la detección de campos electromagnéticos mediante amplificadores operacionales

uA741:

- <http://www.ecircuitslab.com/2012/12/electromagnetic-field-detector-schematic.html>
- <http://www.gadgetronicx.com/2013/03/electromagnetic-field-sensor-circuit.html>
- <http://www.circuitstoday.com/electromagnetic-field-sensor-circuit>

DETECTOR NO INVASIVO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS PARA ARDUINO UNO	MEMORIA
REVISIÓN 2	20/02/14

LF351:

- <http://diagramhow.blogspot.com.es/2013/04/ic-lf351-electromagnetic-field-sensor.html>
- <http://www.circuit-finder.com/categories/sensor/magnetic-sensor/102/electromagnetic-field-detector>

TL084:

- <http://www.zen22142.zen.co.uk/Circuits/Testgear/emfprobe2.htm>

INA122:

- <http://tuomasnylund.fi/drupal6/content/simple-emf-probe>

11.9 Datasheet bc847c

- <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/stmicroelectronics/8839.pdf>

