



**Trabajo Final del Máster Universitario de Profesor de Educación Secundaria
Obligatoria, Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas
(Especialidad: Física y Química).**

Curso 2016-2017

Proyecto de Física 2º Bach: Medición del ciclo de histéresis en materiales ferromagnéticos

Alumno

Francisco Alonso Malfaz

Tutores

José María Muñoz

Carlos Torres

Valladolid, julio 2017

ÍNDICE

RESUMEN	4
1. ANTECEDENTES Y OBJETIVO	5
2. ADECUACIÓN DEL TRABAJO EN EL CURRÍCULO DE FÍSICA Y QUÍMICA DE ESO Y BACHILLERATO. TRANSVERSALIDAD CON OTRAS ASIGNATURAS.	7
2.1. ADECUACIÓN DEL TRABAJO EN EL CURRÍCULO DE FÍSICA Y QUÍMICA	7
2.2. TRANSVERSALIDAD CON OTRAS ASIGNATURAS	17
3. ASPECTOS DOCENTES Y PEDAGÓGICOS	19
3.1. OBJETIVOS	19
3.1.1. Objetivos conceptuales	19
3.1.2. Objetivos procedimentales	19
3.1.3. Objetivos actitudinales	19
3.2. CONTENIDOS	20
3.3. COMPETENCIAS	21
3.3.1. Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología	21
3.3.2. Competencia digital	22
3.3.3. Competencia social y ciudadana	22
3.3.4. Competencia lingüística	22
3.3.5. Aprender a aprender	23
3.3.6. Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor	23
3.4. ACTIVIDADES	23
3.4.1. Actividad 1. Planteamiento del proyecto. Creación de grupos	24
3.4.2. Actividad 2. Fabricación del magnetómetro	25
3.4.3. Actividad 3. Fabricación de la bobina. Realización de las mediciones.	25
3.4.4. Actividad 4. Análisis y representación de los resultados. Elaboración del informe.	26
3.4.5. Actividad 5. Presentación de resultados.	26
3.5. METODOLOGÍA	27
3.6. EVALUACIÓN	28
3.6.1. Criterios de evaluación	28
3.6.2. Instrumentos de evaluación. Aspectos que se evalúan	28
3.6.3. Contenidos mínimos	29
3.7. ATENCIÓN A LA DIVERSIDAD	29
3.8. AUTOEVALUACIÓN	29
4. DESARROLLO DEL PROYECTO	31
4.1. FUNDAMENTO TEÓRICO	31
4.2. CONSTRUCCIÓN DEL MAGNETÓMETRO	34

4.3.	PROGRAMACIÓN DEL MAGNETÓMETRO	39
4.4.	FABRICACIÓN DE LA BOBINA ELÉCTRICA Y MEDICIÓN DEL CICLO DE HISTÉRESIS DE MATERIALES FERROMAGNÉTICOS.	41
4.4.1.	Aspectos a tener en cuenta	45
4.5.	ANÁLISIS Y REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	47
5.	CONCLUSIONES	51
6.	REFERENCIAS	53
7.	LISTA DE FIGURAS Y TABLAS	54
7.1.	FIGURAS	54
7.2.	TABLAS	54
8.	ANEXO I. GUÍAS PARA LAS ACTIVIDADES	56
8.1.	ACTIVIDAD 1. CONSTRUCCIÓN DEL MAGNETÓMETRO	56
8.2.	ACTIVIDAD 2. PROGRAMACIÓN DEL MAGNETÓMETRO	58
8.3.	ACTIVIDAD 3. MEDICIÓN DEL CICLO DE HISTÉRESIS	59
9.	ANEXO II. PROYECTO <i>MAGNET3</i> ARDUINO	61
10.	ANEXO III. COSTE DE MATERIAL	65

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Máster consiste en realizar un pequeño proyecto, durante el 2º trimestre de Física de 2º de Bachillerato, cuyo objetivo final es la medición del ciclo de histéresis de diversos materiales ferromagnéticos.

La clase se dividirá en grupos de trabajo, y las tareas implicarán la construcción del magnetómetro, gestionado por el hardware Arduino, la descarga de la programación del instrumento, la fabricación de una bobina, y la medición de la curva de histéresis de diversos elementos ferromagnéticos que serán introducidos en la bobina, sobre la que se hará circular una corriente eléctrica.

El objetivo final, además de comprender el fenómeno de la histéresis magnética, está también en que los alumnos aprendan a trabajar por proyectos, a cooperar en grupos de trabajo estructurados, y aprendan a medir, a experimentar y a representar y analizar los resultados obtenidos.

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVO

El trabajo experimental, la medición, es fundamental en ciencias como Física o Química. En casi todas las ramas de la ciencia la medición es la base del conocimiento. Por ello es importante que los alumnos que salen del Bachillerato y vayan a emprender estudios superiores en carreras científicas o técnicas tengan una base en trabajo experimental.

El presente trabajo propone un pequeño proyecto, donde, a partir de un objetivo que puede parecer complejo, los alumnos aprendan muchos conceptos necesarios dentro del trabajo experimental. El objetivo final es la ***medición del ciclo de histéresis del campo magnético inducido por una bobina eléctrica en un material ferromagnético.*** Para ello, los alumnos, divididos en grupos, realizarán las siguientes tareas:

- Construcción de un magnetómetro, con una sonda, una pantalla LCD y una placa Arduino
- Introducción del programa de control en la placa Arduino
- Construcción de la bobina eléctrica
- Realización del experimento
- Interpretación de los resultados

Durante el desarrollo del proyecto se trabajará lo siguiente:

- Fabricación de instrumentos de medida
- Utilización de las TIC como soporte en mediciones
- Realización correcta de las mediciones
- Manejo de unidades de medida
- Trabajo en equipo y distribución de tareas
- Interpretación de las mediciones
- Fijación de conceptos de magnetismo y campo electromagnético

Esta última parte es interesante, ya que el magnetismo es un concepto que se ve sólo en 2º de Bachillerato, y muchas veces de forma marginal. Sin embargo, con una práctica relativamente sencilla se puede entender, al menos de forma descriptiva, las propiedades de los materiales magnéticos.

El trabajo que se propone a los alumnos es un proyecto, no es una práctica. Por lo tanto, el resultado último del experimento, si bien es importante, no es lo fundamental. El profesor evaluará el trabajo no por el “qué” se ha realizado (si la curva de histéresis es mejor o peor), sino por el “cómo” se ha realizado: si los alumnos han trabajado en equipo, si han realizado los distintos pasos entendiendo lo que hacía, si han comprendido las mediciones que realizaban, cómo han respondido a los errores que hubieran cometido, etc.

2. ADECUACIÓN DEL TRABAJO EN EL CURRÍCULO DE FÍSICA Y QUÍMICA DE ESO Y BACHILLERATO. TRANSVERSALIDAD CON OTRAS ASIGNATURAS.

Dado su contenido, el trabajo está planteado para alumnos de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato. Sin embargo, al tratarse de un proyecto repasa muchos conceptos de asignaturas de años anteriores, e incluso de asignaturas distintas de Física y Química, pero que desarrollan competencias útiles para este trabajo.

A continuación se detallan los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables relacionados con el proyecto de cada una de las asignaturas. El currículo es el correspondiente a la regulación de la Ley Orgánica de Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE) para Castilla y León [1, 2, 3].

2.1.ADECUACIÓN DEL TRABAJO EN EL CURRÍCULO DE FÍSICA Y QUÍMICA

Tabla 1. Física y Química 2º ESO

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 1. La actividad científica		
Medida de magnitudes. Unidades. Sistema Internacional de Unidades (S.I). Factores de conversión entre unidades. Notación científica. Redondeo de resultados. Utilización de las Tecnologías de la información y la comunicación. El trabajo en el laboratorio.	1. Conocer los procedimientos científicos para determinar magnitudes. Realizar cambios entre unidades de una misma magnitud utilizando factores de conversión. 2. Reconocer los materiales e instrumentos básicos presentes en los laboratorios de Física y de Química. Conocer, y respetar las normas de seguridad en el laboratorio y de eliminación de residuos para la protección del medio ambiente.	1.1 Establece relaciones entre magnitudes y unidades utilizando preferentemente el Sistema Internacional de Unidades y la notación científica para expresar los resultados. 2.2. Identifica material e instrumentos básicos de laboratorio y conoce su forma de utilización para la realización de experiencias, respetando las normas de seguridad e identificando actitudes y medidas de actuación preventivas.

Tabla 2. Física y Química 3º ESO

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 1. La actividad científica		
<p>El método científico: sus etapas.</p> <p>El informe científico. Análisis de datos organizados en tablas y gráficos.</p> <p>Medida de magnitudes. Sistema Internacional de Unidades.</p> <p>Notación científica.</p> <p>Carácter aproximado de la medida.</p> <p>Cifras significativas.</p> <p>Interpretación y utilización de información de carácter científico.</p> <p>El trabajo en el laboratorio</p> <p>Utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación.</p> <p>Proyecto de investigación.</p>	<p>1. Reconocer e identificar las características del método científico.</p> <p>2. Valorar la investigación científica y su impacto en la industria y en el desarrollo de la sociedad.</p> <p>3. Conocer los procedimientos científicos para determinar magnitudes. Utilizar factores de conversión. Expresar las magnitudes utilizando submúltiplos y múltiplos de unidades así como su resultado en notación científica.</p> <p>4. Reconocer los materiales e instrumentos básicos presentes del laboratorio de Física y de Química; conocer y respetar las normas de seguridad y de eliminación de residuos para la protección del medioambiente.</p> <p>5. Interpretar la información sobre temas científicos de carácter divulgativo que aparece en publicaciones y medios de comunicación.</p> <p>6. Desarrollar pequeños trabajos de investigación y presentar el informe correspondiente, en los que se ponga en práctica la aplicación del método científico y la utilización de las TIC.</p>	<p>1.1. Formula hipótesis para explicar fenómenos cotidianos utilizando teorías y modelos científicos.</p> <p>1.2. Registra observaciones, datos y resultados de manera organizada y rigurosa, y los comunica de forma oral y escrita utilizando esquemas, gráficos, tablas y expresiones matemáticas.</p> <p>2.1. Relaciona la investigación científica con las aplicaciones tecnológicas en la vida cotidiana.</p> <p>3.1. Establece relaciones entre magnitudes y unidades utilizando, preferentemente, el Sistema Internacional de Unidades y la notación científica para expresar los resultados.</p> <p>4.1. Identifica material e instrumentos básicos de laboratorio y conoce su forma de utilización para la realización de experiencias respetando las normas de seguridad e identificando actitudes y medidas de actuación preventivas.</p> <p>5.1. Selecciona, comprende e interpreta información relevante en un texto de divulgación científica y transmite las conclusiones obtenidas utilizando el lenguaje oral y escrito con propiedad.</p> <p>5.2. Identifica las principales características ligadas a la fiabilidad y objetividad del flujo de información existente en internet y otros medios digitales.</p> <p>6.1. Realiza pequeños trabajos de</p>

		<p>investigación sobre algún tema objeto de estudio aplicando el método científico, y utiliza las TIC para la búsqueda y selección de información y presentación de conclusiones en un informe.</p> <p>6.2. Participa, valora, gestiona y respeta el trabajo individual y en equipo.</p>
Bloque 3. El movimiento y las fuerzas		
<p>Carga eléctrica. Fuerzas eléctricas. Fenómenos electrostáticos. Magnetismo natural. La brújula. Relación entre electricidad y magnetismo. El electroimán. Experimentos de Oersted y Faraday. Fuerzas de la naturaleza.</p>	<p>7. Conocer los tipos de cargas eléctricas, su papel en la constitución de la materia y las características de las fuerzas que se manifiestan entre ellas.</p> <p>8. Interpretar fenómenos eléctricos mediante el modelo de carga eléctrica y valorar la importancia de la electricidad en la vida cotidiana.</p> <p>9. Justificar cualitativamente fenómenos magnéticos y valorar la contribución del magnetismo en el desarrollo tecnológico.</p> <p>10. Comparar los distintos tipos de imanes, analizar su comportamiento y deducir mediante experiencias las características de las fuerzas magnéticas puestas de manifiesto, así como su relación con la corriente eléctrica.</p> <p>11. Reconocer las distintas fuerzas que aparecen en la naturaleza y los distintos fenómenos asociados a ellas.</p>	<p>7.1. Explica la relación existente entre las cargas eléctricas y la constitución de la materia y asocia la carga eléctrica de los cuerpos con un exceso o defecto de electrones.</p> <p>9.1. Reconoce fenómenos magnéticos identificando el imán como fuente natural del magnetismo y describe su acción sobre distintos tipos de sustancias magnéticas.</p> <p>9.2. Construye, y describe el procedimiento seguido para ello, una brújula elemental para localizar el norte utilizando el campo magnético terrestre.</p> <p>10.1. Comprueba y establece la relación entre el paso de corriente eléctrica y el magnetismo, construyendo un electroimán.</p> <p>10.2. Reproduce los experimentos de Oersted y de Faraday, en el laboratorio o mediante simuladores virtuales, deduciendo que la electricidad y el magnetismo son dos manifestaciones de un mismo fenómeno.</p> <p>11.1. Realiza un informe empleando las TIC a partir de observaciones o búsqueda guiada de información que relacione las distintas fuerzas</p>

		que aparecen en la naturaleza y los distintos fenómenos asociados a ellas.
Bloque 4. La energía		
<p>Magnitudes eléctricas. Unidades.</p> <p>Conductores y aislantes.</p> <p>Corriente eléctrica. Ley de Ohm.</p> <p>Asociación de generadores y receptores en serie y paralelo.</p> <p>Construcción y resolución de circuitos eléctricos sencillos.</p> <p>Simbología eléctrica.</p> <p>Componentes electrónicos básicos.</p>	<p>1. Explicar el fenómeno físico de la corriente eléctrica e interpretar el significado de las magnitudes intensidad de corriente, diferencia de potencial y resistencia, así como las relaciones entre ellas.</p> <p>2. Comprobar los efectos de la electricidad y las relaciones entre las magnitudes eléctricas mediante el diseño y construcción de circuitos eléctricos y electrónicos sencillos, en el laboratorio o mediante aplicaciones virtuales interactivas.</p> <p>3. Valorar la importancia de los circuitos eléctricos y electrónicos en las instalaciones eléctricas e instrumentos de uso cotidiano, describir su función básica e identificar sus distintos componentes.</p>	<p>1.1. Explica la corriente eléctrica como cargas en movimiento a través de un conductor.</p> <p>1.2. Comprende el significado de las magnitudes eléctricas intensidad de corriente, diferencia de potencial y resistencia, y las relaciona entre sí utilizando la ley de Ohm.</p> <p>2.1. Distingue entre conductores y aislantes reconociendo los principales materiales usados como tales.</p> <p>2.2. Construye circuitos eléctricos con diferentes tipos de conexiones entre sus elementos, deduciendo de forma experimental las consecuencias de la conexión de generadores y receptores en serie o en paralelo.</p> <p>2.3. Aplica la ley de Ohm a circuitos sencillos para calcular una de las magnitudes involucradas a partir de las otras dos, expresando el resultado en las unidades del Sistema Internacional.</p> <p>3.3. Identifica y representa los componentes más habituales en un circuito eléctrico: conductores, generadores, receptores y elementos de control describiendo su correspondiente función.</p> <p>3.4. Reconoce los componentes electrónicos básicos describiendo sus aplicaciones prácticas y la repercusión de la miniaturización del microchip en el tamaño y precio de los dispositivos.</p>

