



Universidad de Valladolid

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN PROFESOR DE EDUCACIÓN  
SECUNDARIA OBLIGATORIA Y  
BACHILLERATO, FORMACIÓN PROFESIONAL  
Y ENSEÑANZAS DE IDIOMAS

Especialidad de Tecnología e Informática

**Actividades de aprendizaje  
utilizando sensores de dispositivos  
móviles personales**

Autor:

**Santiago González Gancedo**

Tutor:

**Miguel Ángel González Rebollo**

*Valladolid, 30 de Junio de 2015*



# Resumen

Este trabajo se centra en el diseño de actividades innovadoras centradas en dispositivos móviles, de manera que los estudiantes puedan realizarlas con su propio teléfono móvil (BYOD-Bring Your Own Device). La utilización de estos dispositivos aporta productividad personal, reducción de barreras entre el aprendizaje formal e informal, fomento del aprendizaje social y del *“aprender haciendo”*, reduciendo costes considerablemente.

Las principales aportaciones de este trabajo consisten en el diseño de dos actividades específicas además de proponer ideas para nuevos desarrollos. Una actividad consiste en la medición del campo magnético terrestre utilizando el magnetómetro, y en la otra actividad, interdisciplinar entre las ramas de música y tecnología, se construye una sencilla guitarra eléctrica, estimulando la creatividad de los estudiantes. Con estas actividades se utilizan las nuevas tecnologías aplicadas a la educación, y aprovechan los avances recientes planteando actividades innovadoras que despiertan el interés de los estudiantes por la materia.



# Tabla de contenidos

<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
1.1. Objetivos . . . . .	11
<b>2. Actividad I: Campo Magnético Terrestre</b>	<b>13</b>
2.1. Motivación . . . . .	13
2.2. Currículo . . . . .	14
2.3. Campo magnético terrestre . . . . .	20
2.4. Descripción . . . . .	21
2.4.1. Sensor magnético . . . . .	24
2.4.2. Materiales y construcción . . . . .	25
2.4.3. Desarrollo de la actividad . . . . .	27
2.5. Conclusiones . . . . .	36
<b>3. Actividad II: Guitarra Eléctrica</b>	<b>39</b>
3.1. Motivación . . . . .	39
3.2. Currículo . . . . .	40
3.3. Fundamento de una guitarra eléctrica . . . . .	49
3.4. Dificultades técnicas . . . . .	50
3.4.1. Frecuencia de muestreo . . . . .	52
3.4.2. Tiempo de asentamiento . . . . .	56
3.5. Descripción . . . . .	57
3.5.1. Sensor de entrada de audio . . . . .	57
3.5.2. Materiales y construcción . . . . .	59
3.5.3. Desarrollo de la actividad . . . . .	63
3.6. Conclusiones . . . . .	70
<b>4. Conclusiones</b>	<b>73</b>
4.1. Líneas futuras . . . . .	75
<b>A. Tablaturas</b>	<b>77</b>
<b>Referencias</b>	<b>80</b>



# Capítulo 1

## Introducción

La rápida y constante evolución de la tecnología está creando nuevas oportunidades y retos en el ámbito educativo. Para muchos jóvenes, los dispositivos móviles ya forman una parte integral de sus vidas diarias, lo cual podemos aprovechar para beneficiarnos del potencial que nos puede proporcionar con el objetivo de mejorar la experiencia de aprendizaje de los alumnos, sirviéndonos de la tecnología como apoyo.

La situación actual de la cantidad de estudiantes que disponen de móvil nos indica que existen amplias posibilidades para su aprovechamiento. Según el Instituto Nacional de Estadística, la disponibilidad de teléfonos móviles en España durante el año 2014 se incrementa significativamente en edades jóvenes, pasando del 64.3% a los 12 años al 90.3% a los 15 años (INE, 2015), que son edades muy representativas de la educación secundaria. Además, el uso del móvil se ve potenciado con disponibilidad de internet para poder acceder a recursos online o descargar aplicaciones. De acuerdo con los datos oficiales del Ministerio, en el curso 2012-2013, el 97.1% de los centros de Educación Secundaria y Formación Profesional contaban con banda ancha de conexión a internet, lo cual supone un considerable aumento desde el 88.1% en el curso 2007-2008 (MECD, 2014). Por lo tanto, podemos afirmar que el uso del móvil con acceso a internet en el aula es una posibilidad real en la vasta mayoría de los centros en este país en la actualidad.

Según el Horizon Repot de 2015, que analiza el panorama de las tecnologías emergentes para la enseñanza, aprendizaje y creatividad en una iniciativa de ámbito mundial, los dos desarrollos que se prevé que van a tener un mayor impacto en la innovación educativa a corto plazo son conocidos como **Bring Your Own Device (BYOD, trae tu propio dispositivo)**, en ocasiones conocido como Bring Your Own Technology (BYOT, *trae tu propia tecnología*), y Flipped Classroom (Johnson *et al.*, 2015). Nuestro trabajo se contextualiza dentro del primer desarrollo.

BYOD, término acuñado por Intel en 2009, hace referencia a la práctica de que la gente decida llevar sus propios dispositivos (generalmente portátil, tablet o móvil) a su lugar de trabajo. En el caso de la educación, hemos visto cómo gran parte de estudiantes llevan su propio dispositivo móvil y puede conectarlo a la red del centro.

Al tratarse de dispositivos móviles personales, existen ciertas ventajas en un contexto educativo, como son las siguientes.

- *Aumento de la productividad personal.* Al usar dispositivos personales, cada estudiante ha invertido cierto tiempo en configurarlo según sus gustos personales de la forma en la que le resulta más eficiente acceder a la información, por lo que la fase de aprendizaje del manejo del dispositivo se reduce al mínimo, haciendo su manejo mucho más fluido que si se tratase de otro dispositivo.

Merece una mención especial los casos de discapacidades. Los móviles suelen contar con adaptaciones especiales para personas con ciertas discapacidades, especialmente visuales, que permiten trabajar con el móvil y acceder a la información de forma más cómoda (por ejemplo, ajustando automáticamente el tamaño de la letra, cambiando los colores o leyendo el texto). Poder disponer de dispositivos móviles, y que éstos ya cuenten con la configuración que mejor les resulta, resulta una gran ventaja de BYOD.

- *Difumina las barreras entre el aprendizaje formal e informal.* Los estudiantes generalmente pueden acceder a los recursos educativos desde cualquier lugar y en cualquier momento, permitiéndoles mezclar sus intereses personales con elementos de ese aprendizaje cuando surja alguna relación. De esta forma, el aprendizaje mediante el móvil se adentra por igual en dos dimensiones fundamentales como son la *intencionalidad* (con o sin intención previa) y el *contexto* (formal e informal), al permitir la comunicación con compañeros y poder ser usados en toda clase de situaciones y lugares (Berth, 2006).
- *Fomenta el aprendizaje social.* El uso de móviles personales puede promover la construcción colaborativa de conocimiento mediante estructuras interactivas y participativas que sirvan como apoyo al aprendizaje (Lewis *et al.*, 2010). Para esto se existen multitud de sistemas de comunicación y herramientas de edición colaborativa y compartición de contenidos digitales que permiten a los compañeros de trabajo interactuar sin necesidad de presencia física, al igual que con el profesor.
- *Fomenta el “aprender haciendo”.* Las posibilidades que ofrecen las aplicaciones móviles de visualizar y crear contenidos sumadas a las características inherentemente participativas de la *Web 2.0*, fomenta en gran medida la creación práctica mediante la cual los estudiantes pueden experimentar el objeto de aprendizaje de un modo interactivo y generar así conocimiento significativo (Bareiss *et al.*, 2011).
- *Reduce costes de una manera sostenible.* Frente a alternativas en las que los centros proporcionan dispositivos a los estudiantes, la posibilidad de usar modelo BYOD supone un coste mucho más reducido, ya que aprovecha los propios móviles que los alumnos ya llevan a clase.

Además, en el caso de asignaturas de la rama científico-tecnológica, donde se trabaja con sensores, la posibilidad de utilizar los sensores del móvil para llevar a cabo actividades hace innecesario el uso de cierto material de laboratorio, abaratando costes al sustituir a equipación tradicional más cara.

Desde un punto de vista tecnológico, BYOD también trae nuevos retos que han de ser afrontados. Debido a los rápidos cambios de hardware y software, no siempre es fácil disponer de entornos de aprendizaje que se puedan usar en cualquier dispositivo (Alberta Government, 2014). Esto requiere cierta actualización constante por parte del profesorado para estar al tanto de las nuevas aplicaciones y entornos que surjan, y su posibilidad de uso con la diversidad de dispositivos que pueden tener sus alumnos (en la actualidad las dos plataformas predominantes son Android e iOS, con una cuota de mercado en España del 88.6 % y 8.9 % respectivamente, dejando un 3.7 % para otras plataformas encabezadas por Windows, según datos de abril de 2015 proporcionados por *Kantar Worldpanel*<sup>1</sup>). Éste es el motivo por el que las aplicaciones que mencionamos en este trabajo representan el estado actual de las principales posibilidades existentes, pero es recomendable analizar en cada momento las aplicaciones más apropiadas que se puedan encontrar y que ofrezcan la funcionalidad deseada.

Además, no se puede dar por hecho que todos los alumnos disponen de internet móvil y van a tener acceso a recursos online en todo momento. Según el INE, en 2014 tan sólo el 74.4 % de los hogares españoles dispusieron de conexión a internet, y aunque no existen datos oficiales centrados en las edades que nos interesan, el 77.1 % de la población de 16 a 74 años accedió a internet desde un dispositivo móvil alguna vez durante los tres meses previos a la encuesta (INE, 2015). Por este motivo resulta conveniente dar facilidades por parte del profesorado para que los contenidos sean descargables e intentar que no sea obligatorio el acceso a internet con mucha frecuencia. En nuestro caso, proponemos actividades en las que no es necesario internet más que para descargar aplicaciones, que se puede hacer en el centro una única vez y usar en el móvil cuando se necesite.

Para finalizar con los retos de BYOD, desde un punto de vista económico, el uso generalizado de equipos conectados a internet en un centro supone la necesidad de una red de datos lo suficientemente grande como para dar cabida a los equipos que va a alojar. Por este motivo, aunque supone el abaratamiento que hemos comentado previamente, el centro se tiene que asegurar de que tiene la infraestructura adecuada (Alberta Government, 2014).

De forma paralela a las consideraciones de BYOD, el uso del móvil aporta nuevas posibilidades como herramienta educativa en la rama científico-tecnológica. La gran mayoría de los dispositivos móviles cuentan con una serie de sensores. El sensor magnético, o magnetómetro, es capaz de medir la intensidad del campo magnético resultante que experimenta en cualquiera de los tres ejes espaciales. El ADC (Analog-Digital Converter) mide el voltaje de la señal eléctrica que recibe, destinada a conectar

---

<sup>1</sup><http://www.kantarworldpanel.com/global/smartphone-os-market-share>

micrófonos externos, por lo que comúnmente se le llama entrada de audio. El sensor de sonido, o micrófono interno, capta las ondas sonoras del ambiente, de forma que no sea necesario conectar uno externo. El sensor de aceleración, o acelerómetro, es capaz de medir la aceleración -o cambios de velocidad- que experimenta el dispositivo de forma lineal en alguno de los tres ejes espaciales. El sensor de giro, llamado giróscopo o giroscopio, mide las rotaciones que experimenta el teléfono, de nuevo en cualquiera de los tres ejes. El GPS (Global Positioning System) detecta la situación geográfica del teléfono, bien sea mediante el estándar de satélites GPS, mediante triangulación a las antenas de telefonía móvil o por cercanía a redes Wi-Fi previamente geolocalizadas. El sensor de luz mide la cantidad de luz ambiental que recibe el teléfono. Finalmente, el sensor de distancia mide la distancia desde el teléfono hasta objetos cercanos, y está destinado a apagar la pantalla cuando está cerca del oído mientras se habla con otra persona. Estos son los sensores que generalmente se encuentran en los dispositivos móviles, aunque no todos disponen de la gama completa que hemos comentado, con especial relevancia el GPS, que encarece particularmente el precio del dispositivo. Sin embargo, el resto de los sensores tienen una implantación común en el mercado actual. En este trabajo, usaremos el magnetómetro y la entrada de audio.

Tradicionalmente, sería necesario equipo de laboratorio, contando con un número de sensores reducido para toda la clase y no existía la posibilidad de experimentar fuera del aula. Sin embargo, los móviles permiten que se puedan realizar experiencias individual o colaborativamente en grupos del tamaño que el profesor considere oportuno, y que los alumnos puedan continuar la experimentación donde prefieran. Esto les proporciona una forma de observar y medir el mundo que les rodea de una forma mucho más intuitiva y constructivista, además de percibir el móvil como una herramienta de trabajo y aprendizaje, y promover una desmitificación del funcionamiento de la tecnología (Postman, 1998).

En este trabajo vamos a proponer actividades basadas en BYOD, donde los diferentes aspectos que hemos comentado se ven reflejado. Las actividades parten de la rama científico-tecnológica, concretamente del estudio de electromagnetismo, e involucramos otras ramas de forma multidisciplinar, como son la geografía y la música. Estas actividades utilizan sensores disponibles comúnmente en móviles personales, de forma que les resulte cómodo desenvolverse en un entorno familiar, puedan llevarlas a cabo donde y cuando quieran, aprendan haciendo y experimentando a su propio ritmo, y lo puedan hacer con una componente social utilizando las herramientas disponibles para ello sin necesidad de usar otra máquina más que su dispositivo móvil personal. Las actividades que proponemos están diseñadas para ser utilizadas en centros de educación secundaria españoles, donde tanto el currículo como las circunstancias económicas han sido tenidas en cuenta. Cada actividad involucra un móvil y una pequeña construcción en el taller de tecnología que se ha ajustado a un presupuesto muy razonable, utilizando las TICs de una manera sostenible.

En las siguientes secciones detallamos tales actividades. La primera actividad (Sección 2) consiste en el estudio del campo magnético terrestre, donde utilizamos el móvil como sustituto de una brújula mediante el uso los sensores magnéticos, y realizamos

medidas, cálculos y gráficas, todo ello también con aplicaciones de móvil. En la segunda actividad (Sección 3) estudiamos los efectos de la polarización electromagnética mediante la construcción de una sencilla guitarra eléctrica de una sola cuerda, que se enchufa directamente al móvil, lo cual nos permite hacer grabaciones, y proponemos la creación de un videoclip como resultado interdisciplinar incluyendo contenidos de ciencias, tecnología, música, informática. Finalmente se encuentran las conclusiones (Sección 4) de este trabajo y las líneas futuras, seguidas de las referencias que se han utilizado a lo largo del documento. Antes de ello, vamos a detallar los objetivos que pretendemos alcanzar con este trabajo.

### 1.1. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es ofrecer actividades innovadoras al profesorado de secundaria, dándoles ideas que ellos puedan adaptar fácilmente y desarrollar para su asignatura y alumnado particular. Para ello, hemos identificado los siguientes objetivos secundarios.

- Explorar las posibilidades de BYOD, desarrollando actividades que utilicen dispositivos móviles personales y dispongan de todas las ventajas comentadas de BYOD.
- Explorar las posibilidades y limitaciones de utilizar sensores disponibles comúnmente en dispositivos móviles de forma que permita desarrollar contenidos de asignaturas de educación secundaria.
- Proponer actividades centradas en el currículo científico-tecnológico que sirvan como punto de partida y referencia sólida para alumnos y profesores, desarrollando los guiones de las mismas.
- Conseguir actividades con un presupuesto razonable, que permita su aplicación real en centros públicos de secundaria en las circunstancias actuales.



## Capítulo 2

# Actividad I: Campo Magnético Terrestre

En esta actividad vamos a calcular el campo magnético de la Tierra utilizando el sensor magnético del que dispone la vasta mayoría de los dispositivos móviles actuales y que permite orientarse y tener aplicaciones con funcionalidades como la de brújula. Comenzamos mostrando la motivación de la actividad, seguida por su relación con diferentes asignaturas del currículo de educación secundaria, y desarrollamos la actividad describiéndola en detalle, viendo la construcción que proponemos para medir el campo magnético terrestre, y el guión del desarrollo de la actividad planteado para entregar a los alumnos, seguido de las conclusiones de la actividad.

### 2.1. Motivación

Los cambios tecnológicos en muchas ocasiones requieren ciertas actualizaciones para poder adaptarse y procurar sacar el máximo provecho a los mismos. En nuestro caso, para sacar el máximo provecho a los dispositivos personales de los alumnos en el marco de BYOD, necesitamos adaptar las actividades tradicionales para hacerlas lo más portables posible. En esta actividad vamos a ver cómo hemos realizado cambios a una actividad para la que generalmente se necesita equipación de laboratorio para que la experimentación se pueda realizar no sólo en el aula, sino en el lugar que el alumno desee.

En esta actividad, cuyo objetivo es medir el campo magnético terrestre, hacemos uso del sensor de campos magnéticos que se encuentra comúnmente en dispositivos móviles. De esta forma nos deshacemos de la necesidad de instrumentación actualmente prescindible, como es una brújula, que previamente se necesitaba para cada grupo de trabajo o para cada alumno en el caso de realizarse de forma individual. Además, la utilización del propio dispositivo del alumno fomenta que comprenda de

manera personal la tecnología que se encuentra dentro de este tipo de dispositivos y su funcionamiento, desmitificándolo de esta manera.

Hemos escogido la temática del campo magnético terrestre debido a que nos permite desarrollar una actividad con la que sea posible sacar partido a BYOD, y porque su comprensión resulta importante de cara a conocer los fenómenos naturales, como se explica en la Sección 2.3, y que los jóvenes desarrollen una comprensión adecuada de su entorno. Además, la intrínseca relación con el área del electromagnetismo incluida en el currículo oficial resulta en un campo de estudio muy adecuado en la educación secundaria. No obstante, veremos cómo la actividad se puede aplicar a diferentes asignaturas, principalmente de las ramas científico-tecnológica y biológica.

## 2.2. Currículo

La actividad que proponemos está directamente relacionada con la rama científico-tecnológica por afinidad con la especialidad del master en la que se encuentra, pero también es aplicable a asignaturas de otras áreas como Física y Geografía. En la Tabla 2.1 se muestran las diferentes asignaturas de ESO y Bachillerato en las que se podría utilizar esta actividad y la justificación de los currículos oficiales de Castilla y León en el Decreto 52/2007 (BOCyL, 2007) para ESO, y la ORDEN EDU/1061/2008 (BOCyL, 2008) para Bachillerato, así como el los respectivos del ministerio, como son el Real Decreto 1631/2006 (BOE, 2006) y la ORDEN ESD/1729/2008 (BOE, 2008).

Aunque esta misma actividad se puede desarrollar en diferentes asignaturas y cursos, el enfoque y la explicación concreta ha de ser adaptado al contexto en el que se va a trabajar y los conocimientos previos de los que se puede partir, ya que, por ejemplo, el punto de vista de *Ciencias de la Naturaleza* de 1° de ESO es muy distinto al de *Física* de Bachillerato. Nosotros vamos a realizar el desarrollo de la actividad para ***Tecnología de 3° de ESO***.

En el caso concreto de esta asignatura, aunque el currículo oficial trata el electromagnetismo en su conjunto, es común encontrar el magnetismo tratado de forma aislada en algunos libros de texto de editoriales como McGraw-Hill (Viejo y Vicente, 2014).

Tabla 2.1: Relación de la actividad con los contenidos de las asignaturas.