Tabla 3. Física y Química 4º ESO

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 1. La actividad científica		
<p>La investigación científica.</p> <p>Magnitudes escalares y vectoriales.</p> <p>Magnitudes fundamentales y derivadas.</p> <p>El Sistema Internacional de unidades. Ecuación de dimensiones.</p> <p>Carácter aproximado de la medida.</p> <p>Errores en la medida. Error absoluto y error relativo.</p> <p>Expresión de resultados.</p> <p>Análisis de los datos experimentales. Tablas y gráficas.</p> <p>Tecnologías de la Información y la Comunicación en el trabajo científico. El informe científico.</p> <p>Proyecto de investigación.</p>	<p>3. Comprobar la necesidad de usar vectores para la definición de determinadas magnitudes.</p> <p>4. Relacionar las magnitudes fundamentales con las derivadas a través de ecuaciones de magnitudes.</p> <p>5. Comprender que no es posible realizar medidas sin cometer errores y distinguir entre error absoluto y relativo.</p> <p>6. Expresar el valor de una medida usando el redondeo y el número de cifras significativas correctas.</p> <p>7. Realizar e interpretar representaciones gráficas de procesos físicos o químicos a partir de tablas de datos y de las leyes o principios involucrados.</p> <p>8. Elaborar y defender un proyecto de investigación, aplicando las TIC.</p>	<p>2.1. Distingue entre hipótesis, leyes y teorías, y explica los procesos que corroboran una hipótesis y la dotan de valor científico.</p> <p>3.1. Identifica una determinada magnitud como escalar o vectorial y describe los elementos que definen a esta última.</p> <p>4.1. Comprueba la homogeneidad de una fórmula aplicando la ecuación de dimensiones a los dos miembros.</p> <p>5.1. Calcula e interpreta el error absoluto y el error relativo de una medida conocido el valor real.</p> <p>6.1. Calcula y expresa correctamente, partiendo de un conjunto de valores resultantes de la medida de una misma magnitud, el valor de la medida, utilizando las cifras significativas adecuadas.</p> <p>7.1. Representa gráficamente los resultados obtenidos de la medida de dos magnitudes relacionadas infiriendo, en su caso, si se trata de una relación lineal, cuadrática o de proporcionalidad inversa, y deduciendo la fórmula.</p> <p>8.1. Elabora y defiende un proyecto de investigación, sobre un tema de interés científico, utilizando las Tecnologías de la información y la comunicación.</p>

Tabla 4. Física y Química 1º BACHILLERATO

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 1. La actividad científica		
<p>El método científico. Estrategias necesarias en la actividad científica.</p> <p>Sistema Internacional de Unidades. Transformación de unidades. Dimensiones. Análisis dimensional. Notación científica. Uso de cifras significativas.</p> <p>Expresión de una medida. Errores o incertidumbres. Tipos de errores.</p> <p>Las representaciones gráficas en Física y Química.</p> <p>Magnitudes físicas. Magnitudes fundamentales y derivadas.</p> <p>Escalares y vectores. Operaciones con vectores.</p> <p>Tecnologías de la Información y la Comunicación en el trabajo científico. Animaciones y aplicaciones virtuales interactivas.</p> <p>Proyecto de investigación. Elementos de un proyecto.</p>	<p>1. Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica como: plantear problemas, formular hipótesis, proponer modelos, utilizar la notación científica, elaborar estrategias de resolución de problemas y diseños experimentales y análisis de los resultados.</p> <p>2. Conocer, utilizar y aplicar las Tecnologías de la Información y la Comunicación en el estudio de los fenómenos físicos y químicos.</p>	<p>1.1. Aplica habilidades necesarias para la investigación científica, planteando preguntas, identificando problemas, recogiendo datos, diseñando estrategias de resolución de problemas utilizando modelos y leyes, revisando el proceso y obteniendo conclusiones.</p> <p>1.2. Resuelve ejercicios numéricos expresando el valor de las magnitudes empleando la notación científica, estima los errores absoluto y relativo asociados y contextualiza los resultados.</p> <p>1.3. Efectúa el análisis dimensional de las ecuaciones que relacionan las diferentes magnitudes en un proceso físico o químico.</p> <p>1.4. Distingue entre magnitudes escalares y vectoriales y opera adecuadamente con ellas.</p> <p>1.5. Elabora e interpreta representaciones gráficas de diferentes procesos físicos y químicos a partir de los datos obtenidos en experiencias de laboratorio o virtuales y relaciona los resultados obtenidos con las ecuaciones que representan las leyes y principios subyacentes.</p> <p>1.6. A partir de un texto científico, extrae e interpreta la información, argumenta con rigor y precisión utilizando la terminología adecuada.</p> <p>2.2. Establece los elementos esenciales para el diseño, la elaboración y defensa de un proyecto de investigación, sobre un</p>

		tema de actualidad científica, vinculado con la Física o la Química, utilizando preferentemente las TIC.
Bloque 8. Energía		
Trabajo eléctrico. Campo eléctrico. Diferencia de potencial eléctrico.	4. Vincular la diferencia de potencial eléctrico con el trabajo necesario para transportar una carga entre dos puntos de un campo eléctrico y conocer su unidad en el Sistema Internacional.	4.1. Asocia el trabajo necesario para trasladar una carga entre dos puntos de un campo eléctrico con la diferencia de potencial existente entre ellos permitiendo la determinación de la energía implicada en el proceso.

Tabla 5. Física 2º BACHILLERATO

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 1. La actividad científica		
Estrategias propias de la actividad científica: etapas fundamentales en la investigación científica. Magnitudes físicas y análisis dimensional. El proceso de medida. Características de los instrumentos de medida adecuados. Incertidumbre y error en las mediciones: Exactitud y precisión. Uso correcto de cifras significativas. La consistencia de los resultados. Incertidumbres de los resultados. Propagación de las incertidumbres. Representación gráfica de datos experimentales. Línea de ajuste de una representación gráfica. Calidad del ajuste.	1. Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica. 2. Conocer, utilizar y aplicar las Tecnologías de la Información y la Comunicación en el estudio de los fenómenos físicos.	1.1. Aplica habilidades necesarias para la investigación científica, planteando preguntas, identificando y analizando problemas, emitiendo hipótesis fundamentadas, recogiendo datos, analizando tendencias a partir de modelos, diseñando y proponiendo estrategias de actuación. 1.2. Efectúa el análisis dimensional de las ecuaciones que relacionan las diferentes magnitudes en un proceso físico 1.3. Resuelve ejercicios en los que la información debe deducirse a partir de los datos proporcionados y de las ecuaciones que rigen el fenómeno y contextualiza los resultados. 1.4. Elabora e interpreta representaciones gráficas de dos y tres variables a partir de datos experimentales y las relaciona con las ecuaciones matemáticas que representan las leyes y los

		<p>principios físicos subyacentes.</p> <p>2.2. Analiza la validez de los resultados obtenidos y elabora un informe final haciendo uso de las TIC comunicando tanto el proceso como las conclusiones obtenidas.</p>
<p>Bloque 3. Interacción electromagnética</p>		
<p>Campo eléctrico. Líneas de campo eléctrico.</p> <p>Intensidad del campo eléctrico.</p> <p>Flujo del campo eléctrico. Ley de Gauss. Aplicaciones: campo en el interior de un conductor en equilibrio y campo eléctrico creado por un elemento continuo de carga.</p> <p>Trabajo realizado por la fuerza eléctrica.</p> <p>Potencial eléctrico. Energía potencial eléctrica de un sistema formado por varias cargas eléctricas. Superficies equipotenciales.</p> <p>Movimiento de una carga eléctrica en el seno de un campo eléctrico.</p> <p>El fenómeno del magnetismo y la experiencia de Oersted.</p> <p>Campo magnético. Líneas de campo magnético. El campo magnético terrestre.</p> <p>Efecto de los campos magnéticos sobre cargas en movimiento: Fuerza de Lorentz.</p> <p>El campo magnético como campo no conservativo.</p> <p>Campo creado por distintos elementos de corriente: acción de un campo magnético sobre un conductor de corriente rectilíneo y sobre un circuito.</p> <p>Ley de Ampère: Campo magnético creado por un conductor indefinido,</p>	<p>1. Asociar el campo eléctrico a la existencia de carga y caracterizarlo por la intensidad de campo y el potencial.</p> <p>2. Reconocer el carácter conservativo del campo eléctrico por su relación con una fuerza central y asociarle en consecuencia un potencial eléctrico.</p> <p>3. Caracterizar el potencial eléctrico en diferentes puntos de un campo generado por una distribución de cargas puntuales y describir el movimiento de una carga cuando se deja libre en el campo.</p> <p>4. Interpretar las variaciones de energía potencial de una carga en movimiento en el seno de campos electrostáticos en función del origen de coordenadas energéticas elegido.</p> <p>5. Asociar las líneas de campo eléctrico con el flujo a través de una superficie cerrada y establecer el teorema de Gauss para determinar el campo eléctrico creado por una esfera cargada.</p> <p>6. Valorar el teorema de Gauss como método de cálculo de campos electrostáticos.</p> <p>7. Aplicar el principio de equilibrio electrostático para explicar la ausencia de campo eléctrico en el interior de los conductores y lo</p>	<p>1.1. Relaciona los conceptos de fuerza y campo, estableciendo la relación entre intensidad del campo eléctrico y carga eléctrica.</p> <p>1.2. Utiliza el principio de superposición para el cálculo de campos y potenciales eléctricos creados por una distribución de cargas puntuales.</p> <p>2.1. Representa gráficamente el campo creado por una carga puntual, incluyendo las líneas de campo y las superficies de energía equipotencial.</p> <p>2.2. Compara los campos eléctrico y gravitatorio estableciendo analogías y diferencias entre ellos.</p> <p>3.1. Analiza cualitativamente la trayectoria de una carga situada en el seno de un campo generado por una distribución de cargas, a partir de la fuerza neta que se ejerce sobre ella.</p> <p>4.1. Calcula el trabajo necesario para transportar una carga entre dos puntos de un campo eléctrico creado por una o más cargas puntuales a partir de la diferencia de potencial.</p> <p>4.2. Predice el trabajo que se realizará sobre una carga que se mueve en una superficie de energía equipotencial y lo discute en el contexto de campos conservativos.</p>

<p>por una espira circular y por un solenoide.</p> <p>Interacción entre corrientes rectilíneas paralelas. El amperio.</p> <p>Diferencia entre los campos eléctrico y magnético.</p> <p>Inducción electromagnética.</p> <p>Flujo magnético.</p> <p>Leyes de Faraday-Henry y Lenz.</p>	<p>asocia a casos concretos de la vida cotidiana.</p> <p>8. Conocer el movimiento de una partícula cargada en el seno de un campo magnético.</p> <p>9. Comprender y comprobar que las corrientes eléctricas generan campos magnéticos.</p> <p>10. Reconocer la fuerza de Lorentz como la fuerza que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve en una región del espacio donde actúan un campo eléctrico y un campo magnético.</p> <p>11. Interpretar el campo magnético como campo no conservativo y la imposibilidad de asociar una energía potencial.</p> <p>12. Describir el campo magnético originado por una corriente rectilínea, por una espira de corriente o por un solenoide en un punto determinado.</p> <p>13. Identificar y justificar la fuerza de interacción entre dos conductores rectilíneos y paralelos.</p> <p>14. Conocer que el amperio es una unidad fundamental del Sistema Internacional y asociarla a la fuerza eléctrica entre dos conductores.</p> <p>15. Valorar la ley de Ampère como método de cálculo de campos magnéticos.</p> <p>16. Relacionar las variaciones del flujo magnético con la creación de corrientes eléctricas y determinar el sentido de las mismas.</p> <p>17. Conocer, a través de aplicaciones interactivas, las experiencias de Faraday y de Henry que llevaron a establecer las leyes</p>	<p>5.1. Calcula el flujo del campo eléctrico a partir de la carga que lo crea y la superficie que atraviesan las líneas del campo.</p> <p>6.1. Determina el campo eléctrico creado por una esfera cargada aplicando el teorema de Gauss.</p> <p>7.1. Explica el efecto de la Jaula de Faraday utilizando el principio de equilibrio electrostático y lo reconoce en situaciones cotidianas como el mal funcionamiento de los móviles en ciertos edificios o el efecto de los rayos eléctricos en los aviones.</p> <p>8.1. Describe el movimiento que realiza una carga cuando penetra en una región donde existe un campo magnético y analiza casos prácticos concretos como los espectrómetros de masas y los aceleradores de partículas.</p> <p>9.1. Relaciona las cargas en movimiento con la creación de campos magnéticos y describe las líneas del campo magnético que crea una corriente eléctrica rectilínea.</p> <p>10.1. Calcula el radio de la órbita que describe una partícula cargada cuando penetra con una velocidad determinada en un campo magnético conocido aplicando la fuerza de Lorentz.</p> <p>10.3. Establece la relación que debe existir entre el campo magnético y el campo eléctrico para que una partícula cargada se mueva con movimiento rectilíneo uniforme aplicando la ley fundamental de la dinámica y la ley de Lorentz.</p>
--	--	---

	de Faraday y Lenz.	<p>11.1. Analiza el campo eléctrico y el campo magnético desde el punto de vista energético teniendo en cuenta los conceptos de fuerza central y campo conservativo.</p> <p>12.1. Establece, en un punto dado del espacio, el campo magnético resultante debido a dos o más conductores rectilíneos por los que circulan corrientes eléctricas.</p> <p>12.2. Caracteriza el campo magnético creado por una espira y por un conjunto de espiras.</p> <p>13.1. Analiza y calcula la fuerza que se establece entre dos conductores paralelos, según el sentido de la corriente que los recorra, realizando el diagrama correspondiente.</p> <p>14.1. Justifica la definición de amperio a partir de la fuerza que se establece entre dos conductores rectilíneos y paralelos.</p> <p>15.1. Determina el campo que crea una corriente rectilínea de carga aplicando la ley de Ampère y lo expresa en unidades del Sistema Internacional.</p> <p>16.1. Establece el flujo magnético que atraviesa una espira que se encuentra en el seno de un campo magnético y lo expresa en unidades del Sistema Internacional.</p> <p>16.2. Calcula la fuerza electromotriz inducida en un circuito y estima la dirección de la corriente eléctrica aplicando las leyes de Faraday y Lenz.</p>
--	--------------------	---

2.2. TRANSVERSALIDAD CON OTRAS ASIGNATURAS

Tabla 6. Tecnología 4º ESO

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 3. Electrónica		
Señal analógica y señal digital. Electrónica analógica. Componentes básicos. Simbología y análisis de circuitos elementales Montaje de circuitos sencillos. Electrónica digital. Sistemas de numeración: binario y hexadecimal.	1. Analizar y describir el funcionamiento y la aplicación de un circuito electrónico y sus componentes elementales. 3. Experimentar con el montaje de circuitos elementales y aplicarlos en el proceso tecnológico. 7. Montar circuitos sencillos.	1.1. Describe el funcionamiento de un circuito electrónico formado por componentes elementales. 1.2. Explica las características y funciones de componentes básicos: resistor, condensador, diodo y transistor. 3.1. Realiza el montaje de circuitos electrónicos básicos diseñados previamente. 7.1. Monta circuitos sencillos.