Etapa	Asignatura	Contenidos relevantes
1° ESO	Ciencias de la Naturaleza	<p><b>Contenidos comunes.</b> Familiarización con las características básicas del trabajo científico, por medio de: planteamiento de problemas, discusión de su interés, formulación de conjeturas, experimentación, etc., para comprender mejor los fenómenos naturales y resolver los problemas que su estudio plantea.</p> <p><b>Materiales terrestres.</b> La geosfera.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura interna de la Tierra.</li> <li>• La corteza terrestre: su superficie, composición química y elementos geoquímicos.</li> <li>• Composición química y petrológica de las capas de la Tierra.</li> <li>• Los minerales y las rocas: concepto de mineral y roca.</li> <li>• Tipos de rocas: sedimentarias, magmáticas y metamórficas. Importancia y utilidad de las rocas. Observación y descripción de las rocas más frecuentes.</li> <li>• Utilidad, importancia y abundancia relativa de los minerales. Observación y descripción de los minerales más frecuentes.</li> <li>• Utilización de claves sencillas para identificar minerales y rocas.</li> <li>• Explotación de minerales y rocas.</li> </ul>

<p>3° ESO</p>	<p>Tecnología</p>	<p><b>Electricidad y electrónica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Circuito eléctrico de corriente continua: magnitudes eléctricas básicas. Simbología. Ley de Ohm. Circuito en serie, paralelo, mixto.</li> <li>● Corriente continua y corriente alterna.</li> <li>● Montajes eléctricos sencillos: circuitos mixtos. Inversor del sentido de giro.</li> <li>● Efectos de la corriente eléctrica: electromagnetismo. Aplicaciones.</li> <li>● Máquinas eléctricas básicas: dinamos, motores y alternadores. Generación y transformación de la corriente eléctrica.</li> <li>● Aparatos de medida básicos: voltímetro, amperímetro, polímetro. Realización de medidas sencillas. Potencia y energía eléctrica.</li> <li>● Introducción a la electrónica básica. Componentes pasivos: condensadores y resistencias. Componentes activos: diodos y transistores. Descripción de componentes y montajes básicos.</li> <li>● Análisis de circuitos eléctricos y electrónicos característicos mediante programas de simulación.</li> </ul>
---------------	-------------------	---

Bachillerato	Biología y Geología	<p><b>Origen y estructura de la Tierra:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Métodos de estudio del interior de la Tierra. Interpretación de los datos proporcionados por los diferentes métodos.</li><li>• La estructura interna de la Tierra. Composición de los materiales terrestres.</li><li>• Minerales y rocas. Estudio experimental de la formación de cristales. Minerales petrogenéticos.</li><li>• Iniciación a las nuevas tecnologías en la investigación del entorno: los Sistemas de Información Geográfica.</li><li>• El trabajo de campo: reconocimiento de muestras sobre el terreno.</li><li>• El trabajo de laboratorio: análisis físicos y químicos; microscopio petrográfico.</li></ul>
--------------	---------------------	---

<p>Bachillerato</p>	<p>Electrotecnia</p>	<p><b>Conceptos y fenómenos electromagnéticos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Imanes. Intensidad del campo magnético. Inducción y flujo magnético.</li> <li>• Campos y fuerzas magnéticas creados por corrientes eléctricas. Fuerzas electromagnética y electrodinámica. Fuerza sobre una corriente en un campo magnético. Par de fuerzas sobre una espira plana.</li> <li>• Propiedades magnéticas de los materiales. Permeabilidad. Circuito magnético. Fuerza magnetomotriz. Reluctancia. Ley de Ohm de los circuitos magnéticos.</li> <li>• Inducción electromagnética. Leyes de Faraday y de Lenz. Inducción mutua. Autoinducción.</li> <li>• Circuito RL. Carga y descarga de una autoinducción.</li> </ul>
---------------------	----------------------	---

<p>Bachillerato</p>	<p>Física</p>	<p><b>Interacción electromagnética:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Campo eléctrico. Magnitudes que lo caracterizan: intensidad de campo y potencial eléctrico. Relación entre fenómenos eléctricos y magnéticos. Campo creado por un elemento puntual. Principio de superposición. Campo creado por una corriente rectilínea. Estudio comparativo entre los campos gravitatorio y eléctrico.</li> <li>• Campo magnético creado por una carga móvil, por una corriente indefinida, por una espira circular y por un solenoide en su interior.</li> <li>• Acción de un campo magnético sobre una carga en movimiento. Fuerza de Lorentz. Acción de un campo magnético sobre una corriente rectilínea. Estudio cualitativo de la acción de un campo magnético sobre una espira. Mención a sus aplicaciones. Experiencias con bobinas, imanes y motores. Magnetismo natural. Analogías y diferencias entre campos gravitatorio, eléctrico y magnético.</li> <li>• Interacciones magnéticas entre corrientes paralelas. El amperio.</li> <li>• Inducción electromagnética. Experiencias de Faraday y Henry. Leyes de Faraday y de Lenz. Producción de corrientes alternas. Referencia al impacto medioambiental de la energía eléctrica y a las fuentes de energía renovables. Importancia de la síntesis electromagnética de Maxwell. Ondas electromagnéticas, aplicaciones y valoración de su papel en las tecnologías de la comunicación.</li> </ul>
---------------------	---------------	--

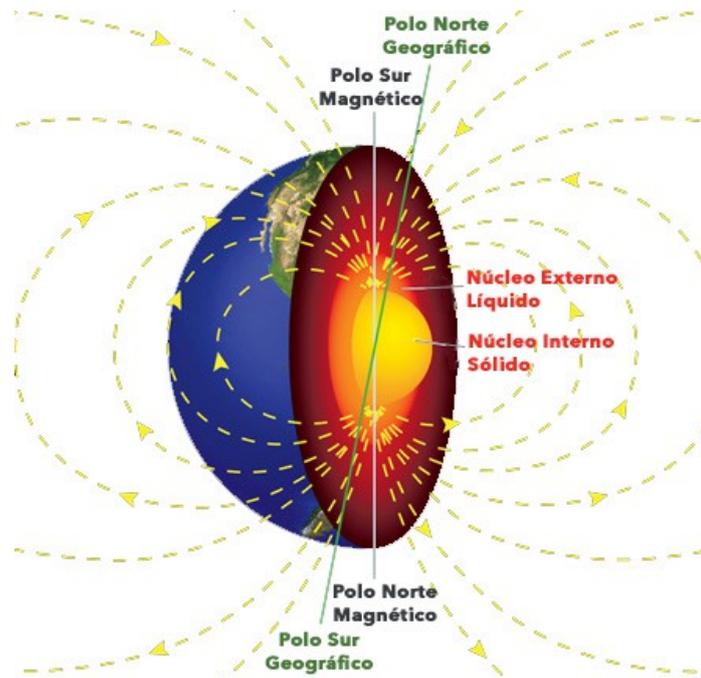


Figura 2.1: Polos magnético y geográfico de la Tierra. Crédito: M. Atarod.

### 2.3. Campo magnético terrestre

El campo magnético de la Tierra, también conocido como campo geomagnético, es un efecto natural de gran relevancia, causante por ejemplo de las auroras boreales y protector de los efectos devastadores que tendría el viento solar sin el “escudo” que genera la magnetosfera, y también se está estudiando la relación con la meteorología y los cambios climáticos del planeta.

La Tierra actúa como un imán gigante con dos polos, Norte y Sur. De esta forma, la Tierra se comporta como lo que se conoce como *dipolo magnético*, cuyo eje es muy similar al formado por el polo norte y sur geográficos, con una desviación de unos  $11^\circ$ , como se puede ver en la Figura 2.1. Curiosamente, los polos que forman el eje magnético están invertidos respecto a los del eje geográfico. Se ha elegido establecer los polos magnéticos así porque si tenemos un imán en nuestras manos y lo dejamos rotar con libertad, como hacemos con una brújula, el polo norte de la brújula apunte aproximadamente hacia el polo norte geográfico y resulte más intuitivo para guiarse.

La principal explicación sobre el mecanismo por el cual un planeta como la Tierra genera un campo magnético se conoce como la **teoría de la dinamo**. El campo magnético del planeta se genera desde su núcleo, que contiene principalmente hierro en estado líquido, y por el movimiento de las corrientes eléctricas que contiene se genera un campo magnético. Al ser producido por elementos líquidos, el campo no es estático y hay cambios que se pueden percibir a lo largo de los años.

## 2.4. Descripción

En esta actividad vamos a medir el campo magnético terrestre mediante una de las varias técnicas existentes para ello, habiéndola adaptado de forma que se pueda realizar utilizando los sensores magnéticos de un dispositivo móvil y sea aplicable a un contexto educativo de ESO y Bachillerato. Aunque existen más técnicas para realizar este cálculo, la que desarrollamos aquí resulta muy adecuada por su sencillez y reducido presupuesto, pudiendo realizarse en grupos o incluso individualmente si se desea, y permitiendo comprender de forma tangible las fuerzas magnéticas involucradas.

Si queremos medir la intensidad del campo magnético de la Tierra en un lugar determinado, hemos de tener en cuenta que por lo general no vamos a medir únicamente lo que deseamos, ya que hay otras fuentes magnéticas que intervienen en la medida como los que se muestran en la Figura 2.2, como por ejemplo las condiciones de la magnetosfera y los materiales que existan en el suelo en la región donde midamos, y los ruidos magnéticos en los que podamos estar envueltos, que son especialmente relevantes dentro de una ciudad con aparatos eléctricos cerca. Sin embargo, se estima que el efecto del campo magnético de la Tierra puede llegar a ser hasta en torno a un 80 % de la medida resultante (Merril *et al.*, 1996, p. 20), por lo que tendremos este dato en cuenta a la hora de comparar medidas en diferentes lugares y tiempos.

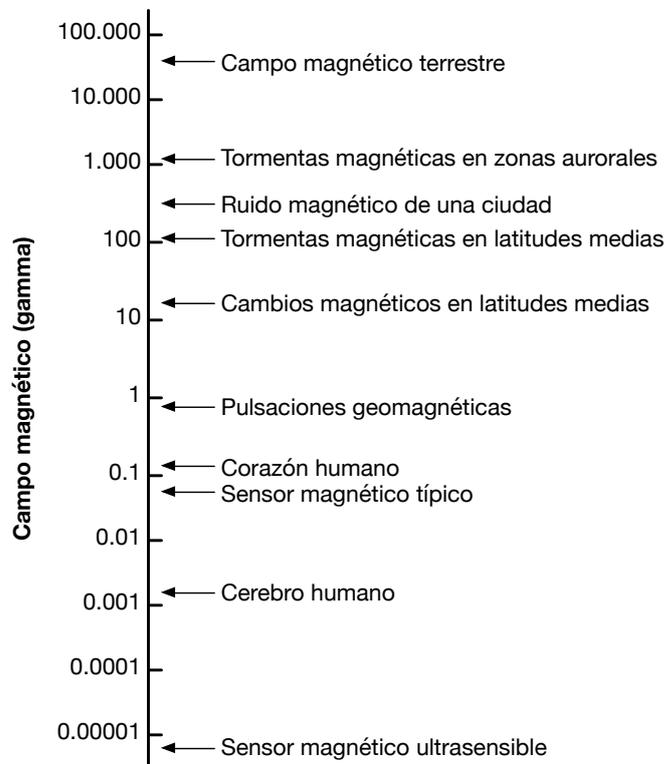


Figura 2.2: Tamaño de diferentes fuentes magnéticas en relación con el terrestre. Nótese que la escala es logarítmica.

Fecha	Declinación (+E   -O)	Inclinación (+Arr   -Ab)	Intensidad Horizontal	
01/05/2015	-1° 24' 50"	56° 35' 34"	24 872.2 nT	
Cambio/año	0° 7' 31"/a	-0° 1' 20/a	25.5 nT/a	
Incertidumbre	0° 19'	0° 13'	133 nT	

Fecha	Comp. Norte (+N   -S)	Comp. Este (+E   -O)	Comp. Vertical (+Arr   -Ab)	Campo Total
01/05/2015	24 864.6 nT	-613.3 nT	37 710.2 nT	45 174.0 nT
Cambio/año	26.8 nT/a	53.7 nT/a	6.7 nT/a	19.6 nT/a
Incertidumbre	138 nT	89 nT	165 nT	152 nT

Tabla 2.2: Valores del campo magnético terrestre en 2015 en Valladolid (latitud: 41° 39' 0"N, longitud: 4° 43' 16"W, a 698 metros de altitud). Incluye as siglas de las componentes **N**orte, **S**ur, **E**ste, **O**este **A**riba y **A**bajo. Nótese que las unidades son nano Teslas,  $nT$ .

El campo magnético terrestre que queremos medir por lo general mantiene una intensidad oscilante entre 24  $\mu T$  y 66  $\mu T$  (la unidad del campo magnético es el Tesla, T, en honor a Nikola Tesla), dependiendo de la región concreta desde donde se mida y de las condiciones internas del núcleo a lo largo del tiempo. Existen modelos matemáticos muy precisos para nuestro propósito, como el World Magnetic Model (Chulliat *et al.*, 2015), que pueden ayudarnos a comprobar los resultados de nuestro experimento. Por ejemplo, en la página web de la Administración Estadounidense de Océanos y Atmósfera<sup>1</sup> podemos consultar que en la ciudad de Valladolid la intensidad total del campo magnético es de 45  $\mu T$ . En la Tabla 2.2 se pueden consultar los datos completos para esta ciudad, y en la Figura 2.3 se puede consultar el valor aproximado en cualquier lugar de la superficie del planeta a comienzos de 2015 mirando las curvas de nivel. Podemos observar que el campo magnético terrestre no es completamente uniforme y que según nuestra localización puede haber diferencias significativas hasta triplicarse su valor.

Debemos tener en cuenta que fijándonos en los datos de la Tabla 2.2, vemos que la componente vertical es muy considerable, pero ésta en no afecta a una brújula, ya que lo que realmente hace que una brújula adquiera un ángulo determinado son las componentes Norte y Este, que conforman la intensidad horizontal, y como podemos ver es de 24.87  $\mu T$ .

<sup>1</sup><http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web>

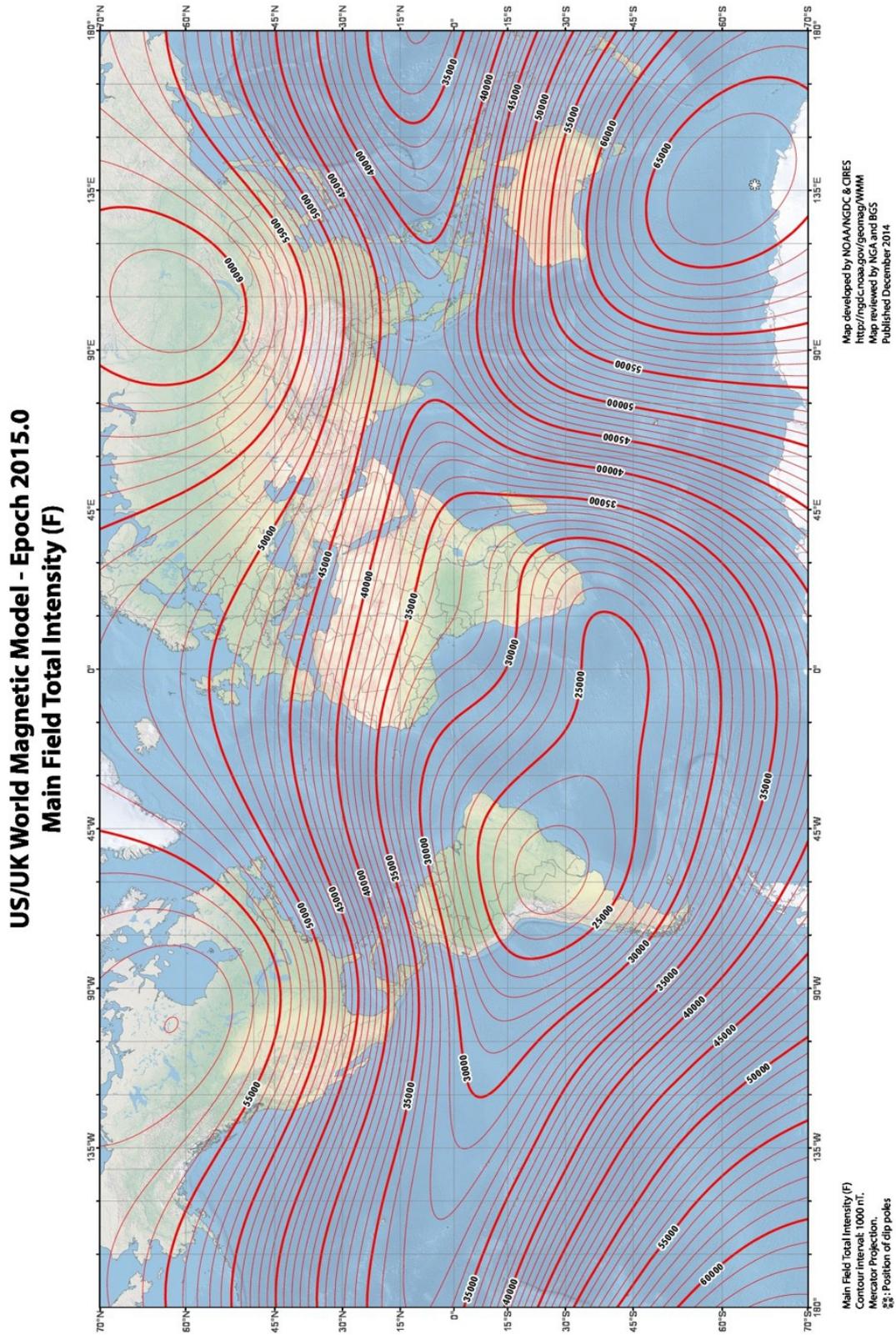


Figura 2.3: Mapa del mundo con curvas de la intensidad total del campo magnético terrestre durante 2015.



Figura 2.4: Construcción de la actividad, con la bobina Helmholtz y el potenciómetro con los bornes para conectar la fuente de alimentación.

### 2.4.1. Sensor magnético

En esta actividad vamos a utilizar el magnetómetro de un dispositivo móvil para detectar campos magnéticos como el terrestre. En la actualidad es posible que un dispositivo tan pequeño tenga sensores de este tipo gracias a la minituarización que ha experimentado tecnología en las últimas décadas, en concreto en lo que se conoce como MEMS (Sistemas Micro-Electro-Mecánicos). Esta minituarización y abaratamiento de costes ha permitido que se extienda su uso a un gran número de aplicaciones, incluyendo dispositivos móviles.

El sensor magnético con el que vamos a trabajar pertenece a esta familia de tecnología MEMS. Existen varias formas de medir campos magnéticos, pero nosotros vamos a centrar en el más común que se puede encontrar, que se basa en un efecto físico llamado efecto Hall.

El efecto Hall, descubierto por Edwin Hall en 1879, se basa en un principio fundamental en electromagnetismo que relaciona los campos magnéticos con la corriente eléctrica, que consiste en que cuando una carga eléctrica atraviesa un campo magnético, ésta carga experimenta una fuerza que la desvía de su trayectoria, conocida como fuerza de Lorentz.

Este sensor funciona como se ilustra en la Figura 2.5. Dispone de una lámina fina de un material conductor, por la que se hace circular una corriente eléctrica como la

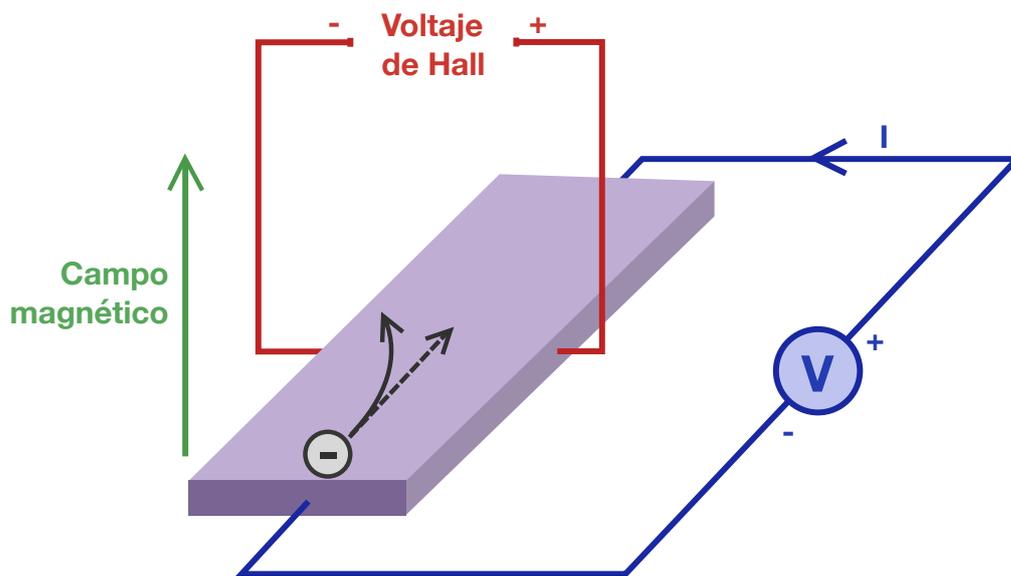


Figura 2.5: Efecto Hall en el funcionamiento de un magnetómetro.

que se muestra en azul, a lo largo del material. En ausencia de un campo magnético, las cargas circulan de forma homogénea a lo largo de esta placa. Sin embargo, cuando hay un campo magnético, las cargas tenderán a curvar su trayectoria por la fuerza de Lorentz, generando así una diferencia de potencial, que es el voltaje de Hall que vemos en la figura. Cuanto más fuerte sea el campo magnético, con más fuerza curvarán su trayectoria, y mayor voltaje de Hall habrá. De esta manera, si medimos el voltaje de Hall, tendremos una correlación con el campo magnético que experimentan las cargas.

De esta forma, se consigue tener una lectura del campo magnético. Dado que la lámina es muy fina, se ve afectada principalmente por la componente del campo magnético perpendicular a la misma. Esto nos permite, que con tres sensores de este tipo colocados perpendicularmente entre sí, tengamos una lectura del campo magnético en las tres dimensiones espaciales ( $X, Y, Z$ ), permitiendo obtener campos magnéticos en cualquier dirección.