Tabla 7. Cultura científica 4º ESO

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 1. Procedimientos de trabajo		
Características de la investigación científica. El método científico. Las habilidades y actitudes científicas. Búsqueda y selección de información. Fuentes de Información. La utilización de las tecnologías de la Información y la comunicación en el trabajo científico. Presentación de conclusiones de forma oral y en diversos soportes. Implicaciones de la ciencia en la sociedad. Descubrimientos significativos que han contribuido al progreso de la ciencia a lo largo de la historia. Principales descubrimientos	1. Obtener, seleccionar y valorar informaciones relacionadas con temas científicos de la actualidad. 2. Valorar la importancia que tiene la investigación y el desarrollo tecnológico en la actividad cotidiana. 3. Comunicar conclusiones e ideas en distintos soportes a públicos diversos, utilizando eficazmente las tecnologías de la información y la comunicación para transmitir opiniones propias argumentadas.	1.1. Analiza un texto científico, valorando de forma crítica su contenido. 2.1. Presenta información sobre un tema tras realizar una búsqueda guiada de fuentes de contenido científico, utilizando tanto los soportes tradicionales como Internet. 2.2. Analiza el papel que la investigación científica tiene como motor de nuestra sociedad y su importancia a lo largo de la historia. 3.1. Comenta artículos científicos divulgativos realizando valoraciones críticas y análisis de las consecuencias sociales de los textos

científicos que afectan a nuestra vida diaria. Valoración crítica de las consecuencias de los descubrimientos científicos.		analizados y defiende en público sus conclusiones.
---	--	--

Tabla 8. Cultura científica 1º BACHILLERATO

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 1. Procedimientos de trabajo		
Características del método científico: distinción entre ciencia, mito, filosofía y religión. Ciencia y tecnología. Las TIC y las fuentes de información científica. La divulgación de la ciencia.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtener, seleccionar y valorar informaciones relacionadas con la ciencia y la tecnología a partir de distintas fuentes de información. 2. Valorar la importancia que tiene la investigación y el desarrollo tecnológico en la actividad cotidiana. 3. Comunicar conclusiones e ideas en soportes públicos diversos, utilizando eficazmente las tecnologías de la información y comunicación para transmitir opiniones propias argumentadas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1. Analiza un texto científico o una fuente científico-gráfica, valorando de forma crítica, tanto su rigor y fiabilidad, como su contenido. 1.2. Busca, analiza, selecciona, contrasta, redacta y presenta información sobre un tema relacionado con la ciencia y la tecnología, utilizando tanto los soportes tradicionales como Internet. 2.1. Analiza el papel que la investigación científica tiene como motor de nuestra sociedad y su importancia a lo largo de la historia.

3. ASPECTOS DOCENTES Y PEDAGÓGICOS

3.1.OBJETIVOS

A continuación se detallan los objetivos del proyecto propuesto

3.1.1. Objetivos conceptuales

- Conocer algunos fundamentos de la instrumentación con elementos electrónicos.
- Comprobar la ley de Ampère, observando cómo la corriente eléctrica que circula por una bobina genera un campo magnético.
- Observar el carácter vectorial del campo magnético.
- Observar la magnetización de un material ferromagnético al aplicarle un campo magnético externo.
- Observar el ciclo de histéresis en un material ferromagnético

3.1.2. Objetivos procedimentales

- Aprender a trabajar en equipo, distribuyendo responsabilidades y tareas.
- Aprender a montar y comprobar circuitos electrónicos, como un magnetómetro.
- Aprender a montar una experiencia sencilla.
- Conocer y entender las magnitudes físicas.
- Aprender a relacionar las medidas y el proceso experimental con los conceptos físicos en los que se basa.
- Aprender a medir: conocer las limitaciones del equipo, establecer las condiciones de contorno, recoger los resultados, representarlos y analizarlos.

3.1.3. Objetivos actitudinales

- Desarrollar la curiosidad científica, el rigor en el análisis y el espíritu crítico
- Aprender a trabajar en proyectos, en función de objetivos y en colaboración con los compañeros.
- Aprender a equivocarse. El error es parte inseparable del conocimiento científico y experimental y fuente de conocimiento.

3.2.CONTENIDOS

En un trabajo como éste, se trabajan muchos de los contenidos del currículo de la ESO y de Bachillerato, no sólo los de 2º de Bachillerato. De esta manera, es un proyecto que recopila e integra muchos de los conceptos aprendidos durante toda la etapa de Educación Secundaria y Bachillerato. Se recogen en este proyecto todos los conceptos aprendidos desde 2º de la ESO a 2º BACH en el Bloque del currículo de Física y Química correspondiente a la Actividad Científica, y se aplican al caso concreto del Magnetismo, en el Bloque 3 (interacción electromagnética) de la asignatura de Física de 2º Bachillerato.

- Medida de magnitudes. Unidades. Sistema Internacional de Unidades (S.I) (2 ESO, 3 ESO, 4 ESO, 1 BACH)
- Magnitudes escalares y vectoriales (4 ESO, 1 BACH)
- Magnitudes físicas. Magnitudes fundamentales y derivadas (1 BACH, 2 BACH)
- El proceso de medida (2 BACH)
- Características de los instrumentos de medida adecuados (2 BACH)
- Carácter aproximado de la medida (3 ESO, 4 ESO)
- Redondeo de resultados (3 ESO)
- Errores en la medida. Error absoluto y error relativo (4 ESO, 1 BACH, 2 BACH)
- Errores o incertidumbres (1 BACH, 2 BACH)
- Expresión de resultados (4 ESO, 1 BACH)
- La consistencia de los resultados (2 BACH)
- Las representaciones gráficas en Física y Química (1 BACH, 2 BACH)
- Análisis de los datos experimentales. Tablas y gráficas (4 ESO)
- Utilización de las Tecnologías de la información y la comunicación (2 ESO, 3 ESO, 4 ESO, 1 BACH)
- El informe científico(4 ESO)
- El trabajo en el laboratorio (2 ESO, 3 ESO)
- El informe científico. Análisis de datos organizados en tablas y gráficos (3 ESO)
- Proyecto de investigación (3 ESO, 4 ESO, 1 BACH)

- Relación entre electricidad y magnetismo. El electroimán (3 ESO)
- Construcción y resolución de circuitos eléctricos sencillos (3 ESO)
- El fenómeno del magnetismo y la experiencia de Oersted (2 BACH)
- Campo magnético. Líneas de campo magnético (2 BACH)
- Ley de Ampère: Campo magnético creado por un conductor indefinido, por una espira circular y por un solenoide (2 BACH)
- Diferencia entre los campos eléctrico y magnético (2 BACH)
- Inducción electromagnética (2 BACH)
- Flujo magnético (2 BACH)

3.3.COMPETENCIAS

A continuación se detallan las distintas competencias que se van a desarrollar en el proyecto [4, 5].

3.3.1. Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología

- Comprender las mediciones, los cálculos, las magnitudes, las unidades, los indicadores, el tamaño relativo y las tendencias y patrones numéricos.
- Comprender los tipos fundamentales de cambio y cuándo tienen lugar, con el fin de utilizar modelos matemáticos adecuados para describirlo y predecirlo.
- Reconocimiento de la variación en los procesos, la cuantificación de esa variación, la admisión de incertidumbre y error en las mediciones.
- Elaboración, interpretación y valoración de las conclusiones extraídas en situaciones donde la incertidumbre y los datos son fundamentales.
- Utilización de datos y procesos científicos para alcanzar un objetivo; es decir, identificar preguntas, resolver problemas, llegar a una conclusión o tomar decisiones basadas en pruebas y argumentos.
- Desarrollo de actitudes y valores relacionados con la asunción de criterios éticos asociados a la ciencia y a la tecnología, el interés por la ciencia, el apoyo a la investigación científica y la valoración del conocimiento científico.

- Interpretar datos y pruebas científicas. Elaborar conclusiones y comunicarlas en distintos formatos de forma correcta, organizada y coherente.
- Uso correcto del lenguaje científico para transmitir adecuadamente los conocimientos, hallazgos: expresión numérica, manejo de unidades, indicación de operaciones, toma de datos, elaboración de tablas y gráficos e interpretación de los mismos.

3.3.2. Competencia digital

- Conocer, utilizar y programar elementos de hardware, como un microprocesador.
- Utilizar las tecnologías de la información y la comunicación para comunicarse, recabar información, retroalimentarla, simular y visualizar situaciones, obtener y tratar datos.
- Saber cómo los contenidos digitales pueden realizarse en diversos formatos (texto, audio, vídeo, imágenes) así como identificar los programas/aplicaciones que mejor se adaptan al tipo de contenido que se quiere crear.

3.3.3. Competencia social y ciudadana

- Capacidad de comunicarse de una manera constructiva, mostrar tolerancia, expresar y comprender puntos de vista diferentes, negociar sabiendo inspirar confianza y sentir empatía.
- Capacidad de gestionar un comportamiento de respeto a las diferencias expresado de manera constructiva.

3.3.4. Competencia lingüística

- Aplicar las formas específicas que tiene el trabajo científico para buscar, recoger, seleccionar, procesar y presentar la información.
- Desarrollar destrezas y estrategias comunicativas para la lectura, la escritura, el habla, la escucha y la conversación en el ámbito científico.

3.3.5. Aprender a aprender

- Potenciar las estrategias de planificación (pensar antes de actuar), supervisión (analizar el curso y el ajuste del proceso) y evaluación del resultado y del proceso (consolidar la aplicación de buenos planes o modificar los que resultan incorrectos) en los procesos de aprendizaje y de resolución de problemas.
- Averiguar qué es lo que hacen los demás en situaciones de trabajo cooperativo.

3.3.6. Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor

- Capacidad creadora y de innovación: creatividad e imaginación; autoconocimiento y autoestima; autonomía e independencia; interés y esfuerzo; espíritu emprendedor; iniciativa e innovación.
- Capacidad pro-activa para gestionar proyectos: capacidad de análisis; planificación, organización, gestión y toma de decisiones; resolución de problemas; habilidad para trabajar tanto individualmente como de manera colaborativa dentro de un equipo; sentido de la responsabilidad; evaluación y auto-evaluación.
- Cualidades de trabajo individual y en equipo: capacidad de liderazgo y delegación; capacidad para trabajar individualmente y en equipo; capacidad de representación y negociación.
- Sentido crítico y de la responsabilidad: sentido y pensamiento crítico; sentido de la responsabilidad.

3.4.ACTIVIDADES

El proyecto se va a desarrollar durante un trimestre. Como la parte de campos magnéticos se ve en el Bloque 3 de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato, el segundo trimestre es el más apropiado para realizar el trabajo. El proyecto se puede realizar en 9 sesiones de 50 minutos. La asignatura de Físicas de 2º de Bachillerato está muy cargada de contenidos, por lo que este proyecto condensaría toda la parte de laboratorio de la asignatura. En lugar de distribuir las 9 sesiones a lo largo de todo el

curso, se realizarían utilizando un día a la semana durante el segundo semestre. Se podría completar la parte práctica de la asignatura con algún experimento de cátedra.

El desarrollo detallado de las actividades se hace en el apartado 4.

3.4.1. Actividad 1. Planteamiento del proyecto. Creación de grupos

3.4.1.1. Desarrollo

El profesor explicará a los alumnos en qué consistirá el proyecto. Contará cuál es el objetivo final (medir y entender el ciclo de histéresis de al menos un material ferromagnético) y los pasos que se van a seguir para conseguirlo. Como se ha comentado antes, se van a utilizar las mediciones de materiales magnéticos para trabajar un proyecto con los alumnos. Además de los pasos a seguir, pondrá especial dedicación en explicar dos puntos:

- La actividad que se va a realizar es un proyecto. No es una práctica ni un conjunto de ellas. Por lo tanto, dedicará parte de la sesión a explicar el método de trabajo por proyectos.
- Será un trabajo en grupo. En general, los alumnos no saben cómo se organiza un grupo de trabajo. Otra parte de la sesión estará dedicada a explicar cómo funciona un grupo de trabajo, cómo se estructura, y los roles de cada uno de los miembros del grupo.

A continuación se organizarán los grupos, formados por tres alumnos cada uno. Es preferible, si el profesor los conoce bien, que sea él el que decida la composición de cada grupo, en función de las características de los alumnos.

3.4.1.2. Duración

Una sesión de 50 minutos. Se trabajará en el aula.

3.4.1.3. Recursos

Pizarra, ordenador, proyector, presentación.

3.4.2. Actividad 2. Fabricación del magnetómetro

3.4.2.1. Desarrollo

En el laboratorio de física, o en el de tecnología. Cada uno de los grupos procederá a la construcción del magnetómetro de acuerdo con el esquema proporcionado por el profesor. Una vez construido, se descargará el programa de control en la placa Arduino.

3.4.2.2. Duración

Dos sesiones de 50 minutos. Se trabajará en el laboratorio.

3.4.2.3. Recursos

Placa Arduino Nano o compatible, pantalla LED 16 x 2, potenciómetro, sonda HMC5883L, pulsador, cable, soldador, estaño, protoboard, cable de conexión doble USB, ordenador, polímetro.

3.4.3. Actividad 3. Fabricación de la bobina. Realización de las mediciones.

3.4.3.1. Desarrollo

Se fabricará la bobina que inducirá el campo magnético. Se realizarán las mediciones del ciclo de histéresis en distintos materiales de acuerdo con el esquema de la práctica que suministra el profesor.

3.4.3.2. Duración

Dos sesiones de 50 minutos. Se trabajará en el laboratorio.

3.4.3.3. Recursos

Magnetómetro, hilo de cobre, tubo de vidrio, materiales ferromagnéticos (clip, alambre para colgar cuadros, aguja), polímetro, fuente de alimentación.

3.4.4. Actividad 4. Análisis y representación de los resultados. Elaboración del informe.

3.4.4.1. Desarrollo

Cada uno de los grupos analizará los resultados obtenidos y elaborará un informe del proyecto realizado. El informe se ajustará al formato de los textos científicos, debiendo presentar el presente esquema:

- Objetivos
- Antecedentes
- Métodos experimentales y materiales
- Resultados
- Discusión y conclusiones
- Bibliografía

A la vez, preparará una presentación en formato PowerPoint o similar, de acuerdo con el esquema descrito en la actividad 5.

3.4.4.2. Duración

Tres sesiones de 50 minutos. Se trabajará en el aula, aunque el laboratorio estará disponible por si a la luz del análisis de los resultados los alumnos consideran necesario repetir o realizar más pruebas.