### 2.4.2. Materiales y construcción

Para llevar a cabo esta actividad, vamos a necesitar los siguientes materiales:

- Una bobina de Helmholtz, que podemos construir nosotros fácilmente con cartulina y una base algo más sólida de cartón o madera.
- Una fuente de alimentación regulable. Si no disponemos de una, podemos construirla de forma sencilla con una pila y un potenciómetro, como veremos.

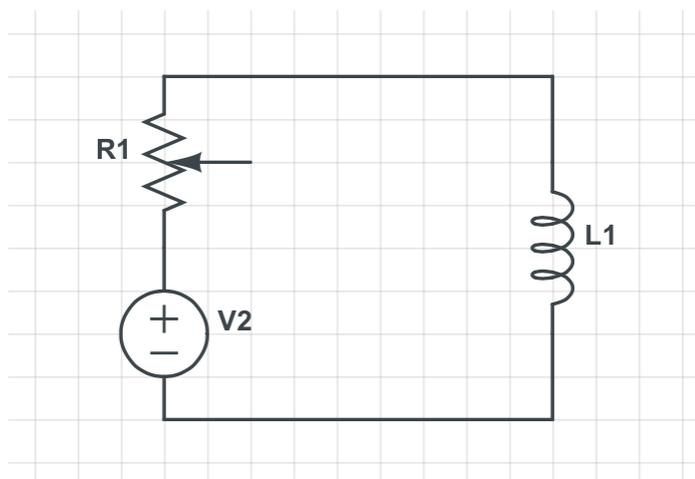


Figura 2.6: Esquema eléctrico del circuito, con la bobina Helmholtz representada en L1 y el potenciómetro en R1.

- Un polímetro para medir intensidad o resistencia. No es imprescindible, pero ayuda a evitar errores, y en cualquier caso sólo es necesario usarlo una vez para calibrar el circuito.
- Un dispositivo móvil que disponga de magnetómetro y acceso a internet (sólo para descargar aplicaciones).

Vamos a seguir un procedimiento mediante el cual necesitamos generar otro campo magnético de diferentes intensidades. Para ello, lo más sencillo es utilizar una bobina de Helmholtz. Se pueden comprar ya fabricadas a un precio inaceptable para nuestro propósito por varios cientos de euros, pero vamos a construirla nosotros mismos fácilmente con un coste muy aceptable para conseguir lo que se puede ver en la Figura 2.4, que consta de dos bobinas de igual dimensión y número de vueltas. La configuración de Helmholtz consiste en que las bobinas estén separadas a una distancia igual al radio de las mismas; de esta forma se consigue un campo magnético lo más uniforme posible dentro del espacio generado por las bobinas, en la dirección del eje que forman. El soporte físico en nuestro caso lo hemos realizado con cartulina y contrachapado de 5 mm, pero se puede realizar con muchos otros materiales, por lo que se puede reaprovechar fácilmente material sobrante del taller de tecnología si existe.

Si no disponemos directamente de una **fente de alimentación** de laboratorio con una ruleta que nos permita ajustar la corriente que proporciona, la podemos construir fácilmente. Si usamos una pila como fuente de alimentación, cambiando la resistencia del circuito producimos que cambie la intensidad de la corriente que circula. Teniendo un voltaje ( $V$ ) fijo, el potenciómetro que tenemos regula la resistencia ( $R$ ) del circuito, y por tanto la corriente ( $I$ ) del mismo, según la ley de Ohm de la Ecuación 2.1. Por lo tanto, regulando el potenciómetro conseguimos que el campo magnético que genera la bobina ( $B_H$ , expresada en la Ecuación 2.9) cambie de intensidad. Así pues, sólo tenemos que colocar un potenciómetro en serie con la pila y

Material	Coste
Hilo conductor	0.1 €
Potenciómetro y electrónica	1 €
Pila	1 € aprox.
Cartulina y madera o cartón	1 ó 2 € aprox.
Total	menos de 5 €

Tabla 2.3: Costes de la actividad I.

la bobina Helmholtz, como vemos representado en el esquema eléctrico de la Figura 2.6. Vamos a medir hasta  $200\ \Omega$ , por lo que se recomienda un potenciómetro de esta resistencia, aunque puede ser algo más grande si no se encuentra.

Con esta construcción nos hemos librado de material especial de laboratorio, como una fuente de alimentación regulable, y hemos conseguido que la construcción sea fácilmente transportable de casa a clase, y que los alumnos puedan experimentar cómodamente en el lugar que deseen. Además, hemos conseguido una actividad muy barata, ya que la mayoría de los componentes son de uso cotidiano o se podrían encontrar ya en los talleres de tecnología de los institutos. El único material que podría resultar más particular es el hilo de cobre. Su precio puede variar mucho según el diámetro que se elija. Creemos que un diámetro de 0.25 mm es adecuado, ya que se puede manipular con soltura, ya que uno menor es demasiado delicado. Hemos encontrado en internet rollos de 3 kilómetros de este material por un precio de unos 15 €, lo que significa que para la bobina de las dimensiones que proponemos se necesitarían 13 m, lo cual supondría un coste de 6 céntimos por alumno. Por lo tanto, el presupuesto total estimado para esta actividad es de menos de 5 €. Podemos ver el desglose en la Tabla 2.3.

### 2.4.3. Desarrollo de la actividad

El objetivo de la actividad es medir el campo magnético de la Tierra ( $B_T$ ). Para ello vamos a usar una bobina Helmholtz, que nos proporciona un campo magnético uniforme ( $B_H$ ) dentro de la misma, que usaremos para crear campos magnéticos de diferentes intensidades y ver cómo afectan a la brújula. De esta forma conseguiremos variar el campo magnético resultante y por lo tanto el ángulo de la brújula. La actividad consiste en la siguiente serie de pasos.

1. **Construcción.** Construye la bobina Helmholtz en el taller de tecnología según comentamos en la Sección 2.4.2, para obtener el resultado que puedes ver en la Figura 2.4.

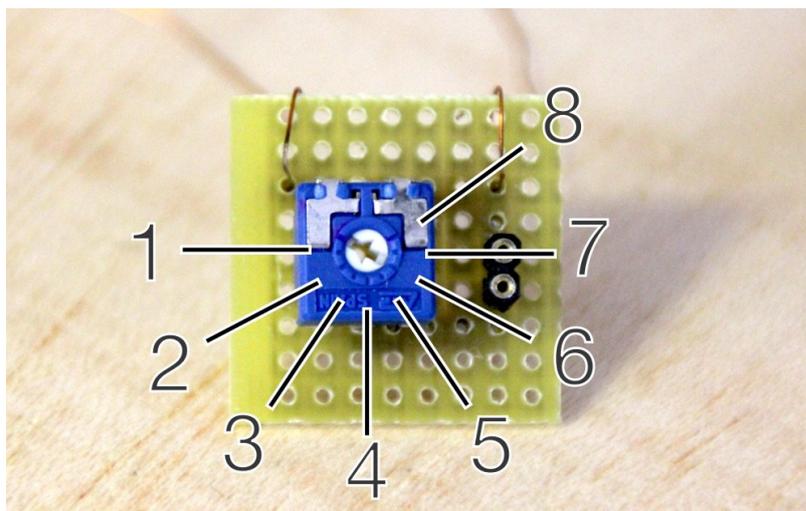


Figura 2.7: Potenciómetro con las marcas de calibración resaltadas.

2. **Calibración.** Lo primero que necesitamos hacer es calibrar los materiales una única vez, y después poder realizar la experimentación cuantas veces queramos.

- a) Para evitar usar el polímetro cada vez que vamos a usar la bobina, vamos a anotar los valores de la resistencia del circuito para diferentes posiciones del potenciómetro. Es frecuente que los potenciómetros incluyan ya marcas resaltadas, como puedes ver en la Figura 2.7, por lo que vamos a usar estas marcas como guía. Gira el potenciómetro hasta cada una de las marcas, y anota la resistencia total del circuito para cada marca. Anota estos valores en una tabla con el número de marca y la resistencia, como las dos primeras columnas que ves en la Tabla 2.4. Se puede utilizar la primera marca, pero conviene no utilizarla para que se vean mejor los puntos en la gráfica, ya que está muy alejada del resto de puntos.
- b) Con el polímetro, mide el voltaje que proporciona la pila que vas a usar en la actividad. Las pilas de tipo AAA suelen ser de 1.5 V, pero puede haber pequeñas variaciones siempre que no esté muy desgastada. En nuestro caso concreto, hemos medido que la pila proporciona 1.56 V.
- c) Localiza la posición del sensor en tu móvil y anótala. Cada modelo de móvil puede tener el sensor situado en un lugar distinto, como podemos ver en la Figura 2.8. Esto nos permitirá saber la zona del dispositivo que realmente necesitamos que esté dentro de la bobina.

Coge algún elemento metálico relativamente pequeño, como un tornillo, y pásalo por diferentes zonas del dispositivo con alguna aplicación que te indique la magnitud del campo magnético, como el de la Figura 2.13. La lectura será más diferente cuando más cerca esté el elemento metálico del sensor, por lo que de esta sencilla manera puedes saber la zona en la que se encuentra el sensor.

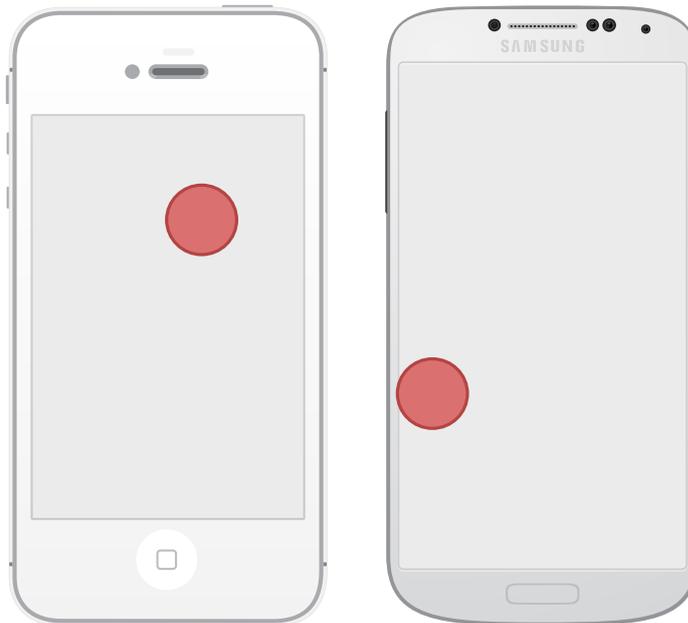


Figura 2.8: Localización de los sensores en dos de los móviles que hemos usado para nuestras pruebas: iPhone 4S (izquierda) y Samsung Galaxy III mini (derecha). Crédito: dtail studio, editado por el autor.

3. **Preparación.** Antes de realizar mediciones, y habiendo realizado la calibración, necesitamos preparar los materiales.

- a) Abre la aplicación de brújula<sup>2</sup> en el móvil e introduce el dispositivo asegurándote de que la zona del sensor quede dentro de la bobina Helmholtz. Vamos a estar cierto tiempo mirando datos en la aplicación, por lo que es conveniente primero configurar el móvil para que la pantalla no se reduzca el brillo de la pantalla, o se apague automáticamente (esto se puede configurar fácilmente en Android<sup>3</sup> y en iOS<sup>4</sup>).
- b) Coloca el móvil dentro de la bobina, asegurándote de que la zona en la que se encuentra el sensor magnético, como viste en la calibración, se encuentra dentro de la misma.
- c) Gira la bobina hasta que la dirección del campo magnético que va a generar la bobina sea perpendicular a la dirección Norte-Sur indicada por la brújula. De esta manera, el campo magnético de la tierra y el de nuestra bobina son perpendiculares, como se muestra en la Figura 2.9. En este punto, donde no circula corriente por la bobina, el único campo magnético involucrado es el terrestre, como se muestra en la Figura 2.10.

---

<sup>2</sup>iOS dispone de una por defecto, y en Android te puedes descargar alguna aplicación gratuita buscando en la Play Store.

<sup>3</sup>Ajustes > Pantalla de bloqueo > Bloqueo de pantalla > Ninguno.

<sup>4</sup>Ajustes > General > Bloqueo automático > Nunca.

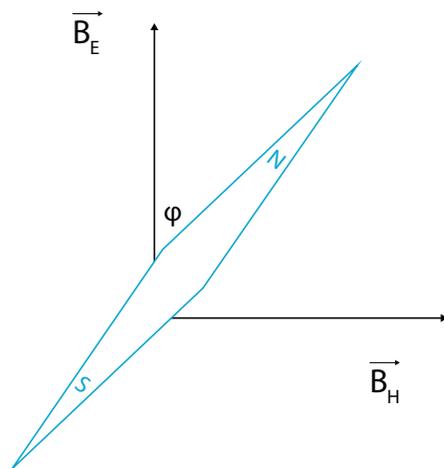


Figura 2.9: Esquema de los campos magnéticos que intervienen y la brújula formando un ángulo  $\varphi$  (Hänsler *et al.*, 2014, p. 65).

4. **Mediciones.** Una vez la brújula tiene orientación Norte-Sur perpendicular a la dirección del campo magnético que va a generar la bobina, cierra el circuito conectando la pila. Tras ello, regula el potenciómetro hasta dejarlo en la primera marca y anota los grados que marca la brújula. Ahora, la brújula debería estar afectada tanto por el campo magnético terrestre como por el de la bobina, y en consecuencia la bobina se debería desviar. En la Figura 2.11 se muestran los campos magnéticos involucrados y la desviación de la brújula.

Toma anotaciones de la desviación angular de la brújula regulando el potenciómetro hasta cada una de las marcas, y anótalo en la tabla que estás construyendo, en este caso añadiendo la columna  $\varphi$  como ves en la Tabla 2.4. Recuerda que partes de un ángulo de  $90^\circ$ , por lo que para ver la desviación angular deberás restar 90 de la medida que marque la brújula, y obtener el valor absoluto quitando el signo, lo cual se representa matemáticamente como  $\varphi = |90 - \text{ángulo}|$ . Cuando hayas acabado de medir, retira la pila para que no se agote la carga innecesariamente.

5. **Cálculos.** Vamos a realizar los cálculos pertinentes para obtener el valor el campo magnético terrestre a partir de las mediciones tomadas.
  - a) Necesitamos conocer la intensidad ( $I$ ) que circulaba en el momento de realizar cada medición, para lo que vamos a usar los valores de la resistencia ( $R$ ) en cada marca cuando circulaba el voltaje ( $V$ ) proporcionado por la pila. Estos tres valores están relacionados mediante la ecuación de la ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{R}. \quad (2.1)$$

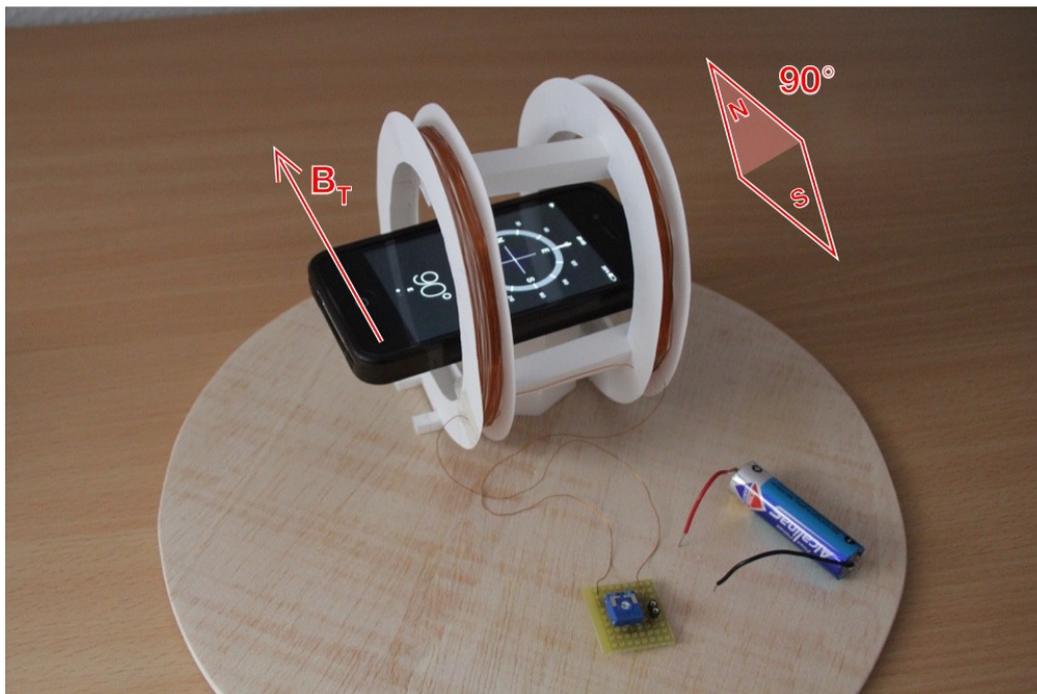


Figura 2.10: Campos magnéticos que intervienen cuando no circula corriente por la bobina. La brújula está situada a  $90^\circ$  manualmente.

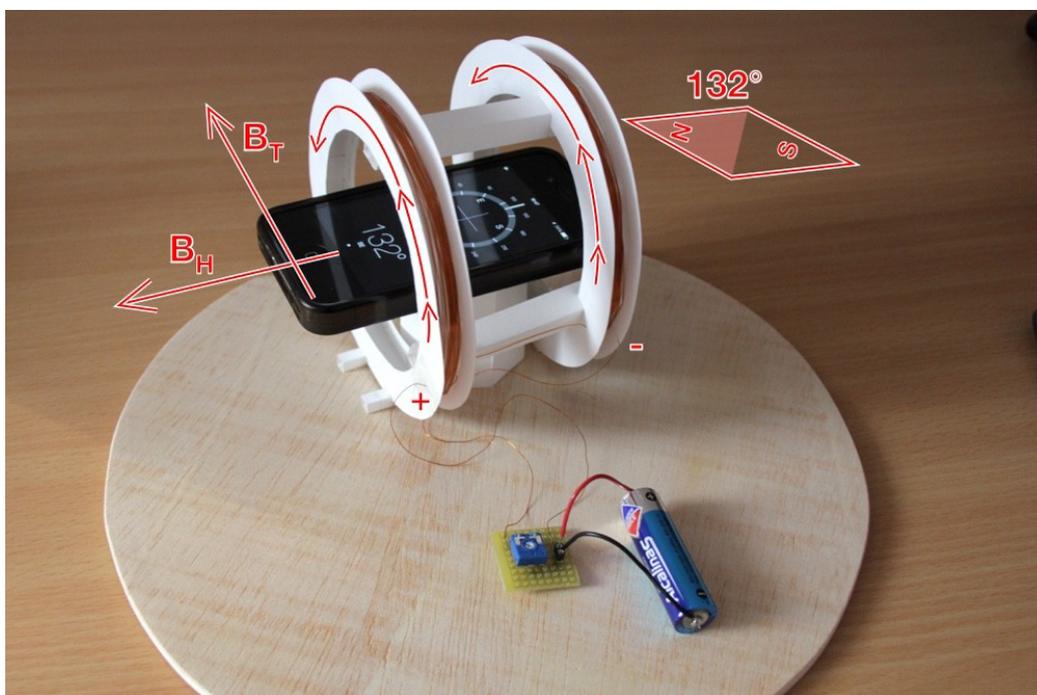


Figura 2.11: Campos magnéticos que intervienen cuando circula corriente por la bobina. La brújula se desvía de los  $90^\circ$  como consecuencia.

Marca	$R$ ( $\Omega$ )	$\varphi$ ( $^\circ$ )	$I$ (mA)	$\tan \varphi$
1	31.3	40	51.12	0.839
2	56.8	24	28.17	0.445
3	81.7	16	19.58	0.287
4	103.5	13	15.46	0.231
5	128.9	10	12.41	0.176
6	156.1	7	10.25	0.123
7	180.2	5	8.88	0.087
8	199.3	4	8.03	0.070

Tabla 2.4: Datos recogidos variando la intensidad de la bobina Helmholtz.

Usa el valor del voltaje de tu pila que mediste en el paso 2*b*, y calcula de esta manera la intensidad en cada medición añadiéndolo a tu tabla, como puedes ver que hemos hecho nosotros en la Tabla 2.4.

- b) El último valor que tenemos que añadir a la tabla es el cálculo de la tangente de la desviación angular,  $\tan \varphi$ . Realiza este cálculo y añádelo a la tabla para cada caso. Ahora ya deberías tener la tabla completa como la que ves en la Tabla 2.4.
- c) Ahora tienes que dibujar una gráfica que tenga en el eje de las abscisas la intensidad ( $I$ ) y en el de las ordenadas la tangente del ángulo ( $\tan \varphi$ ), con los valores de la tabla que acabas de realizar. Tras ello, tienes que dibujar la recta que mejor se ajuste a los puntos. Para ayudarte puedes utilizar una herramienta que realice los cálculos, como **Geogebra**<sup>5</sup>, que es multiplataforma y de código libre, y cuenta con una aplicación para ordenador de sobremesa, otra para tablet, una versión web, y además tienen planificada una versión para móvil, pero que aún se encuentra en desarrollo. Por el momento, la mejor opción es utilizar la versión web. Además, Geogebra dispone de una función que te permite calcular la recta de mejor ajuste después de haber introducido los puntos (lo puedes hacer con el botón de *Ajuste Lineal* y seleccionando todos los puntos introducidos), como se muestra en la Figura 2.12. Para esta actividad recuerda configurar el redondeo al número de decimales adecuado desde *Menú > Opciones > Redondeo*.
- d) Con la ecuación de la recta que mejor se ajusta a los puntos de nuestras mediciones, vamos a calcular finalmente el valor del campo magnético terrestre ( $B_T$ ).