3.4.4.3. Recursos

Ordenadores con conexión a internet.

3.4.5. Actividad 5. Presentación de resultados.

3.4.5.1. Desarrollo

Cada grupo presentará el trabajo realizado. La parte común, realizada por todos los grupos (fabricación del magnetómetro, realización de las mediciones), quedará fuera de la presentación, para evitar repetir lo mismo varias veces. El esquema de la presentación se ceñirá al siguiente esquema:

- Qué problemas nos hemos encontrado al realizar la práctica y cómo los hemos solucionado.
- ¿Se nos ha ocurrido alguna otra medición que no venía en el guión de la práctica? (podría ser, por ejemplo, realizar dos tandas de mediciones sobre el mismo material cambiando la distancia del sensor). ¿Qué información nos ha aportado?
- Análisis de los resultados y conclusiones.

3.4.5.2. Duración

En función del número de grupos. Las sesiones necesarias para que cada grupo tenga 10 minutos de exposición.

3.4.5.3. Recursos

Ordenador, proyector, pantalla.

3.5.METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo se utilizarán los siguientes métodos:

- Exposiciones en aula, utilizando pizarra, proyector, presentaciones etc. Se realizará una exposición al principio del proyecto.
- Experiencias prácticas. En este trabajo es fundamental que los alumnos se acostumbren a trabajar en el laboratorio de forma independiente, aunque tutelada por el profesor. Deben poder equivocarse para aprender de sus errores.
- Trabajo en grupo. De nuevo, es necesaria la vigilancia del profesor para que los grupos funcionen como tales, donde todos los elementos sumen, cada uno con su rol. El realizar todas las tareas en el centro, incluso la elaboración de los informes, permitirá al profesor un mayor control, evitando que haya grupos con alumnos que no hacen nada.
- Trabajo enfocado por proyectos. En este caso es fundamental, no tanto el resultado final, sino el itinerario y la metodología. Para ello es, de nuevo, fundamental, la tutela continua por parte del profesor.

3.6.EVALUACIÓN

3.6.1. Criterios de evaluación

A continuación se detallan los criterios de evaluación de este proyecto, de acuerdo con el currículo de la asignatura de Física de 2º Bachillerato:

- Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica
- Conocer, utilizar y aplicar las Tecnologías de la Información y la Comunicación en el estudio de los fenómenos físicos
- Comprender y comprobar que las corrientes eléctricas generan campos magnéticos.
- Describir el campo magnético originado por una corriente rectilínea, por una espira de corriente o por un solenoide en un punto determinado.
- Conocer que el amperio es una unidad fundamental del Sistema Internacional y asociarla a la fuerza eléctrica entre dos conductores.
- Valorar la ley de Ampère como método de cálculo de campos magnéticos.
- Relacionar las variaciones del flujo magnético con la creación de corrientes eléctricas y determinar el sentido de las mismas.

3.6.2. Instrumentos de evaluación. Aspectos que se evalúan

En este proyecto se evaluarán los siguientes aspectos:

- Capacidad de recopilar información, tanto de trabajo propio como de fuentes externas y su exposición de forma coherente.
- Capacidad de trabajo en el laboratorio de forma ordenada y sistemática, cumpliendo las normas.
- Capacidad de análisis de resultados, comprendiendo los fenómenos físicos, así como las características de los instrumentos de medida.
- Capacidad de resolución de problemas.
- Nivel de éxito del proyecto: el magnetómetro funciona, las medidas son correctas, las gráficas con los resultados son representativas, etc.
- Cooperación y participación activa con los compañeros en el grupo de trabajo
- Elaboración del informe final conforme al método científico

- Redacción y ortografía en la elaboración del informe

3.6.3. Contenidos mínimos

Los contenidos mínimos que se deberán adquirir en este proyecto son:

3.6.3.1. Comunes

- Presentación y resolución adecuadas del informe del proyecto.

3.6.3.2. Contenidos mínimos correspondientes a este proyecto

- Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica.
- Conocer, utilizar y aplicar las Tecnologías de la Información y la Comunicación en el estudio de los fenómenos físicos.
- Comprender y comprobar que las corrientes eléctricas generan campos magnéticos.
- Describir el campo magnético originado por una corriente rectilínea, por una espira de corriente o por un solenoide en un punto determinado.
- Relacionar las variaciones del flujo magnético con la creación de corrientes eléctricas y determinar el sentido de las mismas.

3.7. ATENCIÓN A LA DIVERSIDAD

El trabajo por proyectos es una magnífica herramienta para poder atender a la diversidad, ya que, con una correcta tutela por parte del profesor:

- Permite adaptar la actividad a las capacidades de cada alumno
- Permite establecer un ambiente colaborativo entre alumnos con distintas capacidades dentro de un mismo grupo de trabajo. En este proyecto son necesarias (e imprescindibles) tareas intelectuales, pero también destreza manual (en el montaje de los instrumentos) o tesón para trabajos mecánicos y continuados (realización de las medidas).

3.8. AUTOEVALUACIÓN

Para evaluar el resultado del proyecto se utilizarán los siguientes criterios:

- Las actividades se han ajustado al cronograma previsto

- La mayoría (>75%) de los alumnos son capaces de entender el trabajo realizado.
- La mayoría (>75%) de los alumnos participan en los trabajos en grupo
- La mayoría (>75%) de los grupos de trabajo se organizan y funcionan de acuerdo con las normas establecidas
- La mayoría (>75%) de los informes de los proyectos de investigación se realizan de acuerdo con los requisitos de la actividad científica.
- Una parte (>25%) de los alumnos son capaces de sacar conclusiones más allá de las solicitadas en el trabajo.
- La mayoría (>75%) de las exposiciones se realizan de forma clara y coherente.

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1.FUNDAMENTO TEÓRICO

El fundamento teórico conceptual de esta experiencia [6] se escapa ligeramente a los contenidos del Física de 2º de Bachillerato, ya que en éstos no se incluye el ferromagnetismo ni el fenómeno de histéresis en materiales ferromagnéticos. Sin embargo, es un efecto relativamente fácil de medir, y que de forma cualitativa puede ayudar a comprender el fenómeno de la magnetización de los materiales. Además, el magnetismo, los imanes son un elemento común y básico en nuestra civilización (desde la brújula hasta los motores eléctricos, o los discos duros). Los estudiantes los usan continuamente, y se va a tratar de que entiendan algo de su funcionamiento.

Partimos de un solenoide. Un solenoide es un hilo conductor enrollado formando espiras, una bobina. Al hacer pasar una corriente eléctrica generamos un campo magnético, que en el interior del solenoide es prácticamente paralelo a su eje, y de sentido el de avance de un sacacorchos que gire en la dirección de la corriente eléctrica. La forma del campo magnético creado por el solenoide será prácticamente idéntica a la de un imán de la misma forma y tamaño que el solenoide.

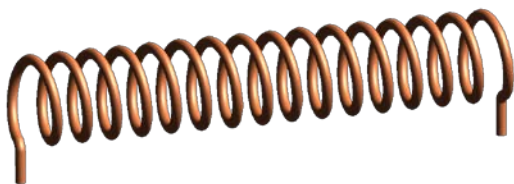


Figura 1. Solenoide

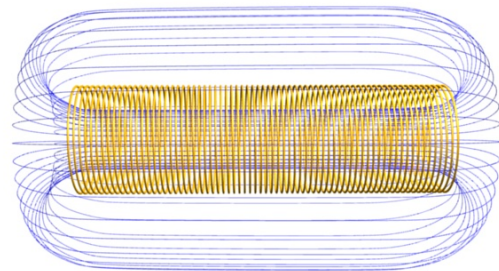


Figura 2. Campo magnético creado por un solenoide

Los materiales ferromagnéticos pueden magnetizarse. Los dipolos magnéticos del interior del material son los responsables de este fenómeno. Los dipolos magnéticos se alinean unos con otros en pequeños grupos; estas regiones microscópicas donde los dipolos magnéticos están alineados se llaman dominios magnéticos. Cuando el material no está magnetizado, la dirección de los dominios magnéticos está distribuida al azar, por lo que el campo magnético neto es nulo. Al aplicar un campo magnético

exterior, los dominios magnéticos empiezan a orientarse en la dirección del campo aplicado, de manera que se produce un campo magnético neto. Además, el grado de alineación es elevado incluso para campos pequeños, por lo que en muchas ocasiones el campo magnético creado por los dipolos es mucho mayor que el campo magnético externo.

¿Qué sucede entonces cuando introducimos un material ferromagnético en un solenoide por el que pasa una corriente eléctrica? Vamos a tener dos campos magnéticos: El campo magnético creado por el solenoide, al que llamamos $\mu_0\mathbf{H}$, y el campo magnético creado por los dipolos del material, $\mu_0\mathbf{M}$. Como los dipolos magnéticos se orientan en la dirección del campo exterior, \mathbf{H} y \mathbf{M} tienen la misma dirección. De esta manera, el campo magnético total, \mathbf{B} (medido en Tesla), es:

$$\mathbf{B} = \mu_0\mathbf{H} + \mu_0\mathbf{M}$$

Donde μ_0 es la permeabilidad magnética en el vacío, y su valor es $\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}\text{T}\cdot\text{m/A}$

\mathbf{H} y \mathbf{M} se miden en A/m.

A partir de la ley de Ampère se puede sacar que $\mathbf{H}=\mathbf{n}\cdot\mathbf{I}$ (\mathbf{I} =intensidad de corriente que circula por el solenoide, medido en Amperios; \mathbf{n} =número de espiras por unidad de longitud, medido en m^{-1}).

Como los campos están todos en la misma dirección, podemos escribir la fórmula en forma escalar:

$$B = \mu_0nI + \mu_0M$$

De esta manera, midiendo la intensidad que circula por el solenoide, conocemos cuál es el campo magnético externo aplicado sobre el material.

Por lo tanto, al aumentar la intensidad de la corriente que circula por el solenoide, aumentamos el campo magnético aplicado sobre el material ferromagnético. Los dominios magnéticos se orientan cada vez más en la dirección del campo magnético aplicado, aumentando la magnetización del material. La magnetización aumenta hasta un punto en el que ya no aumenta más, por mucho que aumentemos el campo. Es el punto que se conoce como valor de saturación (M_s). Si a continuación reducimos la intensidad (o el campo magnético aplicado) de forma gradual, los valores de

magnetización no siguen la misma curva que al aumentar la intensidad. Estos valores son mayores, y al llegar a intensidad 0 el valor de la magnetización no es nulo: El valor de la magnetización cuando el campo aplicado es nulo se llama campo magnético remanente (M_R).

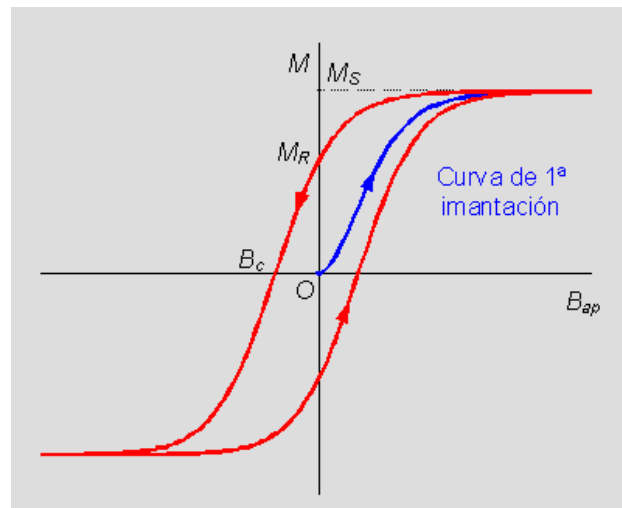


Figura 3. Curva de histéresis

(Fuente: <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Archivo:Ciclo-histeresis.gif>)

Para anular la magnetización remanente hay que aplicar un campo magnético en sentido contrario. El campo magnético que hace que la magnetización sea 0 se denomina campo coercitivo. Si aumentamos los valores negativos observaremos el mismo fenómeno de saturación, pero en sentido opuesto. Este comportamiento de la magnetización de los materiales ferromagnéticos frente a un campo magnético externo se conoce como histéresis. Esta característica de algunos materiales de conservar alguna de sus propiedades cuando se elimina aquello que la ha causado se observa también en comportamientos eléctricos, mecánicos, de cambios de fase, etc.

Los materiales con un campo coercitivo bajo se conocen como materiales magnéticos blandos, y los de valores de campo coercitivo elevados son los materiales magnéticos duros, y son los que se usan como imanes permanentes.

Otro aspecto importante es la memoria de los materiales ferromagnéticos. En función del sentido del campo magnético que posean somos capaces de conocer a qué campo habían estado sometidos. Si yo quiero que un material ferromagnético se quede magnetizado positivamente no tengo más que aplicarle un campo magnético positivo suficientemente grande. Y al revés si quiero que el campo magnético sea negativo.

Luego en dispositivos ferromagnéticos puedo grabar información en forma de positivo o negativo, o dicho de otra manera, en forma de unos y ceros. Esto son los bits de información que utilizamos en los dispositivos magnéticos de almacenamiento, como son los discos duros, por ejemplo.

4.2.CONSTRUCCIÓN DEL MAGNETÓMETRO

La construcción del magnetómetro se realizará de acuerdo a como está descrito en un trabajo de Fin de Máster anterior [7]. En su anexo I se describe en detalle todo el procedimiento.

La única diferencia del presente trabajo con el de referencia es que las conexiones se realizaron soldando directamente a una placa, mientras que en la referencia se realizó sobre una protoboard. Como en este caso el magnetómetro lo van a realizar los alumnos, se recomienda reducir las soldaduras al mínimo y utilizar la placa protoboard. Esto permitirá corregir de forma mucho más sencilla posibles errores de conexión, que puede ser el fallo más habitual en esta parte del proyecto.

Para la construcción del magnetómetro se necesita lo siguiente:

- Placa Arduino nano
- Potenciómetro multivuelta de 1k
- Display LCD de dos filas y 16 columnas
- Sensor Honeywell HMC5883L
- Pulsador
- Placa, estaño y cables
- Soldador
- Tijeras pelacables
- Polímetro

A continuación se detalla la configuración del circuito del magnetómetro [8, 9, 10].