<sup>5</sup><http://www.geogebra.org>

Ajuste puntos geomagnetismo

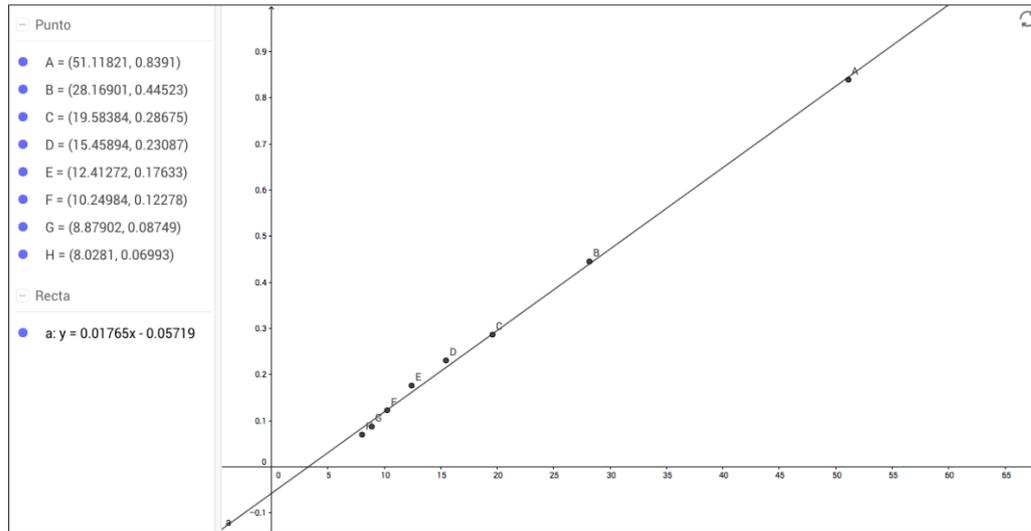


Figura 2.12: Gráfica con la tangente del ángulo de la brújula ( $\tan \varphi$ ) frente a la intensidad ( $I$ ), y la recta que mejor ajusta los puntos. Captura de pantalla desde la web de Geogebra.

Para ello vamos a usar la ecuación del campo magnético que genera una bobina Helmholtz:

$$B_H = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 n I}{R}, \quad (2.2)$$

donde  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{Tm/A}$  es la constante de permeabilidad en el vacío,  $n$  es el número de vueltas que tiene cada una de las dos bobinas que componen el conjunto Helmholtz (20 en nuestro caso),  $I$  es la intensidad de la corriente que circula por las bobinas, y  $R$  es el radio de las bobinas (5 cm en nuestro caso).

El campo magnético que ha afectado a la brújula durante nuestras mediciones es la combinación los generados por la Tierra ( $B_T$ ) y por la bobina Helmholtz ( $B_H$ ), como ves en la Figura 2.9. La relación entre ambos a través del ángulo de la brújula es:

$$\tan \varphi = \frac{B_H}{B_T}. \quad (2.3)$$

Si tomamos un ángulo de  $45^\circ$ , tenemos que el valor de los dos campos magnéticos es el mismo ( $B_H = B_T$ ). Por lo tanto, si sabemos la intensidad que pasa por la bobina para hacer que ésta sitúe a la brújula a  $45^\circ$ , podremos sustituir todos los valores en la Ecuación 2.9 y calcular el campo magnético terrestre.

Para esto, nos vamos a servir de la recta que calculamos en el paso previo. Toma la ecuación que has generado con Geogebra, de la forma  $y = ax + b$ ,

y sustituye  $y$  por la tangente de  $45^\circ$ , que vale 1, para calcular  $x$ . Por lo tanto, en nuestro caso, queda

$$1 = 0.018x - 0.057 \quad (2.4)$$

$$x = 58.72 \text{ mA} \quad (2.5)$$

De esta forma, hemos calculado el la intensidad que necesita circular por la bobina para poner la brújula a  $45^\circ$ , y lo hemos calculado con mucha más precisión y fiabilidad que si hubiésemos hecho una única medición, ya que hemos contrarrestado los errores de unas y otras medidas al haber tomado unas cuantas. Por lo tanto, si los campos magnéticos de la Tierra y de la bobina son iguales en este punto, significa que podemos calcular el campo magnético terrestre usando el valor de esta intensidad, que en nuestro caso, dejando los valores en el sistema internacional (esto es, en amperios en vez de miliamperios y metros en vez de centímetros), queda:

$$B_H = B_T = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 n I}{R} \quad (2.6)$$

$$B_T = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{4\pi 10^{-7} \cdot 20 \cdot 58.72 \cdot 10^{-3}}{0.05} \quad (2.7)$$

$$B_T = 2.154 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad (2.8)$$

$$B_T = 21.5 \mu\text{T} \quad (2.9)$$

De esta forma, hemos calculado el valor campo magnético de la Tierra en la componente horizontal, que es la que afecta al movimiento de la brújula.

6. **Experimentación.** Puedes probar a realizar el mismo cálculo con otro móvil, o con una brújula. También puedes probar a hacerlo en lugares diferentes, ya que la cercanía de los ruidos electromagnéticos en una ciudad puede influir, al igual que los materiales que compongan el sustrato de la tierra que se encuentre en la región. Nosotros hemos realizado otra medición con otro móvil de gama baja y hemos recogido los datos de la Tabla 2.5, y obtenemos un valor del campo magnético de  $26.25 \mu\text{T}$ . Podemos ver que hay cierta diferencia razonable respecto a las anteriores medidas, y hemos comprobado que el sensor de este móvil es algo menos estable que el anterior, pero los resultados siguen en todo momento dentro de los márgenes de ser datos correctos.
7. **Comprobación, análisis y reflexión.** En vez de tomar un único valor para la intensidad que hace que la brújula se mueva  $45^\circ$ , hemos tomado varios para reducir los errores de medición, y hemos realizado una gráfica. Observa y analiza la gráfica que has generado con tus datos. ¿Los valores que has obtenido se ajustan bien a la línea o se alejan mucho? Idealmente, los puntos recaen sobre la recta, pero siempre cometemos errores al medir y puede que se alejen en cierta medida. Puedes repetir la toma de valores asegurándote de que tanto la bobina

Marca	$R$ ( $\Omega$ )	$I$ (mA)	$\varphi$ ( $^\circ$ )	$\tan \varphi$
1	30.1	53.16	36	0.727
2	57.2	27.97	19	0.344
3	79.2	20.20	13	0.231
4	106.3	15.05	10	0.176
5	128.2	12.48	8	0.141
6	155.9	10.26	7	0.123
7	182.1	8.79	5	0.087
8	202.5	7.90	4	0.070

Tabla 2.5: Datos recogidos variando la intensidad de la bobina Helmholtz con un dispositivo diferente y en otro lugar.

como el móvil esté correctamente situados y no se mueven durante la toma de datos.

Si los puntos se ajustan más o menos bien a la línea, entonces significa que los datos que hemos tomado tienen cierta fiabilidad, y podemos comparar nuestro resultado del valor del campo magnético de la Tierra con otras medidas. Puedes mirar los valores en alguna web como la que comentamos en la sección 2.4 y viste en la Tabla 2.2 (con un valor de  $24.87 \mu\text{T}$ ). Hemos de tener en cuenta que este dato parte de un modelo matemático que no tiene en cuenta los ruidos magnéticos del lugar donde estemos realizando nosotros la actividad, pero tanto nuestro resultado sí que incluye esos ruidos, por lo que es normal que no coincida con mucha precisión.

También puedes comprobar el valor que has obtenido con tu propio móvil. Para ello necesitas una aplicación que muestre los valores de los tres ejes  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  del sensor magnético del móvil (por ejemplo *Metal Detector*<sup>6</sup> para iOS (Figura 2.13) y *Metal Detector*<sup>7</sup> para Android, ambas gratuitas.), colocar el móvil sobre una superficie horizontal, y rotarlo hasta que apunte al Norte de forma que la medición del eje  $Y$  sea muy próxima a cero, por lo que la medida de la componente horizontal del campo magnético terrestre nos la estaría dando la medición del eje  $X$ , como se puede ver en la Figura 2.13, donde hemos obtenido un valor de  $19.1 \mu\text{T}$ . En este punto asegúrate de que la pila no está conectada a la bobina Helmholtz para que no genere un campo magnético que pueda interferir con el móvil al realizar esta medición.

---

<sup>6</sup><https://itun.es/i6Lv6NW>

<sup>7</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.metaldetector.app>



Figura 2.13: Aplicación *MetalDetector* midiendo la componente horizontal del campo magnético terrestre en el eje  $X$ .

## 2.5. Conclusiones

Hemos propuesto una actividad enmarcada en BYOD que estudia el campo magnético de la Tierra. La actividad puede ser aplicada en diversas asignaturas de varios cursos. Nosotros hemos desarrollado un guión correspondiente a Tecnología de 3° de ESO, pero el concepto y la idea de la actividad puede ser adaptado a otras circunstancias cambiando las explicaciones de los alumnos para que estén al nivel adecuado. Esta actividad promueve un aprendizaje constructivista, donde se desarrolla una metodología de *aprender haciendo*. Además, permite realizar un aprendizaje colaborativo sin necesidad de cambios, según el profesor lo considere oportuno.

Aunque la actividad de construir una bobina Helmholtz como recurso educativo se puede encontrar en internet<sup>8</sup> y en la literatura (Hänsler *et al.*, 2014), este trabajo contiene una gran carga de trabajo original:

- Hemos adaptado la actividad al currículo español, y concretamente al de Castilla y León, identificando las asignaturas en las que podría tener cabida.
- Hemos desarrollado un guión para la actividad de forma autocontenida y pensado para entregar directamente al alumno.

<sup>8</sup><https://youtu.be/yjS77PMj1YA>

- Hemos adaptado los procedimientos para que puedan ser usados según el modelo BYOD, de forma que la actividad pueda beneficiarse de usar el móvil personal de los estudiantes. Así, la actividad completa consigue ser un buen ejemplo de recurso educativo que aprovecha todas las ventajas de BYOD.
- Hemos diseñado la actividad de forma que no haga falta otro recurso aparte del dispositivo móvil y la propia construcción de la bobina. Esto incluye todas las aplicaciones de móvil necesarias para realizar mediciones, cálculos y gráficas.
- Hemos solucionado un problema detectado en todas las propuestas vistas para medir el campo magnético terrestre, consistente en necesitar equipación cara y escasa, como es una fuente de alimentación regulable de laboratorio. Lo hemos sustituido por un circuito que los propios alumnos pueden montar, que incluye un potenciómetro y una pila. De esta forma la instrumentación necesaria es mucho más barata, y nos aseguramos también de que se pueda realizar individualmente si el profesor lo cree conveniente. En nuestro caso hemos realizado el circuito mediante soldadura, ya que el presupuesto para realizar este propio trabajo de master era inexistente y el autor ha utilizado material del que ya disponía a priori, pero se puede realizar el mismo montaje en una placa de prototipado que no requiere soldadura.
- También hemos conseguido diseñar la actividad de forma que cumpla con todas las ventajas que comentamos en la introducción de BYOD, haciendo que sea lo más portable posible gracias a la eliminación del polímetro a la hora de realizar medidas. Gracias al potenciómetro, el polímetro podría incluso llegar a no ser necesario, aunque creemos que es muy razonable utilizar el polímetro una única vez en la fase de calibración, y conseguir así unos resultados más precisos, ya que los talleres de tecnología suelen disponer de varios de ellos.

Como podemos ver, esta actividad cumple con los objetivos del trabajo, proponiendo una actividad que se puede aplicar en educación secundaria haciendo uso de las innovaciones didácticas en las que nos enmarcamos, como son el uso de los sensores del móvil y BYOD. Creemos que este trabajo pueda servir como un buen punto de partida para profesores de secundaria que se interesen por este tipo de propuestas, permitiendo una fácil adaptación a sus necesidades concretas.



# Capítulo 3

## Actividad II: Guitarra Eléctrica

En esta actividad vamos a construir una guitarra eléctrica sencilla de una sola cuerda para trabajar una serie de temas muy diversos, como con el funcionamiento a nivel electromagnético, las frecuencias del sonido generado, la interpretación musical, la edición de sonido y vídeo, y el uso de redes sociales. Como podemos ver, es una actividad altamente multidisciplinar. El esquema que seguiremos será muy similar al de la anterior actividad, discutiendo la motivación, la relación con el currículo, una descripción detallada de la construcción que proponemos para el instrumento, el guión del desarrollo de la actividad para los alumnos, y finalmente las conclusiones que obtenemos.

### 3.1. Motivación

Uno de los mayores retos a los que se enfrentan los profesores de secundaria es encaminar a los alumnos hacia una apreciación por la materia. Esto resulta muy beneficioso, porque el interés del estudiante por la asignatura y las actividades que realiza consigue un aprendizaje más significativo. La comprensión de la utilidad de las actividades que realizan de forma práctica en el mundo real resulta fundamental para lograr esta meta. Aquí proponemos una actividad que parte del estudio electromagnético y lo aplica a un objeto real, como es una guitarra eléctrica. Si bien, la construcción de una guitarra eléctrica profesional no resulta muy adecuado por su complejidad, tiempo y coste, hemos diseñado una actividad que simula una guitarra eléctrica profesional, adaptándola a las características de la enseñanza secundaria, cuyos componentes mecánicos han sido simplificados, constando de una sola cuerda, pero cuyo funcionamiento electromagnético replica con gran exactitud el de una guitarra profesional.

Además, esta actividad es altamente multidisciplinar, donde colabora la rama científica en la comprensión del funcionamiento electromagnético y la generación de sonido, la rama tecnológica en la construcción del instrumento, la rama musical en la

interpretación de melodías, y la rama informática en la componente de grabación y difusión de contenidos digitales. La tecnológica es imprescindible, dada la necesidad de construir físicamente el instrumento, pero las otras componentes de la actividad son más flexibles, pudiendo hacer hincapié en unos u otros aspectos, o en todos ellos según las posibilidades que existan a la hora de llevarla a cabo.

Una característica particular de esta actividad es la relación con la rama musical, lo cual es beneficioso porque permite poner en manifiesto tanto las aportaciones que la tecnología tiene en la música, como se pone en manifiesto por ejemplo en los estudios de arte del modelo educativo K-12 (Assey, 1999). Y también permite desarrollar la relación opuesta, donde creatividad inherente en el proceso musical puede beneficiar cualquier otra rama, incluyendo la científico-tecnológica. Ken Robinson, en un conocido discurso, argumenta la falta de creatividad en el sistema educativo y la necesidad de incorporarla en el mismo, por cuestiones fundamentales en la educación de un joven y que forman una parte fundamental de su desarrollo, como son evitar el miedo a la equivocación, y la promoción de ideas que tengan valor mediante la capacidad de interactuar entre diferentes disciplinas aportando nuevos puntos de vista (Robinson, 2006). También Russell argumenta la necesidad de permitir la creatividad, imaginación y capacidades artísticas durante la educación como mecanismo de desarrollar la individualidad de las personas, lo cual tiene no sólo beneficios para ellas mismas, sino para todo el sistema social (Russell, 1932, cap. 12, *Competition in Education*).

Como podemos ver, esta es una actividad particularmente que da pie a trabajar en el desarrollo de los jóvenes desde puntos de vista muy distintos, aportando un gran espectro de posibilidades. Además, nos hemos preocupado por dar cabida a los diferentes aspectos que se pueden trabajar dentro del currículo oficial, como vemos a continuación.

## 3.2. Currículo

Esta actividad está relacionada con un gran abanico de áreas diferentes, donde se pueden involucrar varias asignaturas. En la Tabla 3.1 se muestran las asignaturas de ESO y Bachillerato en las que se podría utilizar esta actividad. Del mismo modo que en la actividad previa, en la tabla se incluye la justificación de los currículos oficiales de Castilla y León encontrados en el Decreto 52/2007 (BOCyL, 2007) en el caso de ESO, y la ORDEN EDU/1061/2008 (BOCyL, 2008) en el caso de Bachillerato, así como el los respectivos del ministerio, que son el Real Decreto 1631/2006 (BOE, 2006) y la ORDEN ESD/1729/2008 (BOE, 2008).

Como nota a considerar, en Bachillerato también existe una rama artística que incluye asignaturas de música. Sin embargo hemos notado que estas asignaturas son de carácter muy teórico y no incluyen contenidos de interpretación, cosa que sí ocurre en las que hemos incluido de la ESO. El guión que vamos a desarrollar de nuevo está

preparado para Tecnología de 3° de ESO, ya que en este curso tenemos esta asignatura junto con la de música, y da pie a que los profesores de ambas asignaturas se coordinen para realizar una actividad conjunta, lo cual apoya una comprensión aplicada de la tecnología, al igual que los beneficios de la misma en la música. En otros cursos también se podría ver involucrada esta actividad, como en 2° de Bachillerato, pero no hemos elegido este curso porque la realidad es que debido al proceso de acceso a la universidad, los contenidos son muy teóricos y no se suelen realizar actividades de carácter práctico.

Tabla 3.1: Relación de la actividad con los contenidos de las asignaturas.

Etapa	Asignatura	Contenidos relevantes
2° ESO	Ciencias de la Naturaleza	<p><b>Bloque 3. Transferencia de energía.</b> Luz y sonido.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La luz y el sonido como modelos de ondas.</li> <li>• Luz y visión: los objetos como fuentes secundarias de luz.</li> <li>• Propagación rectilínea de la luz en todas direcciones. Reconocimiento de situaciones y realización de experiencias sencillas para ponerla de manifiesto. Sombras y eclipses.</li> <li>• Estudio cualitativo de la reflexión y la refracción. Utilización de espejos y lentes.</li> <li>• Descomposición de la luz: interpretación de los colores.</li> <li>• Sonido y audición. Propagación y reflexión del sonido.</li> <li>• Valoración del problema de la contaminación acústica y lumínica.</li> </ul>

<p>2° ESO</p>	<p>Música</p>	<p><b>Bloque 2. Interpretación.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expresión instrumental: los instrumentos como medio de expresiones musicales; características y habilidades técnicas e interpretativas. Práctica, memorización e interpretación de piezas instrumentales.</li> </ul> <p><b>Bloque 3. Creación.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La improvisación, la elaboración de arreglos y la composición como recursos para la creación musical.</li> <li>• Improvisación vocal e instrumental, individual y en grupo, en respuesta a distintos estímulos musicales y extramusicales, utilizando los elementos básicos del lenguaje musical.</li> <li>• Sonorización de representaciones dramáticas, actividades de expresión corporal y danza e imágenes fijas y en movimiento en la realización de producciones audiovisuales.</li> <li>• Sensibilidad estética frente a nuevas propuestas musicales, valorando sus elementos creativos e innovadores.</li> <li>• Valoración de la lectura y la escritura musical y de los distintos medios de grabación sonora como recursos para el registro y difusión de una obra musical.</li> </ul>
---------------	---------------	---

<p>3º ESO</p>	<p>Música</p>	<p><b>Bloque 3. Creación.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Composición individual o en grupo de canciones y piezas instrumentales para distintas agrupaciones a partir de la combinación de elementos y recursos presentados en el contexto de las diferentes actividades que se realizan en el aula.</li> <li>• Utilización de recursos informáticos y otros dispositivos electrónicos en los procesos de creación, grabación y difusión musicales.</li> <li>• Valoración de la lectura y la escritura musical y de los distintos medios de grabación sonora como recursos para el registro y difusión de una obra musical.</li> </ul> <p><b>Bloque 4. Contextos musicales.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento de las manifestaciones musicales más significativas del patrimonio musical occidental y de otras culturas. Evolución histórica de la música.</li> <li>• Utilización de diversas fuentes de información para indagar sobre instrumentos, compositores y compositoras, intérpretes, conciertos y producciones musicales en vivo o grabadas.</li> <li>• El sonido y la música en los medios audiovisuales y en las tecnologías de la información y la comunicación. Valoración de los recursos tecnológicos como instrumentos para el conocimiento y disfrute de la música.</li> </ul>
---------------	---------------	--

<p>3° ESO</p>	<p>Tecnología</p>	<p><b>Electricidad y electrónica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Circuito eléctrico de corriente continua: magnitudes eléctricas básicas. Simbología. Ley de Ohm. Circuito en serie, paralelo, mixto.</li> <li>● Corriente continua y corriente alterna.</li> <li>● Montajes eléctricos sencillos: circuitos mixtos.</li> <li>● Efectos de la corriente eléctrica: electromagnetismo. Aplicaciones.</li> <li>● Máquinas eléctricas básicas: dinamos, motores y alternadores. Generación y transformación de la corriente eléctrica.</li> <li>● Aparatos de medida básicos: voltímetro, amperímetro, polímetro. Realización de medidas sencillas. Potencia y energía eléctrica.</li> <li>● Introducción a la electrónica básica. Componentes pasivos: condensadores y resistencias. Componentes activos: diodos y transistores.</li> </ul> <p><b>Tecnologías de la comunicación. Internet.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Internet: conceptos, terminología, estructura y funcionamiento.</li> <li>● Herramientas y aplicaciones básicas para la búsqueda, descarga, intercambio y publicación de la información.</li> <li>● Actitud crítica y responsable hacia la propiedad y la distribución del «software» y de la información: tipos de licencias de uso y distribución.</li> </ul>
---------------	-------------------	---

<p>4° ESO</p>	<p>Informática</p>	<p><b>Bloque 2. Multimedia.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Captura de sonido y vídeo a partir de diferentes fuentes. Formatos básicos y compresión. Edición y montaje de audio y vídeo para la creación de contenidos multimedia.</li> <li>● Aplicaciones interactivas multimedia. Botones de acción y líneas temporales.</li> </ul> <p><b>Bloque 3. Publicación y difusión de contenidos.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Integración y organización de elementos textuales, numéricos, sonoros y gráficos.</li> <li>● Creación y publicación en la Web. Estándares de publicación.</li> <li>● Integración de elementos multimedia e interactivos. Streaming. – Accesibilidad de la información.</li> </ul> <p><b>Bloque 4. Internet y redes sociales virtuales.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Actitud positiva hacia las innovaciones en el ámbito de las tecnologías de la información y la comunicación y hacia su aplicación para satisfacer necesidades personales y grupales.</li> <li>● Las redes de intercambio como fuente de recursos multimedia. Derechos de autor, copyright y licencias libres.</li> <li>● Acceso a programas e información: descarga e intercambio, las redes P2P y otras alternativas para el intercambio de documentos.</li> <li>● Redes cooperativas de informática distribuida. Fundamentos técnicos. Ejemplos y aplicaciones.</li> </ul>
---------------	--------------------	--

4° ESO	Física y Química	<p><b>Bloque 3. Energía, trabajo y calor.</b> La energía de las ondas: luz y sonido.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concepto de onda. Tipos y características de las ondas.</li> <li>• Transferencia de energía sin transporte de materia.</li> <li>• La luz y el sonido. Propiedades de su propagación. Espectro lumínico y espectro acústico.</li> </ul>
2° Bachillerato	Electrotecnia	<p><b>Conceptos y fenómenos electromagnéticos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Imanes. Intensidad del campo magnético. Inducción y flujo magnético.</li> <li>• Campos y fuerzas magnéticas creados por corrientes eléctricas. Fuerzas electromagnética y electrodinámica. Fuerza sobre una corriente en un campo magnético. Par de fuerzas sobre una espira plana.</li> <li>• Propiedades magnéticas de los materiales. Permeabilidad. Circuito magnético. Fuerza magnetomotriz. Reluctancia. Ley de Ohm de los circuitos magnéticos.</li> <li>• Inducción electromagnética. Leyes de Faraday y de Lenz. Inducción mutua. Autoinducción.</li> <li>• Circuito RL. Carga y descarga de una autoinducción.</li> </ul>

<p>2° Bachillerato</p>	<p>Física</p>	<p><b>Interacción electromagnética:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Campo eléctrico. Magnitudes que lo caracterizan: intensidad de campo y potencial eléctrico. Relación entre fenómenos eléctricos y magnéticos. Campo creado por un elemento puntual. Principio de superposición. Campo creado por una corriente rectilínea. Estudio comparativo entre los campos gravitatorio y eléctrico.</li> <li>• Campo magnético creado por una carga móvil, por una corriente indefinida, por una espira circular y por un solenoide en su interior.</li> <li>• Acción de un campo magnético sobre una carga en movimiento. Fuerza de Lorentz. Acción de un campo magnético sobre una corriente rectilínea. Estudio cualitativo de la acción de un campo magnético sobre una espira. Mención a sus aplicaciones. Experiencias con bobinas, imanes y motores. Magnetismo natural. Analogías y diferencias entre campos gravitatorio, eléctrico y magnético.</li> <li>• Interacciones magnéticas entre corrientes paralelas. El amperio.</li> <li>• Inducción electromagnética. Experiencias de Faraday y Henry. Leyes de Faraday y de Lenz. Producción de corrientes alternas. Referencia al impacto medioambiental de la energía eléctrica y a las fuentes de energía renovables. Importancia de la síntesis electromagnética de Maxwell. Ondas electromagnéticas, aplicaciones y valoración de su papel en las tecnologías de la comunicación.</li> </ul>
------------------------	---------------	--

<p>1° Bachillerato</p>	<p>Tecnologías de la Información y la Comunicación</p>	<p><b>4. Multimedia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Edición de imágenes digitales. Dibujos vectoriales. Dibujos de mapas de bits. Herramientas. Compresión de dibujos. Formatos. Profundidad de bits. Paso de unos formatos a otros. Animaciones.</li> <li>• Dispositivos de captura y reproducción de imágenes, sonido y vídeo.</li> <li>• Edición de sonido y vídeo digitales. Compresión de los archivos de audio y vídeo. Formatos más utilizados.</li> </ul> <p><b>7. Internet. Las redes sociales y el trabajo colaborativo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios de Internet. La web. Los navegadores. Buscadores y metabuscadores. Búsqueda avanzada. Buscadores especializados. Portales. Comunicación a través de Internet. Los foros. Mensajería instantánea.</li> <li>• Herramientas de trabajo en grupo. Trabajo síncrono y asíncrono. El espacio colaborativo BSCW. Los weblogs. Las wikis. Normas éticas de participación. Informática distribuida.</li> </ul>
------------------------	--	--

### 3.3. Fundamento de una guitarra eléctrica

Existe una gran variedad de guitarras eléctricas disponibles en la actualidad, pero sin embargo nada ha cambiado desde los primeros prototipos en los años 30 y 40 del siglo XX. Parte de la intención de amplificar la vibración producida por la cuerda para que se pueda escuchar más alto, para lo cual hay que capturarla primero. El fenómeno explotado por los fabricantes de guitarras eléctricas es el electromagnetismo, para lo cual se necesita que la cuerda sea metálica.

El dispositivo que capta la vibración de una guitarra se denomina *pastilla* (*pickup* en inglés), y hace uso del efecto de polarización magnética. Se basa en el fenómeno de que algunos materiales como el hierro, el acero o el nickel pueden ser magnetizados de forma permanente, por lo que reciben el nombre de materiales magnéticos (mientras que otros materiales como el aluminio o el cobre no se pueden magnetizar). Sin embargo, los materiales magnéticos también existen en estados no magnéticos, pero susceptibles de convertirse en magnéticos de forma temporal mientras un imán esté cerca, lo cual se conoce como **polarización magnética**. A menudo, cuando el imán se retira lo suficientemente lejos, el material vuelve a su estado no magnético. El funcionamiento de una pastilla depende de este efecto de vuelta al estado no magnético (Gunther, 2012).

La Figura 3.2 muestra un esquema de este efecto electromagnético con el que trabaja una pastilla. El imán permanente magnetiza de forma polar la cuerda, que al vibrar genera variaciones del campo magnético respecto a un punto fijo. Si somos capaces de recoger estas variaciones, podremos captar la vibración de la cuerda y reproducirla posteriormente.

Al trabajar con dispositivos móviles, podemos intentar recoger estas variaciones del campo magnético situando un imán cerca de la cuerda y el móvil en otro punto para que el sensor de campo magnético recoja las vibraciones magnéticas, sin necesidad de un solenoide como tienen las pastillas comunes. Hicimos experimentos en esta línea,



Figura 3.1: Guitarra Gibson SG, modelo que usa Angus Young en **AC/DC**.

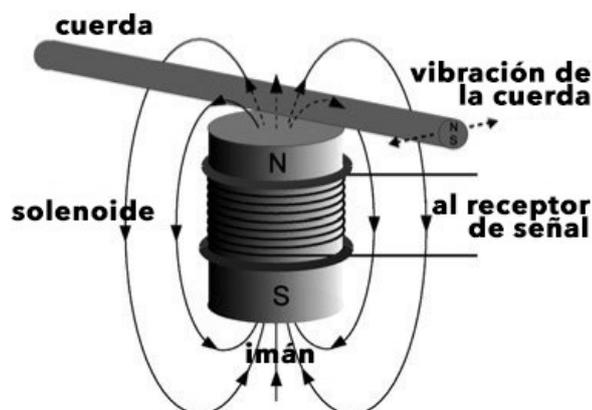


Figura 3.2: Funcionamiento electromagnético de una pastilla de guitarra.

pero como explicamos en la Sección 3.4, no se puede llevar a cabo por limitaciones técnicas del sensor, por lo que recurrimos a la forma tradicional, reproduciendo más fielmente el funcionamiento de una guitarra eléctrica.

La forma en la que sí hemos logrado captar las vibraciones magnéticas de la cuerda es reproduciendo más fielmente una pastilla, con el diagrama exacto de la Figura 3.2. Tenemos un solenoide alrededor del imán permanente, que se ve influenciado tanto por el campo magnético del imán como el del generado por la cuerda. En estado de reposo, un campo magnético no causa variaciones a lo largo del tiempo sobre la corriente que pasa por el solenoide. Pero cuando la cuerda vibra, el campo magnético percibido por el solenoide sí que cambia en el tiempo, lo cual causa un cambio en la corriente que circula por el solenoide que podemos captar con un móvil.

### 3.4. Dificultades técnicas

La idea inicial era utilizar el magnetómetro del móvil, situándolo cerca de la cuerda, y necesitando únicamente un imán, de forma que las vibraciones de la cuerda serían recogidas por el magnetómetro del móvil. Así estaríamos capturando la señal magnética que ha sido generada por la cuerda en vez del sonido producido. La ventaja de recoger la señal magnética es que está libre de todo el resto de sonidos y ruidos que pueda haber alrededor y sólo se ve influida por la vibración de la cuerda.

Tuvimos que descartar esta posibilidad por problemas técnicos con el sensor, ya que no es capaz de tomar datos lo suficientemente rápido como para captar la vibración de la cuerda. Sin embargo, ante las posibilidades educativas de la actividad, decidimos que merecía la pena buscar una alternativa para llevarla a cabo, y vimos que se podía realizar con la fabricación de una pastilla y usando el sensor de audio. De esta forma, tuvimos que reorientar este trabajo, que estaba centrado en el sensor magnético, dándole un carácter más amplio y poder aprovechar las grandes posibilidades que ofrece la actividad.

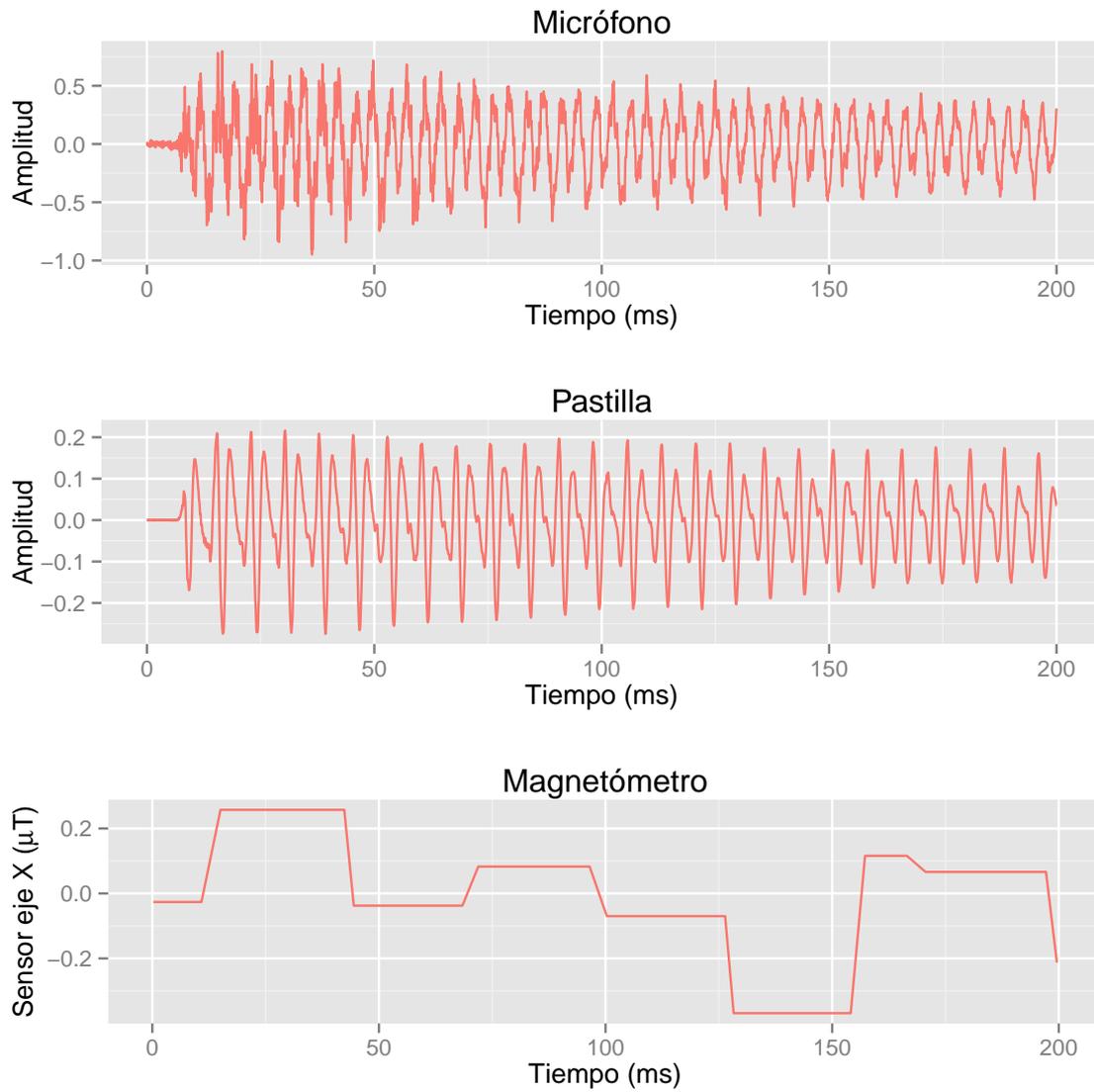


Figura 3.3: Comparación entre las señales recogidas por tres sensores diferentes: un micrófono, la pastilla que hemos construido y el magnetómetro del móvil, para la misma pulsación de cuerda.

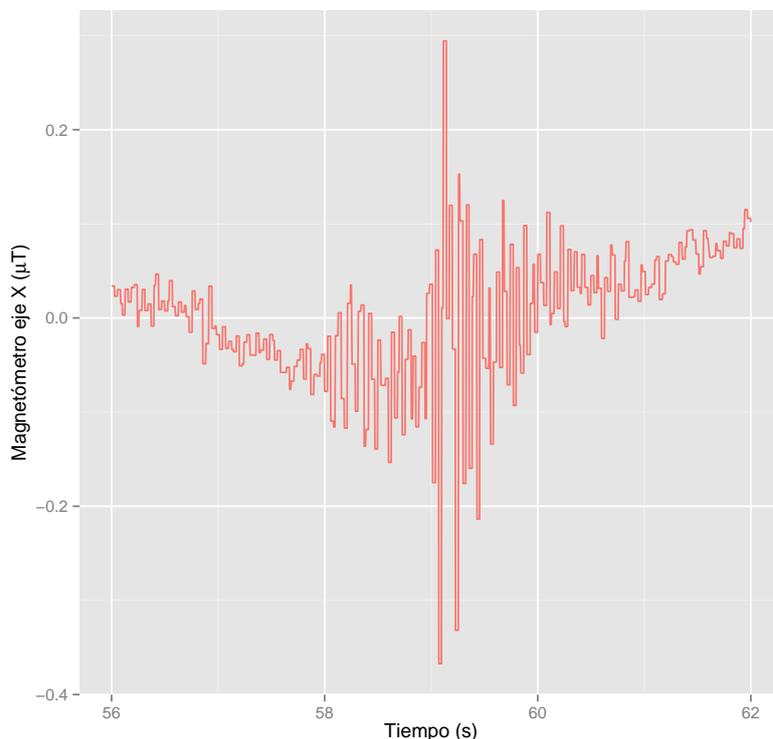


Figura 3.4: Primera recogida de datos con la pulsación de la cuerda, habiendo detectado un aparente señal con una frecuencia de 27 Hz.

Podemos ver de forma muy intuitiva el problema y la solución en la Figura 3.3, que muestra la comparación de la misma pulsación de cuerda para tres sensores diferentes: el micrófono, la pastilla que acabamos construyendo y el magnetómetro del móvil. Se ve cómo el magnetómetro tiene una lectura muy lenta y no consigue captar la señal que deseamos. Sin embargo, la pastilla lo consigue incluso con notablemente menos ruido que el micrófono. A continuación explicamos en detalle este problema con la frecuencia de muestreo, y seguidamente un pequeño apunte sobre el tiempo de asentamiento del sensor, que hay que tener en cuenta cuando se trabaja con el magnetómetro como planeábamos hacer inicialmente.

### 3.4.1. Frecuencia de muestreo

El sensor del móvil con el que realizamos las pruebas (iPhone 4S) era suficientemente sensible como para medir las variaciones del campo magnético, y con otros móviles (Samsung Galaxy III mini) también lo pudimos comprobar sin necesidad de recoger datos. Como se puede ver en la Figura 3.4, la señal captada por el sensor no es muy grande en relación con el sonido, por lo que se percibiría bastante de ruido, pero no obstante debería ser suficiente para distinguir con claridad los sonidos reales que queremos medir, y este motivo en principio no debería impedir la actividad.

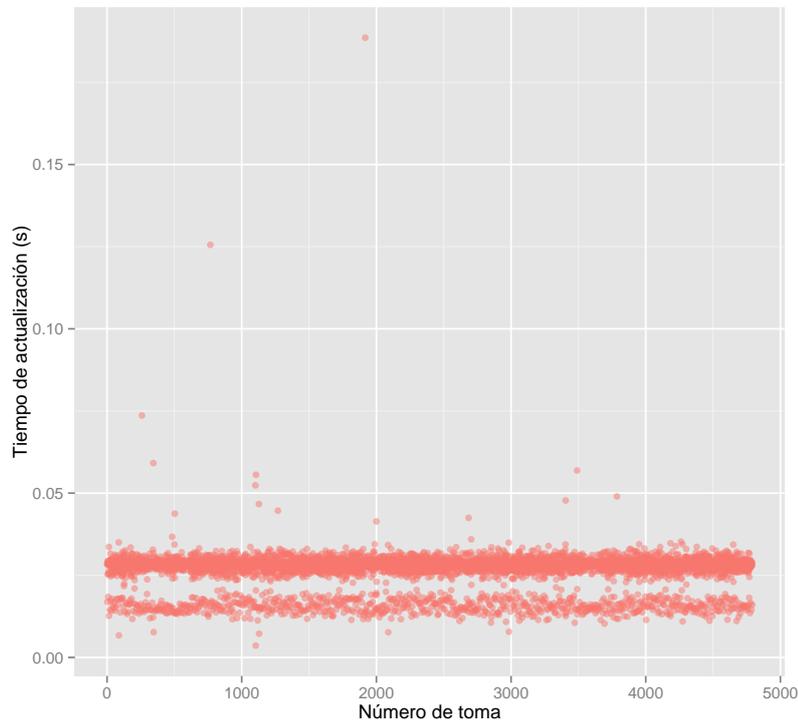


Figura 3.5: Gráfica con los tiempos de actualización de las medidas del magnetómetro.

Sin embargo, hay otro motivo que hace imposible utilizar con éxito ésta aproximación para llevar a cabo la actividad, y es la frecuencia de actualización de medidas del sensor magnético. Para comprender esto, primero hemos de explicar cómo realizamos la experimentación.

Los datos mostrados en esta sección los tomamos adaptando el código fuente de la aplicación de código abierto *MagnetoMeter*<sup>1</sup>, cuyo propósito es estudiar por parte de los desarrolladores de aplicaciones las diversas formas de captar datos del sensor magnético. Lo primero que vimos, y que comentamos como posible ayuda a futuros trabajos en esta línea, es que en iOS hay dos formas posibles de recoger datos del sensor (en el fichero `README.md`<sup>2</sup> del proyecto se puede ver la explicación completa para desarrolladores):

- Tomar los datos sin procesar directamente del sensor, que se pueden leer en cualquier momento.
- Tomar los datos procesados por los frameworks estándar de Apple, que incluyen correcciones de temperatura y cierto filtrado para ajustar las características del sensor concreto, y fuerza el tiempo de actualización al que se pueden tomar datos, aunque es ajustable dentro de ciertos parámetros.