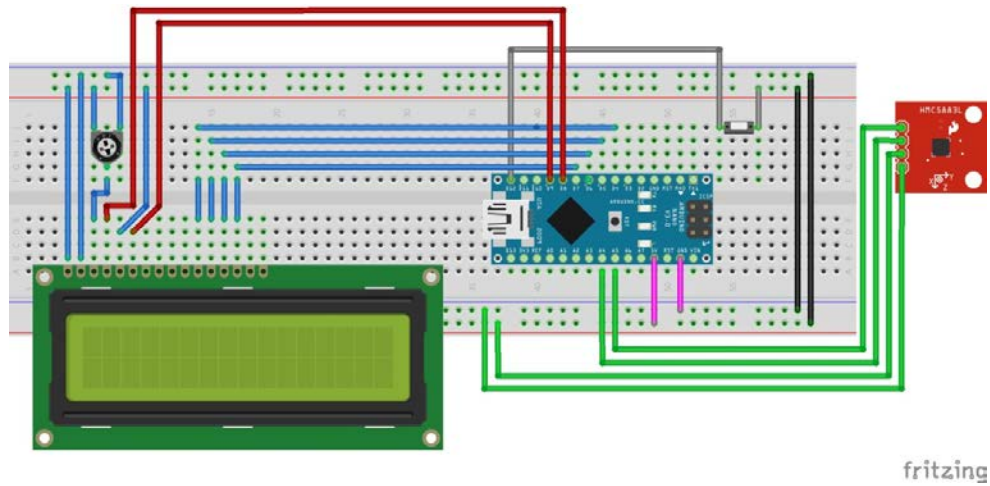


Figura 4. Diagrama de conexiones del magnetómetro en protoboard

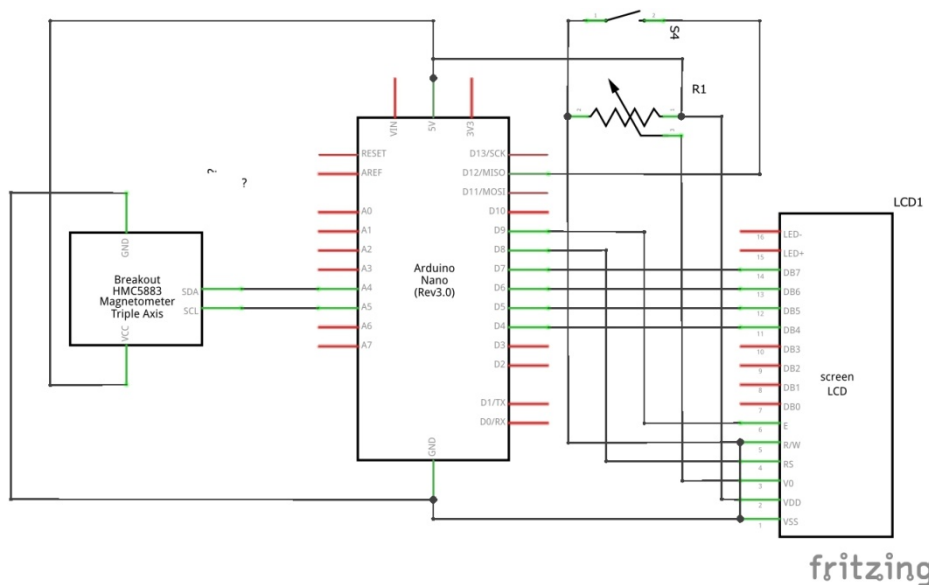


Figura 5. Diagrama esquemático de conexiones del magnetómetro

A continuación, se detallan las conexiones para cada uno de los componentes:

Pantalla LCD:

- Pin 1: GND Arduino Nano
- Pin 2: 5 V Arduino Nano
- Pin 3: Pin R Potenciómetro
- Pin 4: D8 Arduino Nano

Pin 5:	GND Arduino Nano
Pin 6:	D9 Arduino Nano
Pin 7 – Pin 10:	Sin conexión
Pin 11:	D4 Arduino Nano
Pin 12:	D5 Arduino Nano
Pin 13:	D6 Arduino Nano
Pin 14:	D7 Arduino Nano
Pin 15:	5 V Arduino Nano
Pin 16:	GND Arduino Nano

Los pines 15 y 16 son la alimentación de la retroiluminación de la pantalla LCD, por lo que sólo estarán presentes en pantallas con retroiluminación.

Potenciómetro (en el trabajo se utilizó un potenciómetro de 1 k Ω , aunque se pueden usar de hasta 10 k Ω)

Pin 1:	5 V Arduino Nano
Pin 2:	GND Arduino Nano
Pin R:	Pin 3 Pantalla LED

Sensor HMC5883L:

Pin VCC:	5 V Arduino Nano
Pin GND:	GND Arduino Nano
Pin SCL:	A5 Arduino Nano
Pin SDA:	A4 Arduino Nano

Pulsador:

Pin 1:	GND Arduino Nano
Pin 2:	D12 Arduino Nano

El circuito que se ha construido es la base del magnetómetro. El sensor HMC5883L es magnetómetro de 3 ejes, con el que podemos medir el campo magnético en los tres ejes; x, y, z. Nosotros utilizaremos el valor en y para medir el campo magnético inducido en el material ferromagnético. El potenciómetro permite regular la iluminación de la pantalla LED, y el pulsador nos permitirá poner a 0 las medidas del magnetómetro, para eliminar efectos de otros campos magnéticos en el momento de la medida (entre otros, el campo magnético terrestre). La placa Arduino será el elemento de hardware que gestione todas las operaciones.

Las siguientes figuras muestran como queda el magnetómetro una vez realizadas todas las conexiones. Como se ha comentado, en este caso se soldaron todos los componentes a la placa[11].

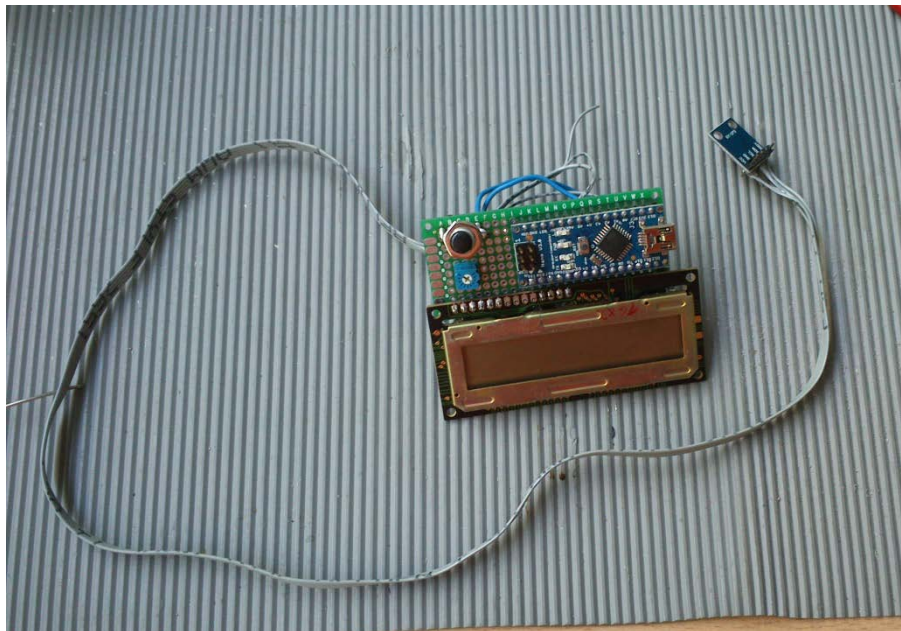


Figura 6. Imagen frontal del magnetómetro

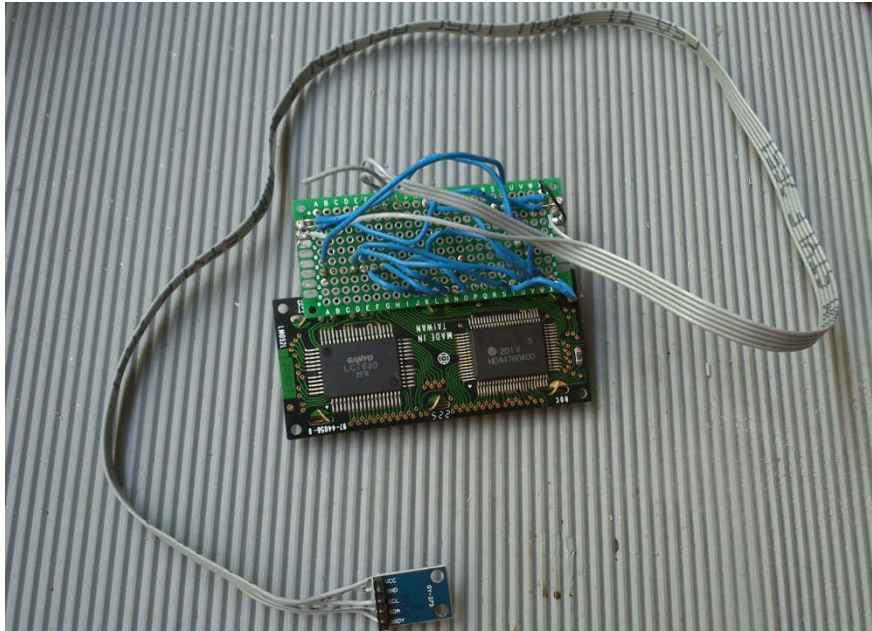


Figura 7. Vista trasera del magnetómetro, mostrando las conexiones

Como se ha comentado, la única dificultad que existe en el montaje del magnetómetro es la realización correcta de las conexiones. Por esta razón se recomienda utilizar la placa protoboard, que permite realizar conexiones sin necesidad de soldadura. De esta manera es mucho más sencillo para los alumnos corregir posibles errores en las conexiones.

En todo caso, sí será necesario soldar el sensor HMC5883L. Si el centro educativo tiene soldador para electrónica, puede ser interesante que cada uno de los grupos suelde los cuatro terminales del sensor a los cables, ya que es una buena práctica para adquirir destreza en el montaje de circuitos electrónicos.

Se adjunta en el apartado de referencias una lista de páginas web que pueden servir de ayuda al profesor en el diseño del experimento.

Es muy sencillo verificar que el equipo está bien montado antes de proceder a su programación. Para eso no hay más que utilizar un polímetro y, una vez montado, verificar que existe continuidad entre cada par de pines conectado, y que no existe (es decir, no hay cortocircuito), entre pines que no deben ser conectados.

4.3.PROGRAMACIÓN DEL MAGNETÓMETRO

Esta actividad permitirá visualizar de forma clara a los alumnos la diferencia entre hardware y software. El magnetómetro está construido, sin embargo, al no estar programado no puede medir. Para que el equipo funcione necesita:

- El programa (software) que gestione las mediciones
- Una fuente de alimentación

Para ello, utilizaremos el programa Arduino [12, 13], programa de libre distribución siempre que se haga referencia a los autores. En este trabajo se utilizó la versión Arduino 1.8.2. El software se carga desde un ordenador, por lo que es necesario tener instalado el programa en los ordenadores del laboratorio.

La librería (el proyecto según la denominación Arduino) que controlará el magnetómetro es el *Magnet 3*. Este proyecto es el mismo que el *M1* utilizado en el manual de referencia, con alguna pequeña variación para adecuarlo al presente trabajo.

Puede ser interesante que los alumnos carguen en el microprocesador Arduino otros proyectos incluidos en el software, de manera que comprueben como distintos programas (distinto software) hace que un mismo hardware funcione de manera diferente. Por ejemplo, el proyecto *Hello, World* [12] sólo actúa sobre la pantalla LCD, ignorando el magnetómetro.

El magnetómetro se conecta con el ordenador a través de un puerto miniUSB, que se utiliza para la transmisión y carga del programa, y para el suministro de los 5V de alimentación. Una vez cargado el programa, se activa la pantalla LED, que mostrará el valor del campo magnético (en μTesla) en los ejes x, y, z, así como la orientación del norte magnético.

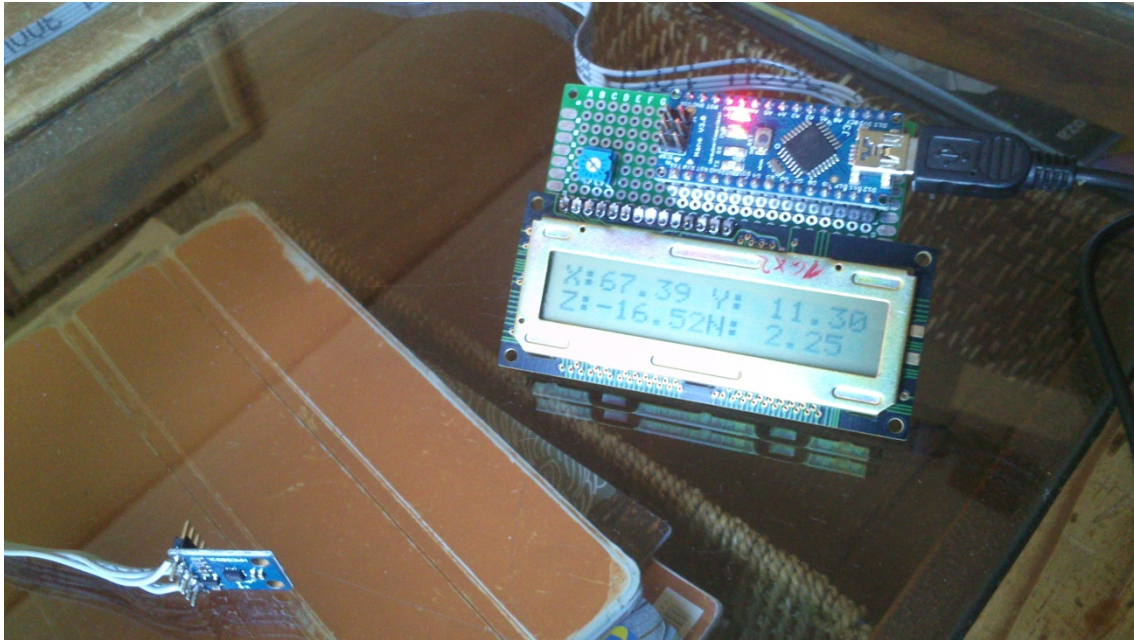


Figura 8. Magnetómetro en funcionamiento

Los alumnos deben ser capaces, de forma más o menos guiada, de instalar el programa de control en el magnetómetro. En esta actividad es importante que los alumnos entiendan los siguientes conceptos:

- Diferencia entre hardware y software. Un mismo hardware con distinto software funciona de manera diferente.
- En este caso, el software se descarga en la placa Arduino. Una vez descargado, sólo necesitamos alimentar el magnetómetro para que el equipo funcione.
- Los valores que se muestran en los ejes x, y, z, es valor del campo magnético en μTesla . Es interesante que los alumnos se hagan una idea del orden de magnitud de las unidades en el Sistema Internacional.
- Los resultados de la medida del magnetómetro no son cero. Eso quiere decir que está midiendo un campo magnético. Evidentemente, el magnetómetro tiene precisión para medir el campo magnético terrestre (por eso se puede utilizar como brújula).

En el Anexo II se incluye el programa Magnet3, como las librerías de apoyo I2Cdev y HMC5883L. Durante la realización del presente trabajo los enlaces oficiales a las librerías de apoyo I2Cdev y HMC5883L no funcionaban, por lo que se han incluido junto con el programa en la siguiente dirección:

<https://app.box.com/s/occhte3dmfatuxetptcyjdg2rgr6scwl>

4.4.FABRICACIÓN DE LA BOBINA ELÉCTRICA Y MEDICIÓN DEL CICLO DE HISTÉRESIS DE MATERIALES FERROMAGNÉTICOS.

La fabricación de la bobina eléctrica es una tarea sencilla, aunque requiere paciencia.

Para ello es necesario:

- Hilo de cobre de 0,2 mm de diámetro
- Tubo hueco de vidrio de 2 mm de diámetro y de 6 a 7 cm de largo
- Cinta de teflón

El resultado es una bobina con 5 espiras/mm. Es conveniente recubrir los extremos de la bobina con cinta de teflón para evitar que se suelte el bobinado. El profesor advertirá a los alumnos de que tomen las debidas precauciones al manejar el tubo de vidrio (simplemente recordarles que están utilizando vidrio, ya que su manipulación no es más arriesgada que la de un tubo de ensayo, por ejemplo).



Figura 9. Bobina eléctrica

Es recomendable que los alumnos fabriquen más de una bobina, ya que un exceso de intensidad en el ensayo, puede sobrecalentarla y quemarla. Una vez fabricada la bobina, se puede comenzar el experimento. Para ello se necesita:

- Magnetómetro
- Bobina
- Fuente de alimentación
- Amperímetro

- Material ferromagnético, en forma de alambre y de diámetro no superior a 1,5 mm de diámetro (ya que tiene que pasar por el interior de la bobina). Para este trabajo se han utilizado cuatro materiales:
 - Clip estirado (acero, 1 mm diámetro): Acero 1
 - Termopar (aleación NiCr, 0,55 mm diámetro): Ni Cr
 - Alambre de sujetar cuadros (acero, 1,1 mm diámetro): Acero 2
 - Aguja de hacer calceta (acero, 1,25 mm diámetro): Acero 3

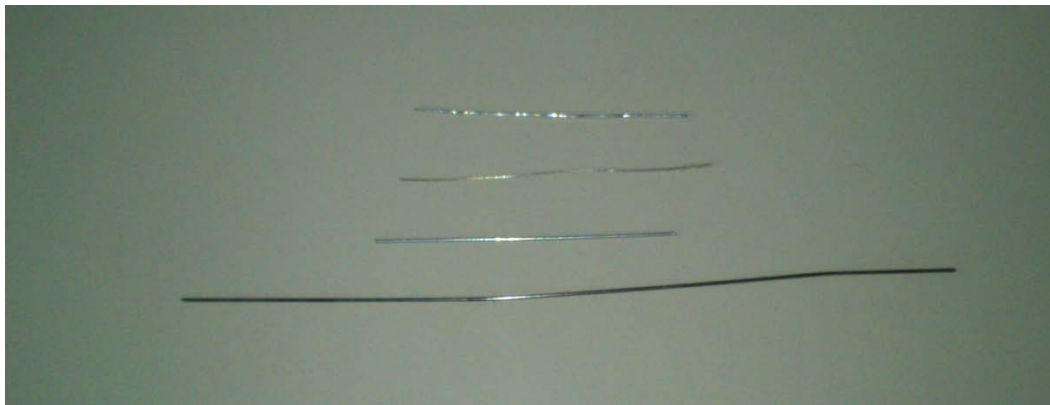


Figura 10. Materiales ferromagnéticos. De arriba abajo: clip, termopar, alambre para colgar cuadros, aguja de calceta

El experimento se basa en medir el campo magnético creado en el material ferromagnético que está dentro de una bobina por la que circula una corriente. Vamos a medir el campo magnético en el eje de la bobina, por lo que utilizaremos el eje y del magnetómetro. Por lo tanto, debemos colocar el sensor del magnetómetro de manera que el eje y esté en la misma dirección que la bobina (y los materiales ferromagnéticos).

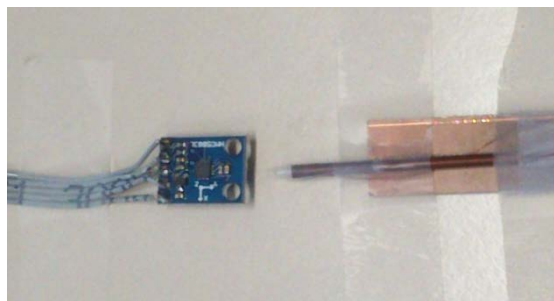


Figura 11. Colocación del sensor y la bobina

Para asegurarnos de que las mediciones son comparables, fijaremos con cinta a la mesa de trabajo tanto el sensor como la bobina.

La medición de la curva de histéresis se basa en aumentar el campo magnético aplicado de forma continua hasta tratar de alcanzar el valor de saturación, y reducirlo después hasta cero para hallar el valor de la magnetización remanente. Como sabemos que el campo magnético aplicado es directamente proporcional a la intensidad de corriente que circula por la bobina ($B_y = \mu_0 \cdot n \cdot I$), el efecto se va a ver también si dibujamos la gráfica del campo magnético inducido en el material en función de la corriente, que podemos medir de forma muy sencilla. No hay más que colocar un amperímetro en serie en el circuito que alimenta la bobina.

El circuito, por lo tanto es sencillo. Se conecta uno de los extremos de la bobina al polo positivo de la fuente de alimentación, y el otro extremo al polo negativo, con el amperímetro en serie. Aunque las fuentes de alimentación miden la intensidad suministrada, es mucho más fiable el amperímetro, que será el que utilizemos para controlar las mediciones. La siguiente figura muestra la disposición del ensayo, con el magnetómetro en disposición de medida.

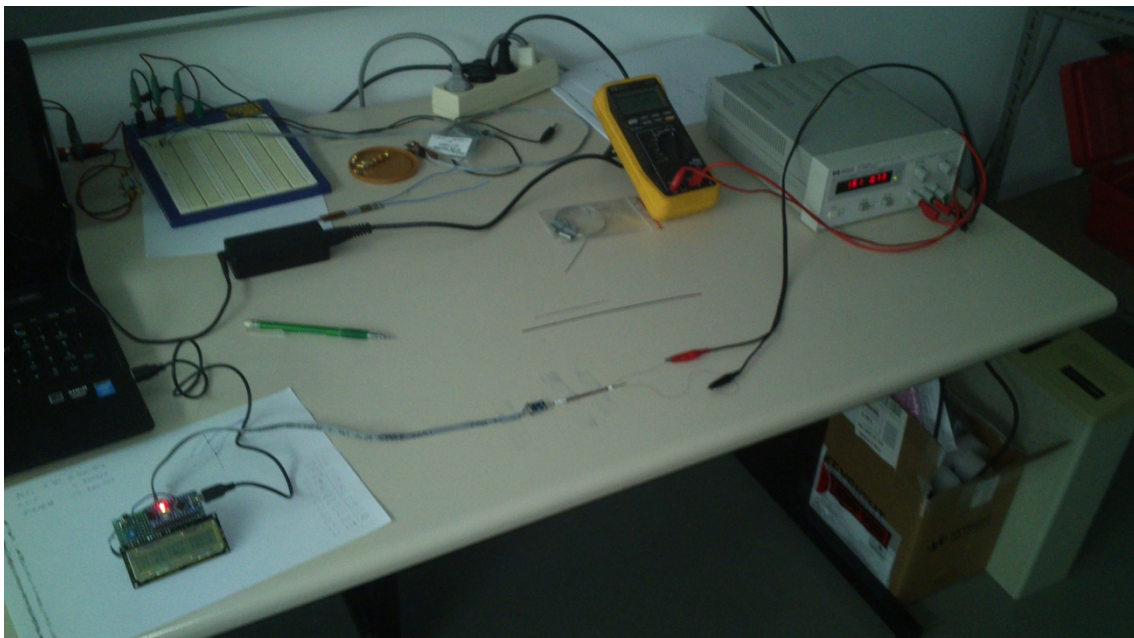


Figura 12. Disposición general del ensayo para la medición de la curva de histéresis

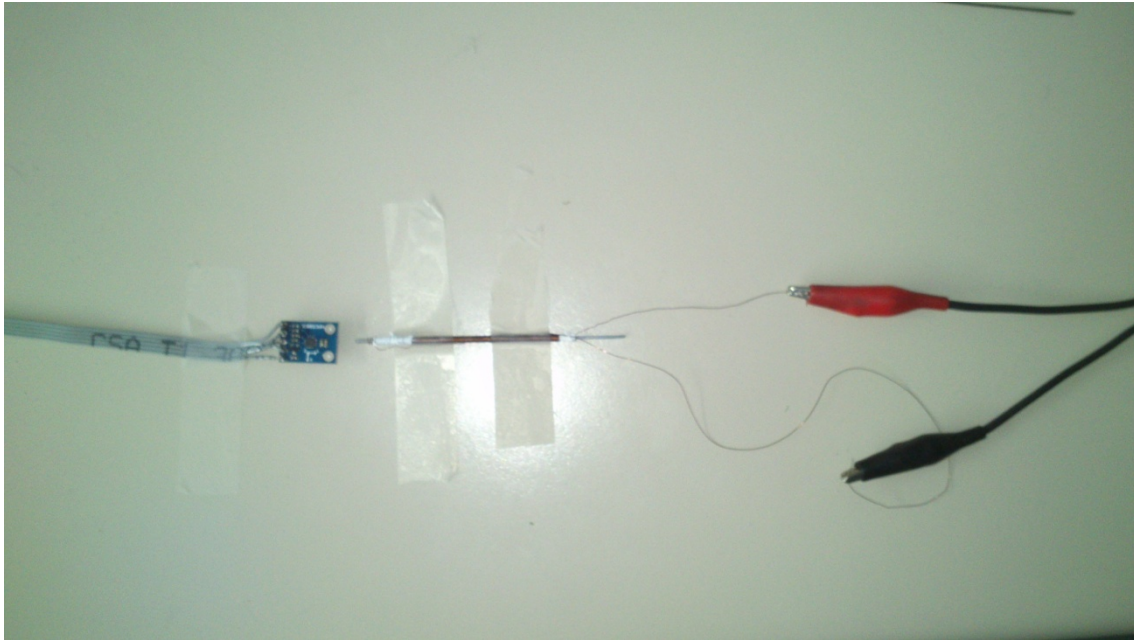


Figura 13. Detalle de la disposición de la bobina y el magnetómetro

Para realizar un ciclo completo de medidas se deben seguir los siguientes pasos, una vez el ensayo está preparado:

- Partimos de la fuente de alimentación con voltaje cero e intensidad cero. La fuente debe estar configurada para controlar el suministro de intensidad.
- Aumentamos el voltaje hasta 3-5 V. Subimos la intensidad paso a paso. En cada intervalo anotamos el valor de intensidad (en el amperímetro) y de campo magnético (en el valor del eje y de la pantalla led del magnetómetro).
- Subimos como máximo hasta 1 A, porque a partir de esta intensidad la bobina se calienta y puede estropearse.
- Cuando llegamos al valor máximo, descendemos de forma gradual hasta intensidad 0, anotando los valores de intensidad y campo magnético a cada paso.
- Cuando llegamos a intensidad 0, bajamos el voltaje a 0, cambiamos los conectores para invertir la corriente, aumentamos el voltaje a 3-5 voltios, y repetimos todo el proceso, ahora con intensidad negativa.
- Es conveniente realizar este ciclo un par de veces (sin anotar los valores) antes de empezar las mediciones.

4.4.1. Aspectos a tener en cuenta

Se acaba de describir una práctica de forma más o menos genérica. Es lo que podía considerarse un guión de la práctica. Sin embargo, hay muchas cosas que van a surgir a lo largo de la práctica, y que el profesor debe utilizar para que los alumnos vayan más allá de la realización de una serie de mediciones. Entre otras cosas, hay que prestar atención a lo siguiente:

- El sensor del magnetómetro mide en los tres ejes (x , y , z). Si se gira el magnetómetro los valores cambian. Esto no pasa en un termómetro: uno lo puede girar y el valor va a ser siempre el mismo. Es una pregunta que se puede hacer a los alumnos, para ver si son capaces de reconocer que el sensor les está diciendo que el campo magnético tiene carácter vectorial.
- Desde el punto de vista práctico, es fundamental pegar con cinta los elementos de medición (sensor y bobina). Es algo de lo que los alumnos se deberían de dar cuenta por sí mismos.
- Es una tentación conectar directamente el hilo de cobre a las pinzas, y toda una sorpresa observar que por ahí no pasa la corriente. Los hilos de cobre tienen una laca aislante, que hay que eliminar. Rascando ligeramente y estañando se logra suministrar intensidad a la bobina. Paradójicamente, acaban de fabricar una bobina, que si no fuese por esa laca aislante haría cortocircuito en la primera espira.
- Si se suministra una intensidad de más de 1 A a la bobina, se corre el riesgo de sobrecalentarla y dañarla. La única gravedad de esto es que hay que fabricar otra bobina. Si son los alumnos los que las tienen que fabricar, es una manera de que estén atentos a no dañar muchas.
- La distancia entre el sensor y la bobina es fundamental. Como el campo magnético disminuye con el espacio, si lo alejamos mucho, podemos no llegar a medir. Por el contrario, si lo acercamos mucho, podemos sobrepasar el rango de medición del sensor, que está calibrado para 800 μT . Además, se van a medir varios materiales, y una vez establecida la configuración del ensayo, no se puede modificar, para que los resultados sean comparables. Por lo tanto,

antes de decidir la posición final, se deben hacer pruebas preliminares con todos los materiales para asegurarnos de que:

- En todos los casos tenemos medidas significativas
- Las medidas de campo magnético no superan el rango del sensor

Otra prueba preliminar sería ver cuál es el valor máximo de intensidad para alcanzar la saturación en cada uno de los materiales. Sin embargo, es algo más complicado, y en el presente trabajo se ha observado que con los materiales y bobina definidos el valor de 1 A es suficiente para observar el fenómeno de histéresis, aunque el valor de saturación no se llega a alcanzar en los aceros.

- Parte de la experiencia consiste en la medición del campo magnético en el exterior del solenoide sin material ferromagnético en su interior. Se observa que el valor es muy bajo, casi despreciable, comparado con las mediciones realizadas con los aceros.
- El magnetómetro tiene un pulsador de puesta a cero. Sirve para eliminar cualquier otro campo magnético (fundamentalmente el terrestre) de la medida. Se debe pulsar una vez elegida la disposición final. En el trabajo realizado, sólo se pulsó esa vez (no entre medidas) y los resultados fueron muy satisfactorios.
- Los alumnos deben saber que la propia bobina genera un campo magnético (es contenido de su asignatura). Por lo tanto, en el ensayo están midiendo el valor de la magnetización y el del campo magnético de la bobina. Un ciclo de medidas sin ningún material permitirá conocer esos valores y eliminarlos después.
- Otro punto importante es cada cuánto realizar las mediciones. La curva de histéresis no es lineal, con lo que si se toman pocos puntos el resultado puede ser poco ilustrativo. Tomar muchos puntos mejora el resultado, pero puede hacer la práctica muy aburrida. Sin embargo, es bueno que sean ellos los que decidan cómo van a realizar las mediciones. En este trabajo se realizaron a intervalos de 0,1 A.

- El magnetómetro tiene una sensibilidad de $0,44 \mu\text{T}$. Esto quiere decir que los valores medidos no son continuos, saltan de $0,44$ en $0,44 \mu\text{T}$. Esto no tiene mucha importancia cuando lo que se mide son cientos de μT . Sin embargo, tanto en la medición sin material ferromagnético como en el NiCr sí que se van a observar estos saltos. Es muy importante que los alumnos observen y entiendan este fenómeno: cómo los instrumentos de medida condicionan la medición, y hay que saber cómo funcionan para poder interpretar los valores.