<sup>1</sup><https://github.com/foundry/MagnetoMeter>

<sup>2</sup><https://github.com/foundry/MagnetoMeter/blob/master/README.md>

Listing 3.1: Código básico para captar datos del magnetómetro con alta frecuencia en lenguaje Objective-C.

---

```

1  // Bibliotecas necesarias
2  #import <CoreMotion/CoreMotion.h>
3  #import <CoreLocation/CoreLocation.h>
4
5  // Definir lo siguiente en el inicio de la clase
6  - (void) init
7  {
8      // (...) inicialización previa
9
10     self.motionManager = [[CLMManager sharedManager] ←
        motionManager];
11
12     // Obtener datos con una frecuencia de 1/300 segundos
13     self.updateViewsTimer = [NSTimer
14         scheduledTimerWithTimeInterval:1/300.0
15             target:self
16             selector:@selector(timerMotion:)
17             userInfo:nil
18             repeats:YES];
19 }
20
21 - (void) timerMotion:(NSTimer*) timer
22 {
23     // Inicializar el tiempo de origen
24     static NSDate *startDate = nil;
25     if (!startDate) {
26         startDate = [NSDate date];
27     }
28
29     // Obtener las cabeceras de los datos
30     CMDeviceMotion* motion = self.motionManager.deviceMotion;
31     double timestamp =
32         [heading.timestamp timeIntervalSinceDate:startDate];
33     if (!heading) {
34         timestamp =
35             [[NSDate date] timeIntervalSinceDate:startDate];
36     }
37
38     // Imprimir los datos o guardarlos en un fichero
39     NSLog(@"%.5f %.10f %.10f %.10f", timestamp, motion.←
        magneticField.field.x, motion.magneticField.field.y, ←
        motion.magneticField.field.z);
40 }

```

---

Cuerda	Nota	Frecuencia (Hz)	Español	Anglosajón
1	Mi	329.63	Do	C
2	Si	246.94	Re	D
3	Sol	196.00	Mi	E
4	Re	146.83	Fa	F
5	La	110.00	Sol	G
6	Mi	82.41	La	A
			Si	B

Tabla 3.2: Frecuencias de la afinación estándar de guitarra.

Tabla 3.3: Equivalencia entre el sistema de notación musical español y anglosajón.

En nuestro caso, adaptamos el código fuente de *MagnetoMeter* para tomar datos con una alta frecuencia de 300 Hz, cuyo esquema básico de programación se puede ver en el Listado 3.1. Descubrimos, que a pesar de poderse tomar lecturas en cualquier momento, el sensor tiene una frecuencia mínima de actualización, por lo que la medida se repite de forma constante hasta que se consigue una nueva. Por lo tanto, comprobamos que cada sensor tiene una frecuencia máxima de actualización intrínseca que depende del modelo, y que no es siempre constante. En nuestro caso, con un iPhone 4S obtuvimos los datos que se pueden ver en la Figura 3.5, donde podemos observar que los tiempos de actualización se distribuyen en dos tiempos, donde el más frecuente es de 0.0286 s (que corresponde a una frecuencia de 40 Hz), y otra mucho menos frecuente de 0.0164 s (correspondiente a una frecuencia de 61 Hz), siendo la media de 0.0261 s (38 Hz).

En nuestro caso, necesitamos medir una cuerda de guitarra, cuya frecuencia en principio la podemos coger de la afinación estándar que se muestra en la Tabla 3.2, viendo que el mínimo está en torno a los 80 Hz (como referencia, los límites humanos se suelen situar entre 20 y 20.000 Hz). Como nota, en la Tabla 3.3 tienes la equivalencia entre la notación musical española y la anglosajona, en caso de que encuentres información en inglés o aplicaciones de móvil que usen esta notación, como suele ser frecuente.

El **teorema de muestreo de Nyquist-Shannon**, según se estudia de teoría de señal, establece que para una señal periódica y continua, la frecuencia de muestreo debe ser como mínimo el doble de la componente predominante en la señal medida. Si no alcanzamos esta medida, la señal que reconstruimos puede tener notables artefactos y modificar altamente la señal real, como vemos en la Figura 3.6. En nuestro caso, significa que en el mejor de los casos, para la sexta cuerda de la guitarra, deberíamos tomar datos al menos a 160 Hz, lo cual queda muy lejos de los aproximadamente 38 Hz que nos proporciona típicamente el magnetómetro de un móvil.

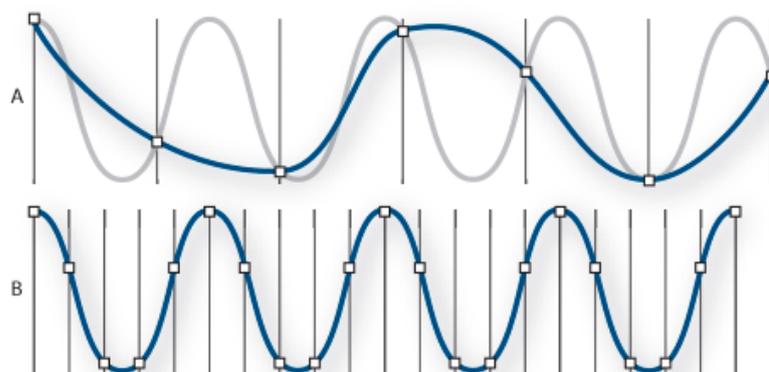


Figura 3.6: La frecuencia de medición puede cambiar considerablemente la forma detectada de la señal que queremos medir, como vemos en los casos A y B. Crédito: Adobe Soundbooth.

Por este motivo, podemos obtener medidas extrañas, como la que se puede observar en la Figura 3.7. Esta prueba que pretende medir exactamente el mismo caso que la Figura 3.4, y se realizó justo a continuación. Sin embargo, en este caso la baja tasa de muestreo ha hecho que lo que el sensor ha percibido tenga una forma muy distinta a la anterior hasta el punto de que en este nuevo caso ni siquiera podríamos distinguir una onda de sonido. Del mismo modo, podemos ver en la Figura 3.3 la incapacidad del magnetómetro de captar la velocidad a la que la señal cambia realmente al medir a una media de 38 Hz.

Por lo tanto, no es posible utilizar el magnetómetro para medir la señal que queremos. La solución que hemos encontrado es construir la pastilla añadiendo una bobina al imán como explicamos en la Sección 3.5.2, y medir la señal con el ADC. Este sensor nos proporciona las medidas que podemos ver en la Figura 3.3 con una frecuencia muy alta, típicamente de hasta 44 kHz, muy superior a cualquier frecuencia de la afinación estándar (Tabla 3.2), y por lo tanto cumpliendo sobradamente los requisitos del teorema de muestreo de Nyquist-Shannon. De esta forma, con la pastilla y el ADC conseguimos medir las variaciones del campo magnético sin las limitaciones de frecuencia del magnetómetro del móvil.

### 3.4.2. Tiempo de asentamiento

Esta segunda consideración no es realmente un problema que nos impida llevar a cabo la actividad, sino simplemente una consideración a tener en cuenta y que dejamos aquí registrada para futuras continuaciones de esta línea de trabajo.

En nuestros experimentos pudimos ver cómo el sensor tarda cierto tiempo hasta que se estabiliza, como se puede ver en la Figura 3.8, pero una vez que ha pasado este tiempo ya se pueden tomar datos sin que afecte. La cantidad de tiempo varía considerablemente según el dispositivo móvil que estemos usando, y hemos comprobado

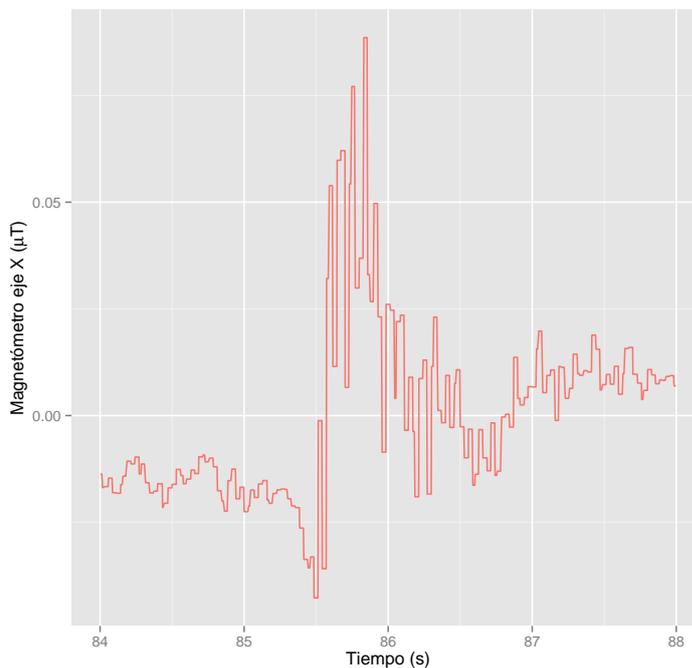


Figura 3.7: Segunda recogida de datos con la pulsación de la cuerda, habiendo detectado una señal que no se asemeja a la de ningún sonido reconocible.

diferencias de entre 10 y 20 segundos. No obstante, hemos de tener en cuenta que estamos trabajando con los datos de los sensores sin procesar, y hemos comprobado que tomando datos con el procesado interno del sistema operativo del móvil, este tiempo se reduce a pocos segundos, aunque seguramente los datos sean mucho más fiables una vez haya pasado este tiempo. Este es un efecto conocido y muy común, conocido como *tiempo de asentamiento* de un sensor, y es debido al mecanismo mediante el cual funciona, donde efectos como la temperatura son los causantes de ello. Este efecto ocurre cada vez que se comienza a medir, generalmente al iniciar la aplicación.

## 3.5. Descripción

Vamos a construir una réplica de guitarra eléctrica con el mismo principio electromagnético que una profesional, sólo que con un proceso de fabricación adaptado a educación secundaria.

### 3.5.1. Sensor de entrada de audio

En esta actividad vamos a trabajar con el sensor de entrada de audio existente en los dispositivos móviles. Esta entrada está pensada para conectar micrófonos externos, que emiten una señal mediante un voltaje. Por lo tanto, la entrada de audio lo que

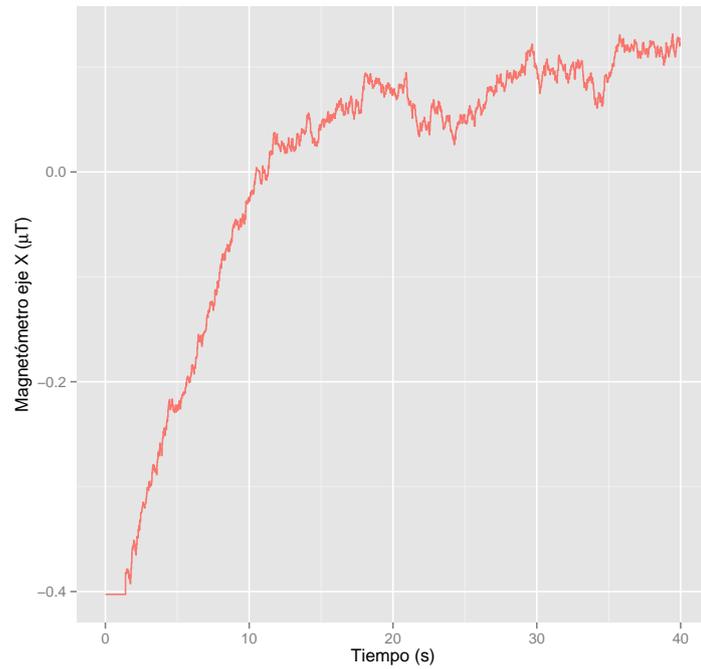


Figura 3.8: Las medidas del magnetómetro tardan un tiempo en estabilizarse desde que se activa el sensor, aunque el campo magnético a medir sea estable.

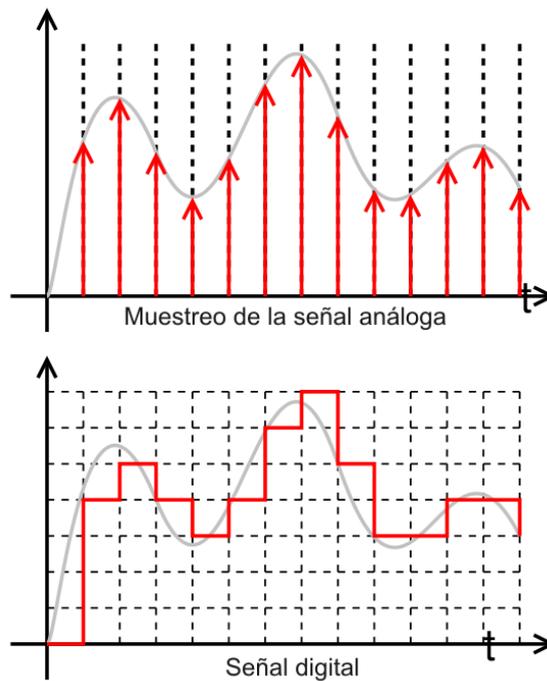


Figura 3.9: Conversión de una señal analógica en una digital. Crédito: *Streaming Raddios*.

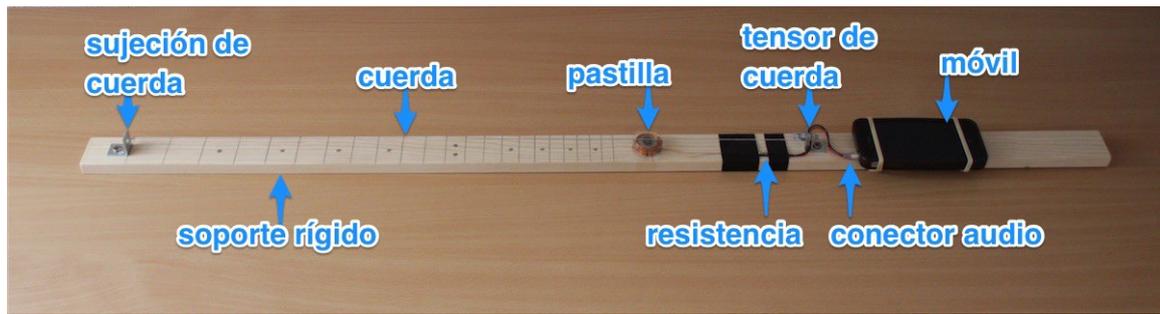


Figura 3.10: Construcción de nuestra guitarra con las partes indicadas.

tiene internamente es un sensor de voltaje, que transforma esta señal analógica en una señal digital, lo que se conoce como Conversor Analógico-Digital (ADC, *Analogue-Digital Converter*). Este ADC es uno de los componentes más fundamentales de todos los sensores, ya que otros sensores, como por ejemplo el magnetómetro que comentamos en la Sección 2.4.1, acelerómetros o giróscopos entre otros, convierten una magnitud física (campo magnético, aceleración, rotación) en una señal analógica que se transforma a digital con un ADC.

El funcionamiento de un ADC es muy sencillo. Tiene un circuito capaz de leer el nivel de voltaje que se recibe por la entrada y transformarlo en un número entero. Lo que hace un ADC es tomar una lectura cada cierto tiempo como se muestra en la Figura 3.9, de forma que la señal digital es una secuencia de números que representan el nivel de voltaje en cierto instante de tiempo. Como podemos ver, entre una lectura y otra la señal analógica no es constante y puede cambiar, lo cual significa que por muy poco tiempo que pase entre una medida y otra, siempre se va a perder algo de información, pero lógicamente cuanto más cercanas estén en el tiempo, menos información se perderá. Una vez que tenemos estos números, ya los podemos almacenar de forma digital, almacenarlos o procesarlos.

### 3.5.2. Materiales y construcción

Podemos distinguir dos partes en la construcción del instrumento. Por un lado están los componentes mecánicos para hacer vibrar la cuerda, y por otro lado están los componentes eléctricos que recogen las vibraciones de la cuerda en forma de señal. Tras la lista de los materiales que sigue (todas las dimensiones son aproximadas y no influyen mucho en el resultado final), vamos a comentar la construcción del instrumento como vemos en la Figura 3.10.

- Listón de madera de dimensiones  $100\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 1.2\text{ cm}$  para el mástil.
- Dos escuadras pequeñas para sujetar la cuerda.
- Un tornillo con tuercas como sistema simple de afinación.

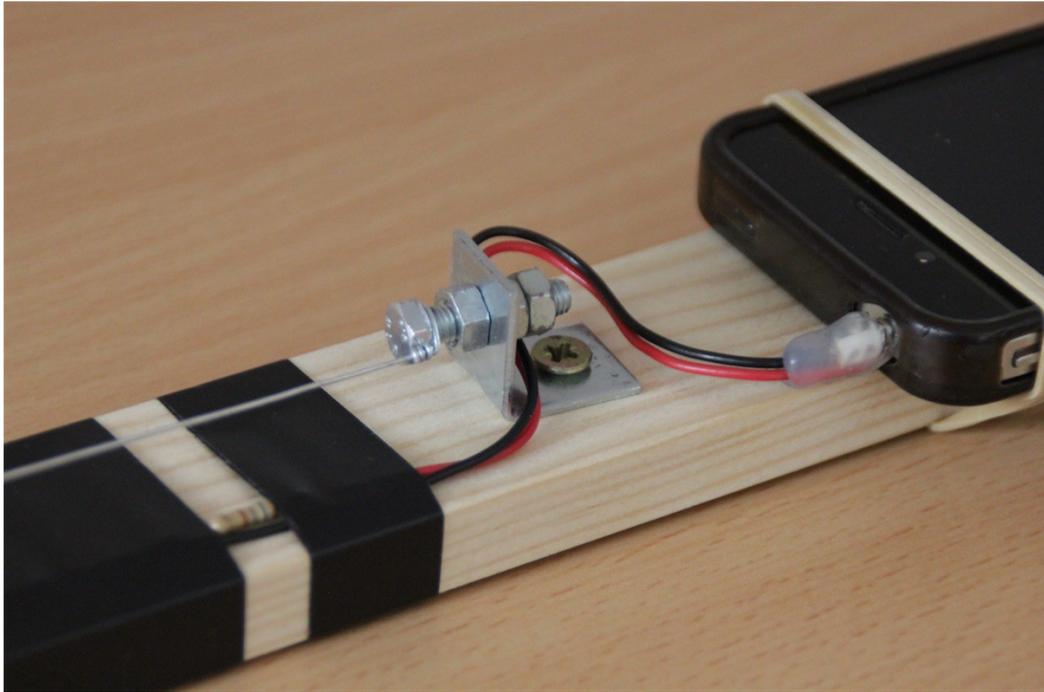


Figura 3.11: Detalle del mecanismo de afinación de la cuerda.

- Imán común de ferrita de 1.5 cm de diámetro.
- Hilo de cobre barnizado de 0.25 cm de diámetro y 10 m de longitud.
- Una resistencia de aproximadamente  $1\text{ k}\Omega$ .
- Conector de audio con entrada de micrófono.
- Alambre para usar como cuerda, de 70 cm.
- Un dispositivo móvil con entrada de micrófono, cámara y acceso a internet (sólo para descargar aplicaciones).

Para la primera parte, tenemos que tener en cuenta que el objetivo es conseguir que una cuerda vibre, para lo cual no hay una forma única de conseguirlo, dando pie a cierta creatividad. Lo más recomendable es dejar que los alumnos diseñen y construyan su propio mecanismo en función de los materiales de los que puedan disponer, igual que hemos hecho nosotros. El elemento al que posiblemente haya que prestar más atención es al mecanismo para el ajuste de la tensión de la cuerda, que es crucial para la afinación del instrumento. Debería ser fácil de ajustar, a la vez que sólido. En nuestro caso, hemos cogido un listón de madera como base que funciona correctamente (hay que tener en cuenta que va a soportar cierta tensión de la cuerda). Para sujetar la cuerda hemos usado dos escuadras pequeñas que elevan la cuerda 1.3 cm, dejando espacio suficiente para la pastilla. Hemos encontrado muy útil el sencillo sistema de

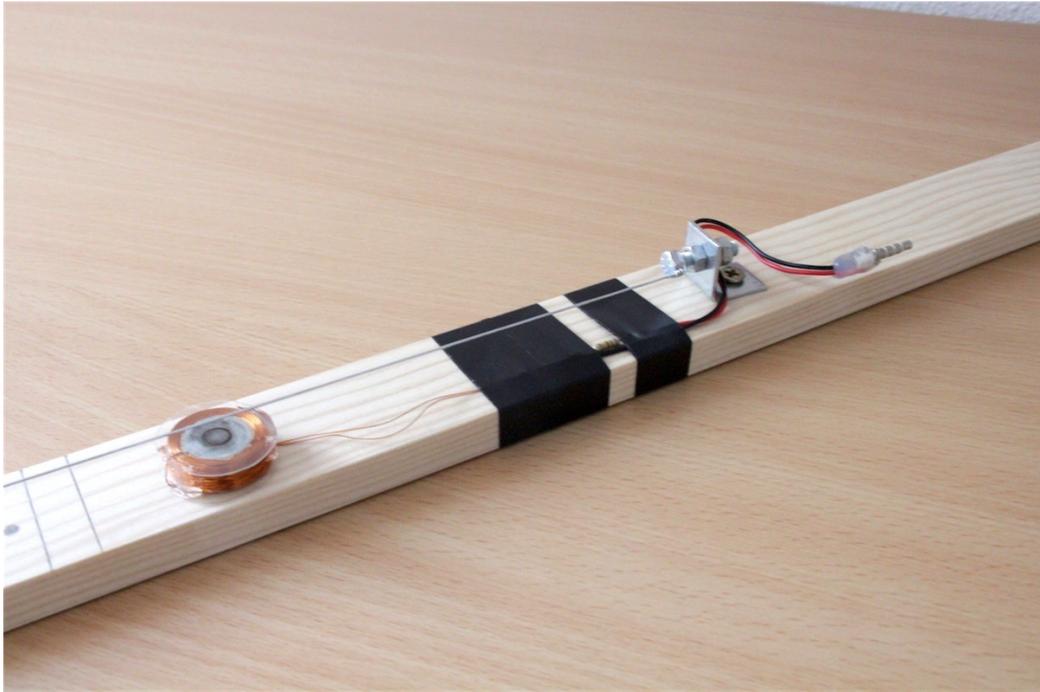


Figura 3.12: Detalle de los componentes eléctricos de la guitarra.

un tornillo y tuercas para afinar la guitarra, que se muestra en la Figura 3.11. En una guitarra profesional, la longitud de la cuerda varía según el modelo, y afecta al tono de los sonidos que produce, de forma que longitudes largas favorecen sonidos brillantes (como es el caso de los modelos Fender Telecaster con 648 mm) mientras que longitudes cortas favorecen sonidos cálidos (por ejemplo, Gibson Les Paul tiene 629 mm). En nuestro caso hemos dejado una longitud de unos 64 cm para la cuerda por semejanza con una real, pero se puede reducir o ampliar, e incluso realizar pruebas con la longitud.

Para finalizar con la parte mecánica, se pueden hacer pruebas con diferentes materiales como cuerdas, funcionando bien con materiales baratos siempre que se polaricen magnéticamente ante la presencia de un imán, como es el caso del alambre común que hemos usado nosotros (por supuesto, se puede usar una cuerda de guitarra eléctrica si se desea). El móvil se puede sujetar con dos gomas elásticas, como hemos hecho nosotros.

La construcción electrónica sigue el esquema de la Figura 3.14, cuyo montaje final resulta como puedes ver en la Figura 3.12. Hemos pegado dos bases de plástico transparente en el imán para entollar el hilo de cobre con mayor facilidad. Tras enrollar el hilo de cobre, lo hemos asegurado con pegamento termofusible. La resistencia tiene el propósito de ajustar la impedancia a la entrada de micrófono para que el móvil detecte que hay una señal de sonido y la pueda recibir. No existe un estándar fijo sobre la impedancia a la que trabajan los móviles, por lo que es posible que algunos valores de resistencias funcionen con unos dispositivos y no con otros. Sin embargo,

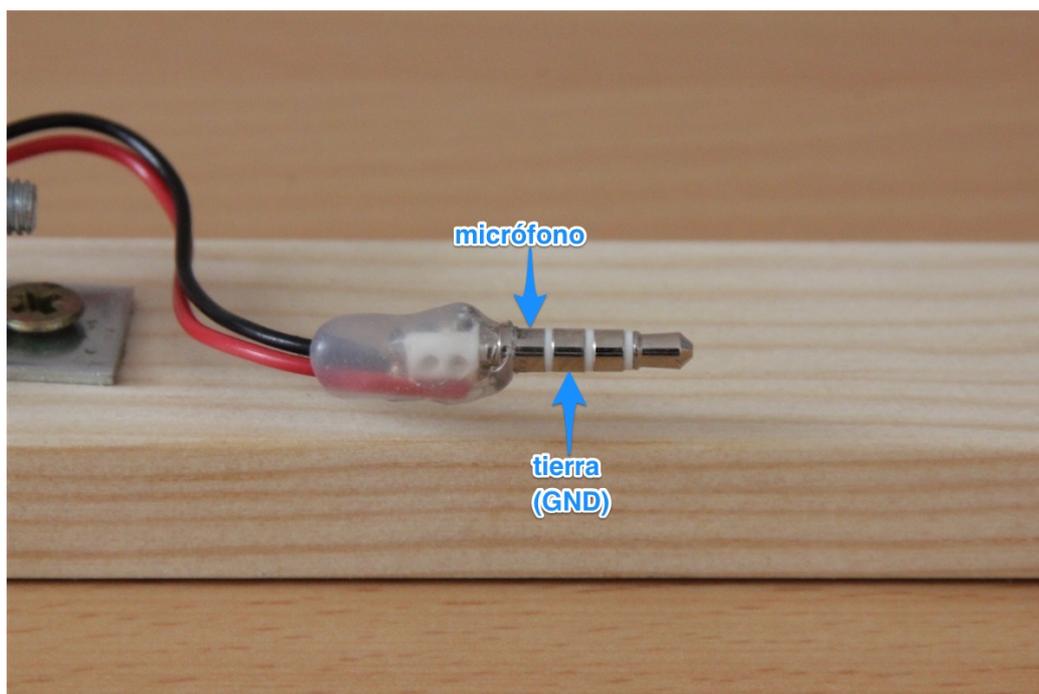


Figura 3.13: La bobina hay que conectarla a los dos extremos señalados, sin importar la posición.

hemos encontrado que una resistencia cercana a  $1\text{ k}\Omega$  funciona bien con cierta variedad de dispositivos. Dado que esta resistencia un componente barato y de fácil acceso, se recomienda probarlo con el móvil que se va a usar para asegurarse del funcionamiento. Esta resistencia se puede colocar en cualquier extremo de la pastilla, siempre en serie con la misma. Hay que conectar los extremos de la bobina y la resistencia con los elementos de tierra y de entrada de micrófono del conector de audio como vemos en la Figura 3.13 (en algunos dispositivos, la tierra y el micrófono están invertidos en el conector de audio, pero dado que la polaridad no afecta al resultado no es necesaria ninguna modificación). La posición del imán (Norte-Sur), del extremo en el que se sitúa la resistencia y de la polarización en el conector de audio es irrelevante para el resultado final, y se puede colocar en cualquier posición sin afectar al resultado, únicamente teniendo en cuenta que la resistencia ha de ir en serie dentro del circuito.

Como hemos visto, los materiales son muy comunes y fáciles de encontrar, y posiblemente algunos de ellos se encuentren fácilmente en los talleres de tecnología de los institutos. Como vimos en la Sección 2.4.2, de los materiales para la actividad del campo magnético terrestre, el hilo de cobre barnizado se puede encontrar muy barato si se compra en grandes cantidades (para toda la clase e incluso para varios cursos). El imán de ferrita es muy común en altavoces baratos, pero lo hemos encontrado en internet vendido en paquetes de 100 unidades, con un coste de 10 céntimos la unidad. El conector de audio se puede encontrar fácilmente en tiendas de componentes electró-

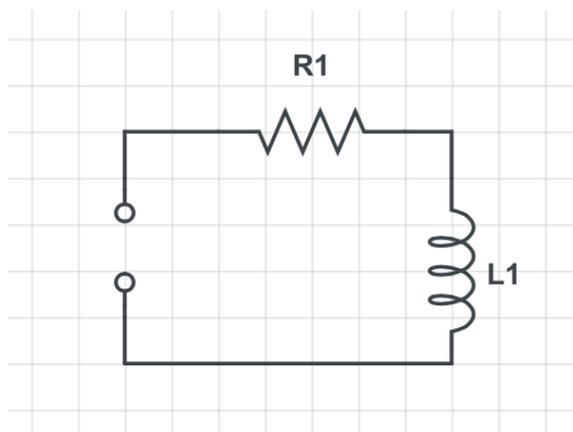


Figura 3.14: Circuito electrónico que vamos a construir. Los extremos abiertos se unen directamente a la entrada de micrófono del conector de audio.

Material	Coste
Hilo conductor	0.1 €
Imán de ferrita	0.1 €
Material electrónico	0.2 €
Conector de audio	1 €
Listón de madera	3 € aprox.
Sujeciones y cuerda	1 € aprox.
<b>Total</b>	<b>5 € aprox.</b>

Figura 3.15: Costes de la actividad II.

nicos por un precio cercano a 1 €. Con todo esto, la estimación del presupuesto para esta actividad es de en torno a 5 €, como se muestra en el desglose de la Tabla 3.15.

### 3.5.3. Desarrollo de la actividad

1. **Construcción.** En el taller de tecnología, realiza la construcción de la guitarra eléctrica como hemos visto en la Sección 3.5.2.
2. **Dibuja los trastes.** El mástil de una guitarra tiene marcas, llamadas *trastes*, que indican las posiciones para las que la cuerda suena con las notas de la llamada *escala cromática* musical, como puedes ver en la guitarra de la Figura 3.1, que se corresponde con la evolución: *Do, Do sostenido, Re, Re sostenido, Mi, Fa, Fa sostenido, Sol, Sol sostenido, La, La sostenido, Si*, y se repite de nuevo desde *Do*. ésta es la evolución de las notas según avanzamos de traste, con la diferencia de que cada cuerda comienza en una nota distinta, como puedes ver en la Tabla 3.2. En la Figura 3.16 puedes ver el sonido de cada traste de la tablatura, y cómo evoluciona según la escala cromática comenzando en *Re*. Los números de la tablatura representan el número de traste que estamos presionando en la cuerda indicada, la cuarta en este caso.

La distancia entre un traste  $t_i$  y el traste siguiente  $t_{i+1}$  viene dada por la ecuación:

$$t_{i+1} = t_i - \frac{t_i}{2^{\frac{1}{12}}} \tag{3.1}$$

En nuestro caso, si la cuerda desde el traste cero tiene una longitud de  $t_0 = 64$  cm, el traste 1 se sitúa a  $64 - \frac{64}{2^{\frac{1}{12}}} = 3.6$  cm del anterior, por lo que la cuerda tendría 60.4 cm para vibrar y el siguiente traste estaría a  $60,4 - \frac{60,4}{2^{\frac{1}{12}}} = 3.4$  cm,

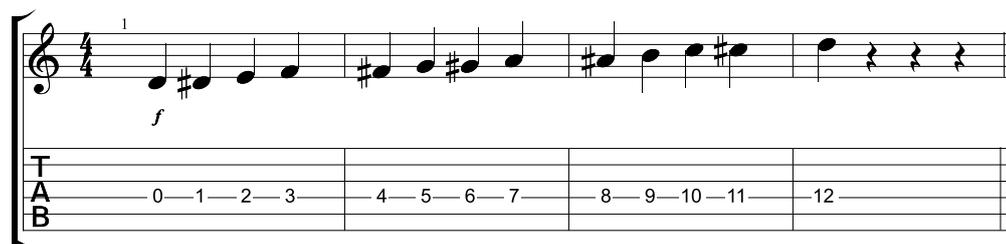


Figura 3.16: Escala cromática en una cuerda afinada en Re con el pentagrama (arriba) y la tablatura (abajo).

y así sucesivamente. Como puedes observar, cada traste es más corto que el anterior. Lo que debes hacer es partir de la distancia total que hayas dejado para tu cuerda, y calcular la separación de cada traste según la Ecuación 3.1, y dibujarlos hasta el traste 22.

Para guiarse más fácilmente a lo largo del mástil a la hora de tocar, es común que las guitarras incluyan algún tipo de marca o dibujo en los trastes 3, 7, 9, 12, 15, 17, 19 y 21. Puedes ser creativo y dibujar la forma que más te guste. Puedes ver algunas ideas en la Figura 3.17.

3. **Prueba el sonido.** Genera sonidos pulsando la cuerda. Verás que la cuerda vibra y se puede oír un sonido que puede ser más grave o más agudo, cuya propiedad física se denomina frecuencia. ¿Por qué se genera el sonido a cierta frecuencia? Cuando pulsas la cuerda, la estiras un poco, generando así una onda que viaja a lo largo de ella debido a la tensión y rebota de un lado a otro, como puedes ver en la Figura 3.18. Para hacer los números más sencillos, vamos a suponer que la cuerda tiene una longitud de  $l = 80$  cm, y que la onda viaja a una velocidad de  $v = 400$  m/s. Aplicando la conocida fórmula del movimiento rectilíneo uniforme,

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Espacio}}{\text{Tiempo}}, \text{ ó } \text{Tiempo} = \frac{\text{Espacio}}{\text{Velocidad}}, \quad (3.2)$$

tenemos que en nuestro caso,

$$t = \frac{l}{v} = \frac{0.8 \text{ m}}{400 \text{ m/s}} = 0.002 \text{ s} = 2 \text{ ms}. \quad (3.3)$$

Esto significa que el pulso tarda 2 ms en llegar de un extremo de la cuerda al otro, y al rebotar vuelve a la misma velocidad recorriendo de nuevo la misma longitud, por lo que llega al punto de partida al doble de tiempo, 4 ms. El tiempo que tarda una onda en volver al estado de partida se denomina período ( $T$ ). Y se llama frecuencia ( $f$ ) al inverso del período, y se mide en ciclos por segundo o Herzios, Hz. En este caso, la frecuencia vale

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.004 \text{ s}} = 250 \text{ Hz}. \quad (3.4)$$



Figura 3.17: Diferentes diseños alternativos para las marcas de trastes en el mástil.

Esta es la forma matemática que tenemos para representar lo agudo o grave que suena un sonido. A continuación vamos a ver cuál es la frecuencia de la cuerda de nuestro instrumento para poder afinarla.

4. **Afina tu instrumento.** Para ello, descárgate alguna de las múltiples aplicaciones gratuitas disponibles para afinar guitarra, como por ejemplo, *Guitar Tuner*<sup>3</sup> para iOS (Figura 3.19) y *PitchLab*<sup>4</sup> para Android. La aplicación debería darte una guía para saber si necesitas tensar o destensar la cuerda, e incluso te podría indicar la frecuencia como puedes ver en la imagen. La afinación dependerá del material que uses como cuerda, de forma que si es más rígido o más grueso, tenderá a sonar más grave y viceversa. Cuanto más tensa esté la cuerda, más agudo sonará. Sin embargo, más presión ejercerá sobre el mástil de soporte y podrías doblarlo demasiado o incluso romperlo. De forma, que recomendamos tensar la cuerda hasta que esté cerca de una de las seis cuerdas típicas de una guitarra con la afinación estándar, que puedes ver en la Tabla 3.2. En nuestro caso, para un alambre común de aproximadamente 0.7 mm de diámetro, la mejor afinación era para la nota Re, sonando a 147 Hz aproximadamente.

<sup>3</sup><https://itun.es/i6LN5nr>

<sup>4</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.symbolic.pitchlab>

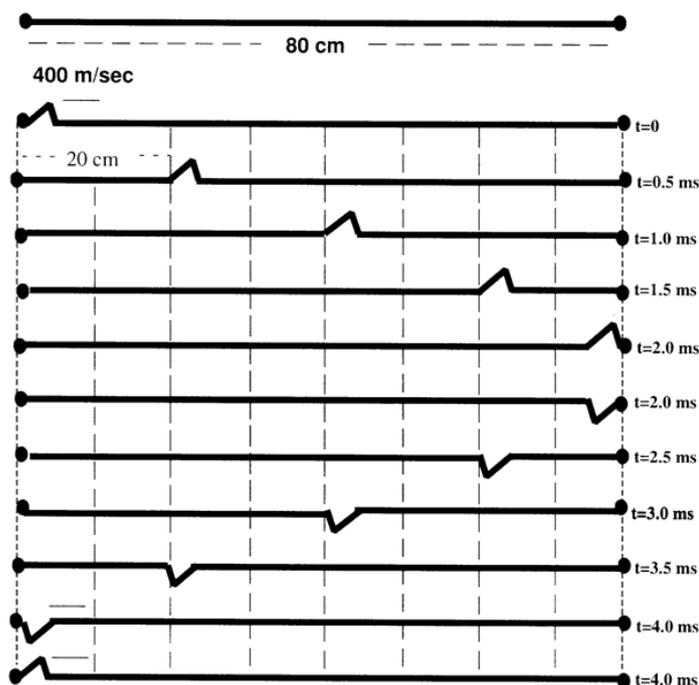


Figura 3.18: Un pulso atravesando la cuerda y rebotando. Crédito: (Gunther, 2012).

Los efectos de la tensión y la rigidez de la cuerda sobre su frecuencia ( $f$ ) se puede ver matemáticamente en las ecuaciones:

$$f = \frac{\sqrt{\mathcal{T}}}{2l} \sqrt{1 + \mathcal{B}} \quad (3.5)$$

$$\mathcal{B} = \left( \frac{\pi Y}{\mathcal{T}} \right) \left( \frac{\pi a^2}{2l} \right)^2 \quad (3.6)$$

$$(3.7)$$

En ellas,  $\mathcal{T}$  es la tensión,  $l$  es la longitud,  $\mu$  es la llamada *densidad de masa lineal* que relaciona la longitud con la masa  $m$  de la forma  $\mu = m/l$ ,  $a$  es el radio de la cuerda y  $Y$  es el llamado módulo de Young, que simboliza la rigidez del material. Podemos ver que cuanto más alta sea la tensión, más alta será la frecuencia. También vemos que cuanto más rígido sea el material, mayor será su frecuencia. Finalmente, vemos que  $\mathcal{B}$  es inversamente proporcional a la tensión y a la longitud, por lo que cuanto más tensión o longitud, menos influye la elasticidad del material en la frecuencia.

5. **Prueba la grabación.** Conecta el móvil al instrumento y abre una aplicación de grabación de sonido. Toca alguna melodía o haz más pruebas de sonido. Por lo general, cuando los móviles detectan que hay un conector de audio, fuerzan los altavoces que supuestamente hay conectados. Como nosotros sólo tenemos la entrada de audio por la línea de micrófono y no hemos conectado auriculares

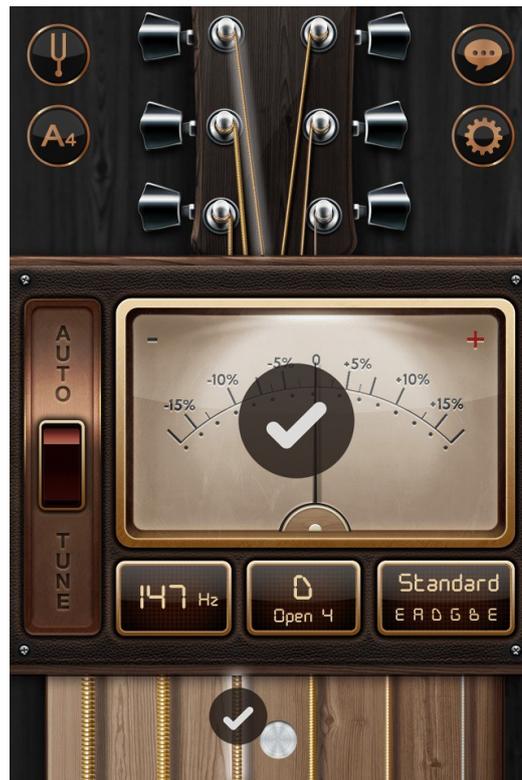


Figura 3.19: Aplicación *Guitar Tuner* mientras afinamos nuestro instrumento.

ni altavoces, tendremos que desconectar nuestro conector para poder reproducir y escuchar lo que hemos grabado.

6. **Experimenta** con diferentes configuraciones en la guitarra y responder a las siguientes preguntas.

a) Si das la vuelta a la pastilla, ¿influye en el sonido resultante?

La respuesta es que no influye. En primer lugar, la polarización magnética del imán afecta con igual intensidad con los dos polos del imán, y en segundo lugar, al dar la vuelta a la pastilla se invierte tanto la posición del imán como la de la bobina, por lo que ambas se compensan y la corriente inducida es la misma. La Figura 3.2 te ayudará a comprenderlo.

b) Si tienes disponibles otros materiales para cuerdas, pruébalos y analiza las diferencias de los sonidos que hacen, la tensión que ejercen en relación a la afinación. Puedes tomar datos experimentales, para la misma longitud, midiendo el rango de frecuencias a las que emite sonido según afinas la cuerda. Nosotros hemos realizado un experimento cambiando la cuerda por otra más gruesa y hemos visto que la afinación más adecuada para la misma era la de un Mi, vibrando a una frecuencia de aproximadamente 83 Hz (ver Tabla 3.2), afinándola y midiéndolo con la aplicación que utilizamos previamente en la Figura 3.19.