Como se puede ver, hay muchos puntos que hacen de este ensayo un proyecto muy interesante. En el anexo I se da una descripción de los pasos a seguir para realizar las mediciones, pero es decisión del profesor seleccionar qué información se aporta a los alumnos, de manera que les deje más o menos iniciativa en la realización del experimento.

4.5. ANÁLISIS Y REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se muestran las curvas de histéresis de cada uno de los materiales analizados:

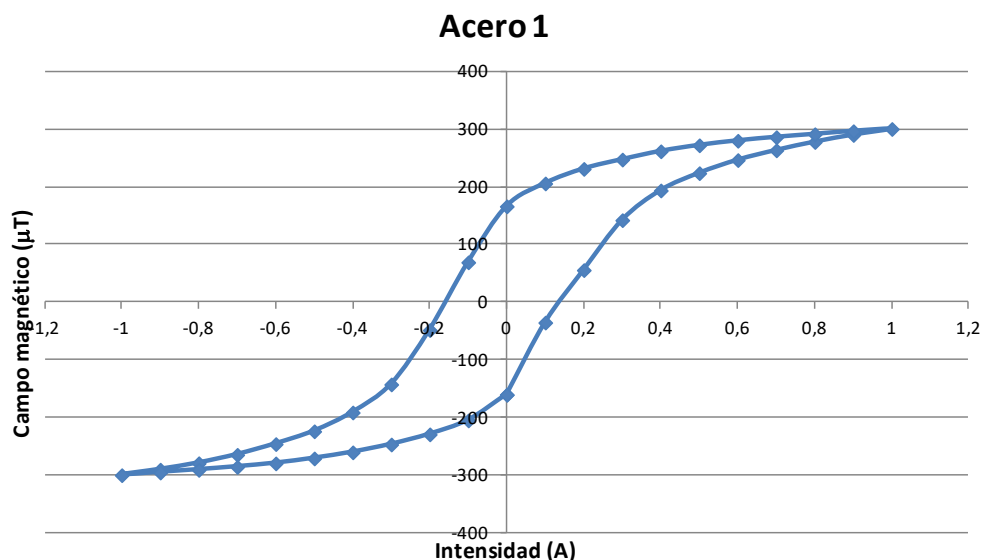


Figura 14. Curva de histéresis del acero 1

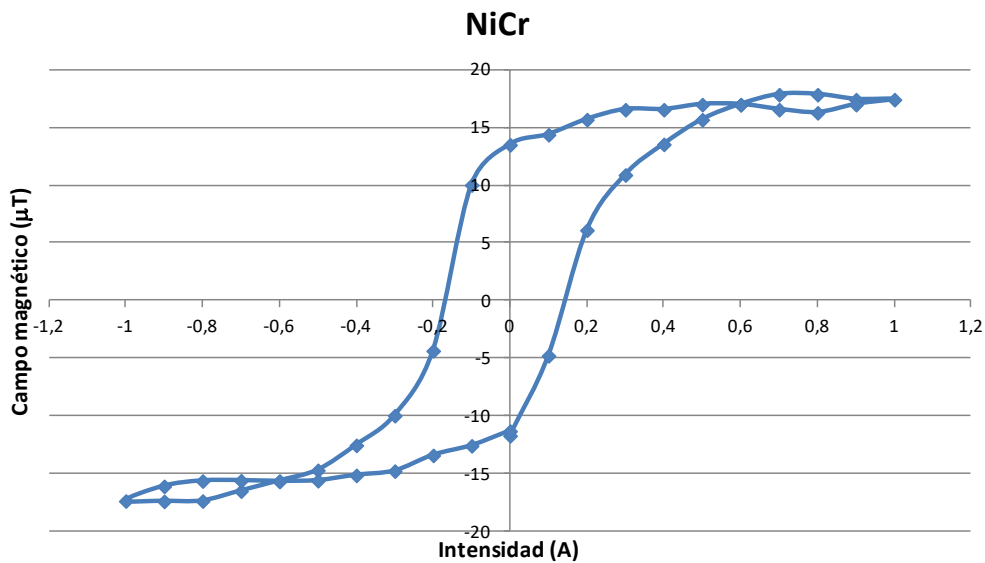


Figura 15. Curva de histéresis del NiCr

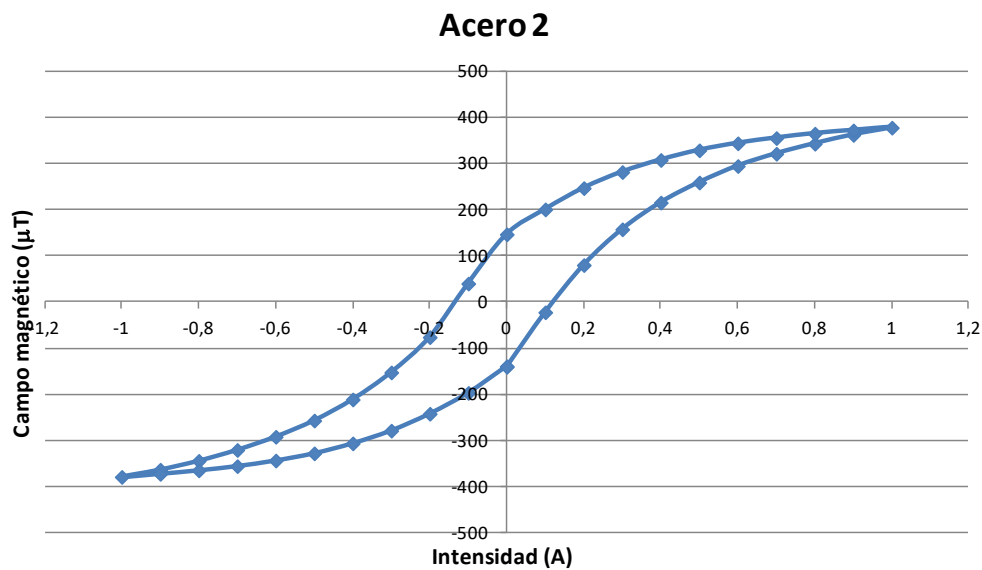


Figura 16. Curva de histéresis del acero 2

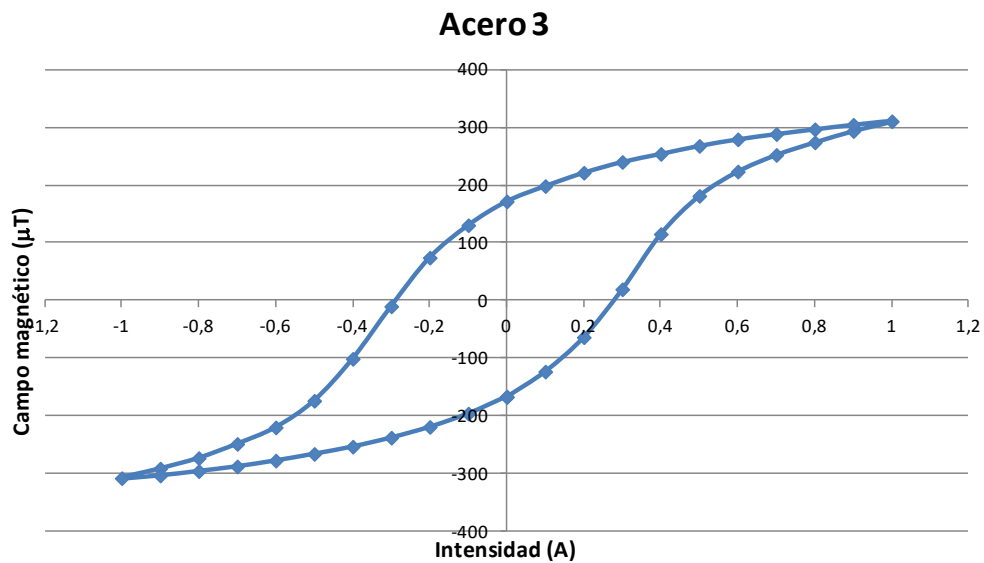


Figura 17. Curva de histéresis de aguja del acero 3

Si comparamos los cuatro materiales en una sola gráfica, obtendríamos

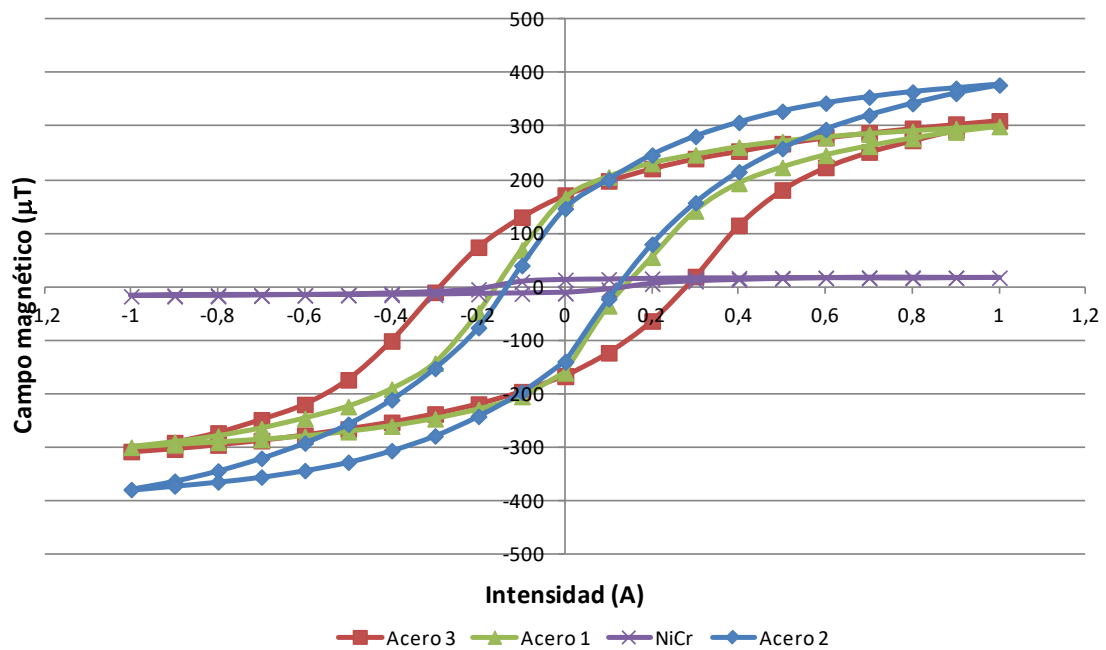


Figura 18. Curvas de histéresis de todos los materiales

Además de ser capaces de introducir los datos en una hoja de cálculo y dibujar la gráfica, los alumnos deberían ser capaces de entender lo que la gráfica les dice:

- En qué consiste la histéresis, cómo es un fenómeno no lineal, cómo a partir de una intensidad (o campo magnético aplicado) la magnetización casi no crece, y cómo al volver la intensidad a 0, existe una magnetización remanente.
- A un valor de intensidad 0, el valor de magnetización remanente es positivo o negativo en función de cómo haya sido el campo externo que se haya aplicado anteriormente.
- Cuando los valores medidos están próximos a la sensibilidad del equipo de medición, la gráfica sale “más fea”. Es decir, el ruido en la medida es más apreciable.
- Existen un material que se comporta de forma muy distinta a los otros tres, con valor de saturación y de magnetización remanente mucho menor.
- Los tres aceros, con gráficas más o menos parecidas, tienen valores de magnetización remanente muy similares: entre 145 y 172 μT .
- Hay un acero, el acero 3, que tiene un campo coercitivo mayor que los otros dos, luego funcionará mejor como imán permanente.

Se les puede pedir que busquen ejemplos del fenómeno de histéresis en la vida cotidiana. Se pueden encontrar ejemplos de situaciones donde es necesario que los materiales se magneticen poco, como en los transformadores. Alguno puede encontrar la histéresis asociado al consumo (o almacenamiento) energético en los procesos. Sin embargo, la aplicación más representativa sería la de los sistemas de almacenamiento de información: de las antiguas cintas de video o de música a los actuales discos duros, o las tarjetas de crédito (la “banda magnética”).

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se parte de un experimento de un fenómeno físico que no está entre los contenidos de la asignatura, como es la histéresis en los materiales ferromagnéticos, para trabajar en un proyecto que introduzca a los alumnos en las actividades de medición e interpretación de resultados.

Desde el punto de vista de trabajo en grupo es interesante, ya que se ponen en juego diverso tipo de destrezas: destreza manual, inteligencia, ser sistemático, rigurosidad, visión, capacidad de análisis, habilidad con la TIC, etc. De esta manera, es sencillo que todos los integrantes del grupo desempeñen un rol importante y complementario en el trabajo.

Desde el punto de vista de la Física y la experimentación se trata de que los alumnos aprendan a observar y a interpretar la realidad. Que se hagan sus propios instrumentos y que midan con ellos, para que aprendan que los instrumentos también tienen limitaciones, y hay que conocerlos para entender lo que miden. En este proyecto hay muchas (pequeñas) cosas que pueden salir mal, pero el error es parte fundamental del aprendizaje, y este proyecto está pensado para que los alumnos se equivoquen (quemem una bobina, conecten mal un cable, no sujeten el sensor a la mesa), y aprendan de sus errores.

Puede resultar paradójico que un trabajo de 2º de Física de Bachillerato tenga tan pocas fórmulas. Está hecho un poco a propósito. En Física, a veces la matemática nos impide ver la parte descriptiva. Lo importante del ciclo de histéresis no es que la magnetización remanente sea 235 o 400 μT , sino que no es cero, que cuando dejo de aplicar un campo magnético el material mantiene sus propiedades. Es más, el material "recuerda" si el campo magnético que se le ha aplicado es positivo o negativo. O que cuando uno utiliza un polímetro para comprobar la continuidad entre dos pines del magnetómetro, también está utilizando la Física.

Hemos realizado además donde las unidades, los valores son importantes. En el NiCr los resultados tienen ruido, porque los valores son pequeños, y pequeños en nuestro proyecto son decenas de μT . Y los valores nos han permitido definir las características de distintos materiales, y compararlos entre ellos. Habremos aprendido a traducir

estos valores a propiedades, y que con un clip o con una aguja de hacer calceta puedo tener imanes de potencia parecida (magnetismo remanente), pero el clip se va a desmagnetizar más fácilmente (campo coercitivo).