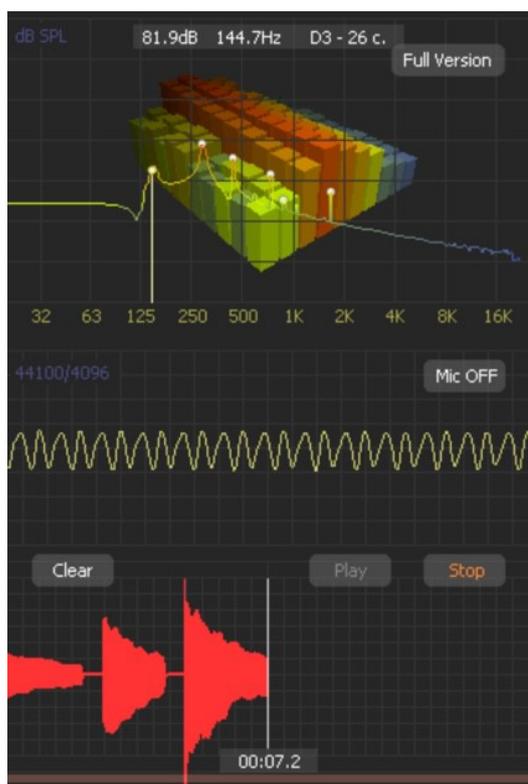


Figura 3.20: Espectro de frecuencias mientras se toca la cuerda.



Figura 3.21: Aplicación gratuita de efectos para guitarra *AmpKit*.

- c) Si quieres profundizar, puedes analizar el timbre. El timbre es la cualidad de los sonidos que nos permite diferenciar un instrumento de otro a pesar de que estén tocando la misma nota a la misma intensidad, aportando textura y complejidad al sonido. A pesar de que hemos hablado de “la frecuencia de un sonido”, la cuerda que usamos para hacer sonar una nota tiene una frecuencia principal, que es a la que nos hemos referido, pero también incluye otras frecuencias secundarias. Estas frecuencias secundarias son precisamente las que determinan el timbre del instrumento. Puedes analizarlas descargando alguna aplicación que te muestre el espectro de frecuencias, como *iAnalyzerLite*<sup>5</sup> para iOS (Figura 3.20) o *FFT Spectrum Analyzer*<sup>6</sup> para Android. En la Figura 3.20 puedes ver cómo la aplicación muestra en la parte superior una serie de picos, que son las diferentes frecuencias que emite la cuerda. La primera de ellas es la principal, que como podemos ver es la que determina la afinación de la cuerda, en este caso cercano a los 147 Hz de la nota Re a la que está afinada la cuerda, mientras que el resto de picos son los que añaden la textura al sonido.

<sup>5</sup><https://itun.es/i6LN7yf>

<sup>6</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.xyz.fft>

# Iron Man

**Black Sabbath**  
Adaptación a una cuerda

Standard tuning

♩ = 120

S-Gt

*f*

T  
A  
B

5 — 8 —      8 — 10 — 10 —      13 — 12 — 13 — 12 — 13 — 12 — 8 —      8 — 10 — 10 —

Figura 3.22: Ejemplo de tablatura con la melodía de una canción de Black Sabbath que se puede tocar fácilmente en la cuerda de la guitarra que hemos fabricado.

7. **Crea un videoclip.** Como resultado final, vamos a crear grabaciones de audio y vídeo y las vamos a montar.

- a) Realiza una grabación con una aplicación que lo permita, como las de tomar notas de voz, mientras interpretas una melodía. Tanto iOS como Android disponen de las respectivas aplicaciones *Notas de voz* y *Grabadora de voz*, instaladas por defecto. También puedes incorporar efectos al sonido, como por ejemplo para hacer que suene con efectos de guitarra y amplificadores, añadir eco, reverberancia, etc. Para esto también existen aplicaciones gratuitas, como *AmpKit*<sup>7</sup> para iOS y *Guitar Effects & Guitar Amp*<sup>8</sup> para Android. En la Figura 3.21 tienes la aplicación *AmpKit* como muestra de la interfaz que te puedes encontrar en una aplicación de este tipo, que en este caso incluye un amplificador y dos pedales que añaden efectos de ruido y eco.

Existen muchas canciones que se pueden adaptar a una cuerda, como puedes ver en la Figura 3.22. Puedes buscar en webs de tablaturas.<sup>9,10</sup> En el Anexo A te ponemos otros ejemplos de canciones sencillas de rock que hemos adaptado a una cuerda afinada en Re que puedes probar a tocar.

- b) Realiza grabaciones de vídeo del proceso de fabricación mientras estabas construyendo tu guitarra y crea un montaje que incluya estas partes y otras que elijas tú mismo. Esto lo puedes realizar con la aplicación de captura de fotos y vídeo instalada por defecto en tu móvil.

<sup>7</sup><https://itun.es/i6LN6mj>

<sup>8</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.deplike.andrig>

<sup>9</sup><http://ultimate-guitar.com>

<sup>10</sup><http://tablatures.tk>

- c) Monta el videoclip recortando parte de tus grabaciones de vídeo y poniendo como pista de audio el sonido que has grabado tocando el instrumento. Para ello dispones de múltiples aplicaciones, como por ejemplo *Magisto*, disponible para iOS<sup>11</sup> y Android<sup>12</sup>. Puedes añadir efectos al vídeo con una aplicación que lo permita, como la que te proponemos, según tu propio estilo y gustos.
8. **Comparte el video con tus amigos.** Sube el vídeo al blog de la asignatura o a alguna plataforma como YouTube para compartirlo y envía el enlace al profesor por email.

### 3.6. Conclusiones

Hemos propuesto una segunda actividad cuyos productos son, en primer lugar una guitarra eléctrica simplificada con una sola cuerda, y en segundo lugar un videoclip que incluye una interpretación con la guitarra y otro material visual. Esta actividad resulta en una combinación de conceptos de diversa índole, incluyendo electromagnetismo, física del sonido, notación e interpretación musical, edición audiovisual y redes sociales. Para llevar a cabo esta actividad pueden intervenir diferentes asignaturas directamente relacionadas con el currículo oficial, como hemos visto, pero la actividad también es adaptable a una asignatura autocontenida, siendo preferentemente alguna relacionada con tecnología, dada la necesidad de construir físicamente el instrumento que hay que construir.

La actividad consigue ser un buen recurso para llevar a cabo la filosofía de BYOD. A diferencia de una guitarra profesional, que necesita enchufarse a un amplificador, y éste a su vez a una toma de corriente eléctrica, nuestra adaptación no necesita más que un dispositivo móvil para funcionar. Mediante una sencilla construcción mecánica para tensar una cuerda y una fiel reproducción del circuito eléctrico de una guitarra, un dispositivo móvil se puede conectar a este instrumento mediante un conector común de audio, siendo lo único necesario para grabar el sonido de nuestro instrumento. De esta forma conseguimos una actividad fácilmente portable por los estudiantes, pudiendo realizar la actividad en el lugar que más conveniente les parezca.

El diseño de esta actividad fue un gran reto que supuso reorientar los objetivos de este trabajo. Originalmente, nuestro planteamiento era centrarnos en aplicaciones que utilizaran el sensor magnético de un dispositivo móvil. Según vimos en la Sección 3.4, no resultó posible llevar a cabo el planteamiento original utilizando el sensor magnético del móvil por motivos técnicos. Sin embargo, motivados por el gran interés y las aplicaciones de la actividad, acabamos encontrando una alternativa que ha resultado muy satisfactoria utilizando otro sensor, el de corriente analógica, que

---

<sup>11</sup><https://itun.es/i6Lv6C8>

<sup>12</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.magisto>

recibe la señal por el conector de audio del dispositivo. Para utilizar este sensor tuvimos que incorporar también una bobina de cobre para que captase las variaciones del campo magnético producidas por la cuerda. Con estas modificaciones, pudimos seguir adelante con la actividad tal y como la hemos propuesto, y conseguimos un diseño con un presupuesto de bajo coste. En nuestra opinión, esta reorientación inesperada del trabajo adaptándonos a las circunstancias ha mejorado los resultados esperados del mismo y nos ha permitido adentrarnos en campos menos comunes en asignaturas como física y tecnología, como es tratar la música y la creatividad.

Una interesante aportación que tendría poner en práctica esta actividad es la relación que pone de manifiesto entre tecnología y música. Por un lado, permite a los alumnos comprender la utilidad de conceptos que estudian, como es en este caso el electromagnetismo, aplicados a casos reales como son los instrumentos musicales. Y por otro lado, sirve como pretexto para fomentar la creatividad. De esta forma, creemos que resulta una actividad con la que se puede desarrollar la motivación de los alumnos durante su aprendizaje y desarrollo personal, desde dentro del sistema educativo.



# Capítulo 4

## Conclusiones

En este trabajo hemos investigado sobre el uso del móvil como recurso de apoyo en educación secundaria. Nos hemos centrado en uno de los desarrollos tecnológicos que se espera que sean más prometedores en los años próximos, como es BYOD, que consiste en aprovechar el hecho de que la mayoría de los jóvenes llevan su propio dispositivo móvil a clase. En España, hemos visto que hay grandes oportunidades para aprovechar esta situación, ya que el porcentaje de alumnos que usan móvil es muy elevado. Además, vimos que la vasta mayoría centros públicos cuentan con acceso a internet. Estos datos sustentan la conclusión de que realizar actividades utilizando BYOD, es una posibilidad al alcance de los profesores de secundaria en la actualidad. En nuestro caso, hemos planteado dos actividades, una consistente en estudiar el campo magnético terrestre, y otra consistente en la creación de una guitarra eléctrica de una cuerda, ambas adaptadas a BYOD.

Las ventajas de BYOD son grandes respecto a otras alternativas: aumenta la productividad personal de los alumnos, difumina las barreras entre el aprendizaje formal e informal, fomenta el aprendizaje social y el “aprender haciendo”, y reduce costes de una manera sostenible. Sin embargo, no hay que olvidar que también plantea nuevos retos como la constante actualización del profesorado para estar al tanto de las aplicaciones, que han de estar disponibles para cierta variedad de dispositivos, principalmente los basados en iOS y Android. También han de tener en cuenta en el planteamiento de sus actividades los momentos en los que sus alumnos van a necesitar internet, ya que no se puede dar por sentada la ubicuidad de la conexión en todos los casos.

Las dos actividades que hemos visto a lo largo de este trabajo han sido diseñadas teniendo BYOD en cuenta, y consiguen aprovechar todas las ventajas de los dispositivos personales de los alumnos resultando en buenos ejemplos de aplicaciones de BYOD, aportando cuestiones relevantes que hay que tener en cuenta durante su realización, como modificaciones que son necesarias realizar a ciertas actividades tradicionales para hacerlas fácilmente portables por los estudiantes.

Este trabajo está recogido bajo la especialidad de *Tecnología e Informática*, por lo que en su desarrollo tomamos esta rama como punto de partida. Esto nos permite aprovechar otra de las ventajas que tiene utilizar dispositivos móviles como recurso didáctico, que es la disponibilidad de trabajar con los sensores que suelen incorporar, entre los que se pueden encontrar magnetómetros, entrada de audio, acelerómetros, giróscopos y GPS.

En nuestro caso, hacemos uso del magnetómetro y de la entrada de audio para llevar a cabo las actividades que de otra forma requerirían un gran coste o serían impracticables. Creemos que son dos buenos ejemplos que se pueden llevar a la práctica real de un contexto educativo, e incluso servir como apoyo para dar ideas a los profesores para el planteamiento de otras actividades. También hemos visto y justificado cómo el sensor magnético de un dispositivo común no se puede utilizar para detectar vibraciones magnéticas producidas por un cuerda de afinación estándar, y las limitaciones que tiene la frecuencia de muestreo, lo cual puede ser útil para futuras investigaciones en esta línea.

Esta situación comenzó siendo un verdadero problema, pero acabó resultando en una gran oportunidad para permitir adentrarnos en la segunda actividad, aún más interdisciplinar que la anterior, donde pudimos tratar la relación entre tecnología y música. El resultado es una actividad donde se trabaja tanto la tecnología como la física como la música y la creatividad, incluyendo en todo momento contenidos del currículo oficial. De este modo, creemos que esta práctica puede ser un gran apoyo para trabajar los contenidos conceptuales involucrados a la vez que facilitar las metodologías de creatividad que use el profesor en el aula. La posibilidad de incluir música popular en la realización de actividades puede ser un gran aliado para despertar el interés de los estudiantes por las diferentes asignaturas involucradas, además de permitir desarrollar su creatividad.

Hemos visto también los problemas a los que nos hemos tenido que enfrentar para conseguir actividades generalizables a una gran cantidad de entornos socioeconómicos gracias al reducido presupuesto y la fácil portabilidad de los materiales para llevar a cabo las actividades. Además, amplia diversidad de aplicaciones para móvil gratuitas que podemos encontrar como las que hemos mencionado a lo largo del trabajo pone en manifiesto la facilidad y ventajas de utilizar estos dispositivos como recurso didáctico dando a los estudiantes un punto de vista diferente y con posibilidades no sólo de entretenimiento sino también educativas.

Por todo lo anterior, podemos concluir que hemos cubierto satisfactoriamente los objetivos de este trabajo, e incluso hemos mejorado las expectativas que teníamos del mismo gracias a habernos adaptado a la realidad de los resultados que nos hemos encontrado en su transcurso, para así ofrecer actividades innovadoras que se pueden adaptar fácilmente a gran variedad de contextos educativos.

## 4.1. Líneas futuras

Es bien conocido el dicho de “las investigaciones no se acaban, se abandonan.” Aquí hemos realizado un trabajo sólido que cumple con los objetivos del Trabajo Fin de Máster que se nos propone a los alumnos. El campo en el que nos hemos adentrado se asienta sobre grandes investigaciones y grandes avances tecnológicos, sociales y educativos, y del mismo modo creemos que tiene un gran futuro por delante. Tras exponer nuestra aportación a este campo, creemos conveniente indicar cuales serían las líneas de trabajo más inmediatas que seguiríamos para mejorar las actividades.

### Actividad I: Campo magnético terrestre

- Buscar una forma de hacer el circuito más sólido y estable. Unir los cables de la bobina con el resto del circuito puede acabar siendo delicado y se podría romper con facilidad si no se coloca bien.
- Buscar otro tipo de potenciómetro igual de barato y que se pueda regular más fácilmente. El que usamos nosotros necesita de algún objeto pequeño para introducirse en la ranura y girarlo. No es complicado actualmente, pero se podría mejorar.

### Actividad II: Guitarra eléctrica

- Estudiar más en profundidad el efecto de la posición de la pastilla a lo largo de la cuerda tomando datos y realizando comparaciones el sonido captado.
- Poner dos pastillas con una clavija para que se recoja el sonido de una, otra u ambas a la vez, como suelen tener las guitarras profesionales, para estudiar el efecto inmediato y permitir usarlo de forma creativa en la interpretación musical.
- Buscar una forma de que la cuerda esté situada más cerca del soporte y se pueda tocar presionando la cuerda contra la madera fácilmente con un dedo, como una guitarra profesional. Actualmente la mejor forma de tocarlo es con un cilindro de algún material duro, para lo cual se pueden usar muchos objetos cotidianos como por ejemplo un bolígrafo.
- Estudiar una forma sencilla de incluir trastes metálicos para mejorar el sonido del punto anterior, y que no suene apagado.
- Ver las posibilidades de un sistema más cómodo de afinación, igual de barato. El actual es muy sencillo y prácticamente no se desafina en semanas, pero no resulta todo lo cómodo que es el mecanismo de una guitarra profesional.

- Buscar una forma de poder reproducir por los altavoces del dispositivo a la vez que se está recogiendo la entrada por el ADC. El sistema operativo desconecta los altavoces externos cuando detecta que hay un conector de audio enchufado, y estaría bien poder reproducirlo a la vez. No supone ningún impedimento para la actividad, pero sería más cómodo a la hora de hacer pruebas.

Y, por supuesto, la cantidad de actividades innovadoras que se pueden realizar con la tecnología de fácil acceso de la que disponemos actualmente es un gran campo de experimentación donde los propios profesores o futuros estudiantes de máster pueden adentrarse para seguir buscando nuevas posibilidades interesantes y creativas en la línea en la que hemos trabajado.

# Apéndice A

## Tablaturas

A continuación ponemos algunos ejemplos de fragmentos de canciones que se han adaptado a una cuerda y son asequibles para interpretarlos con el instrumento que proponemos en la actividad de la Sección 3.

### Seven Nation Army

The White Stripes  
Adaptado a una cuerda

Standard tuning

♩ = 120

S-Gt

The first part of the musical notation consists of a treble clef staff in 4/4 time, a double bar line with repeat dots, and three measures of music. The first measure contains a quarter note G4, a quarter note A4, a quarter note B4, and a quarter note C5. The second measure contains a quarter note G4, a quarter note A4, a quarter note B4, and a quarter note C5. The third measure contains a quarter note G4, a quarter note A4, a quarter note B4, and a quarter note C5. The dynamic marking *f* is placed below the first measure. Below the staff is a three-line tablature with fret numbers: 7, 7, 10, 7, 5, 3, 2, 7, 7, 10, 7, 5.

The second part of the musical notation consists of a treble clef staff in 4/4 time, a double bar line with repeat dots, and one measure of music. The measure contains a quarter note G4, a quarter note A4, a quarter note B4, and a quarter note C5. The dynamic marking *f* is placed below the first measure. Below the staff is a three-line tablature with fret numbers: 3, 5, 3, 2, 0.

# In My Time Of Dying

Led Zeppelin  
Adaptado a una cuerda

Standard tuning

♩ = 89

S-Gt

*f*

T  
A  
B

0-3-5-0 / 7-0-5-3-0 0-3-5-0 / 7-0-5-3-0

T  
A  
B

0-3-5-0 / 7-0-5-3-0-0 / 7-0-5-0-3-0-0-7

T  
A  
B

(7)-0-5-0-3-0-0-7 (7)-0-5-0-3-0-0

# Sunshine Of Your Love

Cream  
Adaptado a una cuerda

Standard tuning

♩ = 115

S-Gt

*f*

T  
A  
B

12-12-10-12-7-6 5-0-3-0-0 12-12-10-12-7-6 5-12-15-12-0





# Bibliografía

- Alberta Government (2014). Bring your own device: A guide for schools. Alberta Education. School Technology Branch.
- Assey, J. (1999). The future of technology in K-12 arts education. Education Resources Information Center (ERIC).
- Bareiss, R., Linnell, N., y Griss, M. (2011). Contextualized mobile support for learning by doing in the real world. En *Ubiquitous Learning: An International Journal*.
- Berth, M. (2006). Informal learning with mobile devices - moblogging as learning resource. En *Proceedings of The Informal Learning and Digital Media: Constructions, Contexts, Consequences*.
- BOCyL (2007). Decreto 52/2007, de 17 de mayo, por el que se establece el currículo de la educación secundaria obligatoria en la comunidad de castilla y león.
- BOCyL (2008). Orden edu/1061/2008, de 19 de junio, por la que se regula la implantación y el desarrollo del bachillerato en la comunidad de castilla y león.
- BOE (2006). Real decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la educación secundaria obligatoria.
- BOE (2008). Orden esd/1729/2008, de 11 de junio, por la que se regula la ordenación y se establece el currículo del bachillerato.
- Chulliat, A., Macmillan, S., Alken, P., Beggan, C., Nair, M., Hamilton, B., Woods, A., Ridley, V., Maus, S., y Thomson, A. (2015). The us/uk world magnetic model for 2015-2020: Technical report. Technical report, National Geophysical Data Center, NOAA.
- Gunther, L. (2012). *The Physics of Music and Color*. Springer.
- Hänsler, U., Schlunk, S., y Schulze, J., editores (2014). *Smartphones in Science Teaching: iStage 2*. The European Platform for Science Teachers, Science on Stage Deutschland e.V.
- INE (2015). España en cifras 2015. Technical report, Instituto Nacional de Estadística (INE).

- Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., y Freeman, A. (2015). *NMC Horizon Report: 2015 Higher Education Edition*. The New Media Consortium.
- Lewis, S., Pea, R., y Rosen, J. (2010). Beyond participation to co-creation of meaning: mobile social media in generative learning communities. *Social Science Information*, 49(3):351–369.
- MECD (2014). Datos y cifras. curso escolar 2014-2015. Technical report, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Secretaría General Técnica. Subdirección General de Estadística y Estudios.
- Merril, R. T., McElhinny, M. W., y McFadden, P. L. (1996). *The Magnetic Field of the Earth: Paleomagnetism, the Core and the Deep Mantle*. Academic Press.
- Postman, N. (1998). Five things we need to know about technological change. Talk delivered in Denver Colorado.
- Robinson, K. (2006). Do schools kill creativity? [http://www.ted.com/talks/ken\\_robinson\\_says\\_schools\\_kill\\_creativity](http://www.ted.com/talks/ken_robinson_says_schools_kill_creativity). [Último acceso, 20/06/2015].
- Russell, B. (1932). *Education and the Social Order*. Routledge Classics. Edición de 2010.
- Viejo, P. y Vicente, J. (2014). *Tecnología 4º ESO*. Ed McGraw-Hill.