6. REFERENCIAS

1. Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato.
2. ORDEN EDU/362/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León.
3. ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León.
4. Proyecto ADARVE. Física y Química 4º ESO. Castilla y León.
5. Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato.
6. Physics for Scientists and Engineers, VI Edition. P.A. Tipler, G. Mosca (2008)
7. Trabajo Fin de Máster UVA: Magnetismo Experimental: Construcción del equipo y diseño de prácticas cuantitativas para 2º de Bachillerato. Curso 2015-2016. D. H. Ibáñez Díez, J.M. Muñoz Muñoz, C. Torres Cabrera.
8. www.fritzing.org
9. <https://learn.adafruit.com/adafruit-hmc5883l-breakout-triple-axis-magnetometer-compass-sensor>
10. <http://learn.adafruit.com/adafruit-arduino-lesson-11-lcd-displays-1>
11. <http://learn.adafruit.com/adafruit-guide-excellent-soldering>
12. www.arduino.cc
13. <https://learn.adafruit.com/adafruit-all-about-arduino-libraries-install-use>

7. LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

7.1.FIGURAS

Figura 1. Solenoide	31
Figura 2. Campo magnético creado por un solenoide	31
Figura 3. Curva de histéresis.....	33
Figura 4. Diagrama de conexiones del magnetómetro en protoboard	35
Figura 5. Diagrama esquemático de conexiones del magnetómetro	35
Figura 6. Imagen frontal del magnetómetro	37
Figura 7. Vista trasera del magnetómetro, mostrando las conexiones	38
Figura 8. Magnetómetro en funcionamiento.....	40
Figura 9. Bobina eléctrica	41
Figura 10. Materiales ferromagnéticos. De arriba abajo: clip, termopar, alambre para colgar cuadros, aguja de calceta	42
Figura 11. Colocación del sensor y la bobina	42
Figura 12. Disposición general del ensayo para la medición de la curva de histéresis.	43
Figura 13. Detalle de la disposición de la bobina y el magnetómetro	44
Figura 14. Curva de histéresis del acero 1.....	47
Figura 15. Curva de histéresis del NiCr.....	48
Figura 16. Curva de histéresis del acero 2.....	48
Figura 17. Curva de histéresis de aguja del acero 3	49
Figura 18. Curvas de histéresis de todos los materiales	49
Figura 19. Diagrama de conexiones del magnetómetro en protoboard	56
Figura 20. Magnetómetro en funcionamiento.....	58

7.2.TABLAS

Tabla 1. Física y Química 2º ESO.....	7
Tabla 2. Física y Química 3º ESO.....	8
Tabla 3. Física y Química 4º ESO.....	11

Tabla 4. Física y Química 1º BACHILLERATO.....	11
Tabla 5. Física 2º BACHILLERATO.....	13
Tabla 6. Tecnología 4º ESO.....	17
Tabla 7. Cultura científica 4º ESO.....	17
Tabla 8. Cultura científica 1º BACHILLERATO.....	18

8. ANEXO I. GUÍAS PARA LAS ACTIVIDADES

En este anexo se incluyen las guías para cada una de las actividades que se van a realizar en el laboratorio.

8.1.ACTIVIDAD 1. CONSTRUCCIÓN DEL MAGNETÓMETRO

Para construir el magnetómetro se necesitan los siguientes materiales:

- Placa Arduino nano
- Potenciómetro multivuelta de 1k
- Display LCD de dos filas y 16 columnas
- Sensor Honeywell HMC5883L
- Pulsador
- Placa, estaño y cables
- Soldador
- Tijeras pelacables
- Polímetro

Realizad las conexiones de acuerdo con el siguiente esquema:

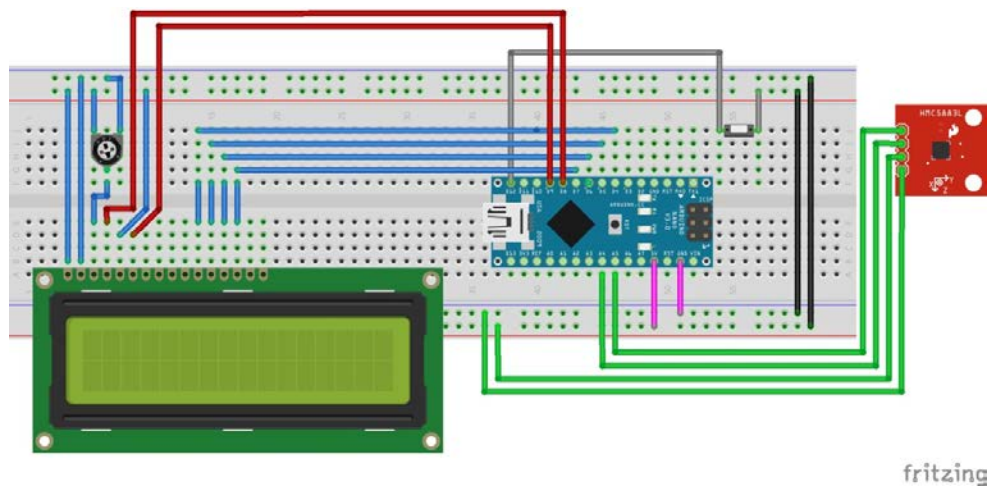


Figura 19. Diagrama de conexiones del magnetómetro en protoboard

Este es un listado de todas las conexiones que hay que realizar:

Pantalla LCD:

Pin 1: GND Arduino Nano

Pin 2:	5 V Arduino Nano
Pin 3:	Pin R Potenciómetro
Pin 4:	D8 Arduino Nano
Pin 5:	GND Arduino Nano
Pin 6:	D9 Arduino Nano
Pin 7 – Pin 10:	Sin conexión
Pin 11:	D4 Arduino Nano
Pin 12:	D5 Arduino Nano
Pin 13:	D6 Arduino Nano
Pin 14:	D7 Arduino Nano
Pin 15:	5 V Arduino Nano
Pin 16:	GND Arduino Nano

Los pines 15 y 16 son la alimentación de la retroiluminación de la pantalla LED, por lo que sólo estarán presentes en pantallas con retroiluminación.

Potenciómetro (en el trabajo se utilizó un potenciómetro de 1 k Ω , aunque se pueden usar de hasta 10 k Ω)

Pin 1:	5 V Arduino Nano
Pin 2:	GND Arduino Nano
Pin R:	Pin 3 Pantalla LED

Sensor HMC5883L:

Pin VCC:	5 V Arduino Nano
Pin GND:	GND Arduino Nano
Pin SCL:	A5 Arduino Nano
Pin SDA :	A4 Arduino Nano

Pulsador:

Pin 1: GND Arduino Nano

Pin 2: D12 Arduino Nano

Utilizad el soldador para unir los cuatro pines de la sonda HMC5883L a los cables.

Una vez realizadas todas las conexiones, verificad que están bien hechas. Para ello:

- Comprobad que todos los pares de pines definidos están conectados
- Comprobad que no hay cortocircuito entre pines que no tienen que estar conectados.

8.2.ACTIVIDAD 2. PROGRAMACIÓN DEL MAGNETÓMETRO

Una vez que tenemos el magnetómetro bien construido y verificado, vamos a programarlo. Lo haremos siguiendo estos pasos:

- Conectad la placa Arduino con el ordenador utilizando un cable miniUSB
- Encended el ordenador y abrid el programa Arduino
- Abrid el proyecto Magnet3 (Archivo/Proyecto/Magnet3)
- Cargad el programa en la placa Arduino (Programa/Subir)
- El programa se cargará y la pantalla LCD mostrará los valores del campo magnético medidos en μ Tesla, junto con la orientación del norte magnético.



Figura 20. Magnetómetro en funcionamiento

- El programa está cargado en la placa Arduino. Podéis cerrar el software Arduino y seguirá funcionando mientras tengáis la placa alimentada a través del mini USB.

- Podéis mover el sensor y ver cómo varían los valores del campo magnético. El campo magnético que estamos midiendo no es nulo, ¿a qué se puede deber?

8.3.ACTIVIDAD 3. MEDICIÓN DEL CICLO DE HISTÉRESIS

Una vez fabricada la bobina, conectadla a la fuente de alimentación, con un amperímetro conectado en serie. Colocad el sensor con el eje y enfrentado y en paralelo al eje de la bobina. Tenéis una serie de de materiales ferromagnéticos que tendréis que evaluar.

Para realizar un ciclo completo de medidas se deben seguir los siguientes pasos, una vez el ensayo está preparado:

- Partimos de la fuente de alimentación con voltaje cero e intensidad cero. La fuente debe estar configurada para controlar el suministro de intensidad.
- Aumentamos el voltaje hasta 3-5 V. Subimos la intensidad paso a paso. En cada intervalo anotamos el valor de intensidad (en el amperímetro) y de campo magnético (en el valor del eje y de la pantalla led del magnetómetro).
- Subimos como máximo hasta 1 A, porque a partir de esta intensidad la bobina se calienta y puede estropearse.
- Cuando llegamos al valor máximo, descendemos de forma gradual hasta intensidad 0, anotando los valores de intensidad y campo magnético a cada paso.
- Cuando llegamos a intensidad 0, bajamos el voltaje a 0, cambiamos los conectores para invertir la corriente, aumentamos el voltaje a 3-5 voltios, y repetimos todo el proceso, ahora con intensidad negativa.
- Es conveniente realizar este ciclo un par de veces (sin anotar los valores) antes de empezar las mediciones.

Antes de empezar las mediciones, ajustad la distancia del sensor con respecto a la bobina, de manera que tengáis medidas significativas para todos los materiales, y no superéis el rango de medición del sensor, de 800 μ T.

Antes de realizar las medidas de magnetización en los materiales ferromagnéticos, realizad una medida en vacío para eliminar el campo magnético creado por la propia bobina.

La curva de histéresis no es una curva lineal, decidid los intervalos en los que vais a registrar los valores de intensidad y campo magnético.

Es importante no superar una intensidad de 1 A, ya que se podría dañar la bobina.

Registrad las medidas y las condiciones del ensayo para elaborar vuestro informe.

9. ANEXO II. PROYECTO *MAGNET3* ARDUINO

```
// Este código se ha creado para el desarrollo de un proyecto de docencia en experimentación de
campos magnéticos.
// se ha empleado código de terceros como original. Su uso es de libre distribución siempre que se haga
referencia a los
// autores

// Las librerías I2Cdev y HMC5883L deben ser instaladas como .cpp/.h
// para ambas clases deben ser instaladas en la dirección de tu proyecto
//El código de la librería I2Cdev está bajo licencia del MIT
//Copyright (c) 2011 Jeff Rowberg. Actualizaciones en https://github.com/jrowberg/i2cdevlib
#include "I2Cdev.h"

// Arduino Wire library es requerida para implementar I2Cdev I2CDEV_ARDUINO_WIRE, I2Cdev.h
#include "Wire.h"

//Incluimos la librería propia del sensor
#include "HMC5883L.h"

// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

// class default I2C address is 0x1E
// specific I2C addresses may be passed as a parameter here
// this device only supports one I2C address (0x1E)
// Definimos una variable MAG según está en la librería
HMC5883L mag;

int16_t mx, my, mz; // Definimos un entero de 16bit que serán los valores en cada uno de los ejes
float imx=0, imy=0, imz=0; // Definimos los enteros para tener mG
float Gain=0.0; //Se usará para la ganancia en base al rango configurado
float compass_x_offset=0, compass_y_offset=0, compass_z_offset=0; //Se usará para poner rangos a 0
int connection=0;

#define LED_PIN 13
bool blinkState = false; //Variable para conocer el estado de un LED*/

void setup() {
  lcd.begin(16,2); //Inicializa la interface para el LCD y determina dimensiones 16 columnas y 2 líneas.
  Wire.begin(); // Conecta I2C Bus (La librería I2Cdev no lo hace automático)

  // Inicializamos la comunicación serie
  // (Elegimos 38400 porque trabaja bien a 8MHz y a 16MHz)
  Serial.begin(38400); // Deberás configurar el COM del PC a esa misma velocidad

  // initialize device
  Serial.println("Iniciando dispositivos I2C...");
  mag.initialize();
```

```

pinMode (12,INPUT_PULLUP);

//Verificamos conexión con la sonda HMC5883L
Serial.println("Comprobando conexión de dispositivos...");
Serial.println(mag.testConnection() ? "Sonda HMC5883L conectada" : "Sonda HMC5883L fallo de
conexión"); // Da respuesta en función de la conexión correcta o incorrecta
lcd.setCursor(0,0);//Marcamos la posición
lcd.print("Sonda HMC5883L:");
lcd.setCursor(0,1);//Marcamos la posición

lcd.print(mag.testConnection() ? "conectada" : "fallo de conexión"); // Da respuesta en función de la
conexión correcta o incorrecta

connection = mag.testConnection();
if(connection==0)//Si no está conectada se queda mostrando el mensaje
delay(999999);
delay(1000);

/* Gaussímetro para docencia con sonda HMC5883L. Se refiere al bit menos significativo cuantos Gauss
son. La sensibilidad
Rangos de medición y sensibilidad
Value | Field Range | Gain (LSB/Gauss) LSB significa bit menos significativo
* -----+-----+-----
* 0 | +/- 0.88 Ga | 1370
* 1 | +/- 1.3 Ga | 1090 (Default)
* 2 | +/- 1.9 Ga | 820
* 3 | +/- 2.5 Ga | 660
* 4 | +/- 4.0 Ga | 440
* 5 | +/- 4.7 Ga | 390
* 6 | +/- 5.6 Ga | 330
* 7 | +/- 8.1 Ga | 230
*/

mag.setGain(7); // Selección de rango +/-8Ga y sensibilidad 230 LSB/Gauss
Gain = (230.0/1000.0)*10.0;// Según el rango elegido LSB/mG para operar en el programa con esa
sensibilidad y le añadimos el factor para trabajar en LSB/μT

lcd.setCursor(0,0);//Marcamos la posición
lcd.print("Magnetometro TFM");
lcd.setCursor(0,1);//Marcamos la posición
lcd.print("-/+800μT Sen:0,44μT");
delay(3000);

// configure Arduino LED for
pinMode(LED_PIN, OUTPUT);

mag.getHeading(&mx, &my, &mz);// Lee los valores sin transformar del sensor
//Calcula los valores de los campos ambientales para ponerlo a cero con las nuevas distorsiones
incluidas
compass_x_offset = mx/Gain;
compass_y_offset = my/Gain;
compass_z_offset = mz/Gain;
}

```

```

void loop() {

mag.getHeading(&mx, &my, &mz); // Lee los valores sin transformar del sensor

/*convertimos a mG dependiendo de la sensibilidad configurada LSB/Gauss
LSB/unit es un factor llamado sensibilidad que depende de la configuración del sensor elegida y que
usaremos como multiplicador para los valores obtenidos de "mag".
Estos valores se obtienen de la hoja de datos que en este caso es configurable.

*/

/* Serial.print("compass_x_offset"); Serial.print("/t");
Serial.print("compass_y_offset"); Serial.print("/t");
Serial.print("compass_z_offset"); Serial.print("/t");
Serial.print("/n"); Para mostrar el campo magnético ambiental*/

imx = (mx/Gain)-compass_x_offset; //Le compensa los campos en X
imy = (my/Gain)-compass_y_offset; //Le compensa los campos en Y
imz = (mz/Gain)-compass_z_offset; //Le compensa los campos en Z

// display tab-separated gyro x/y/z values
//Serial.print("X Y Z:\t");
//Serial.print(mx); Serial.print("\t");
//Serial.print(compass_x_offset); Serial.print("\t");
Serial.println(imy); // Serial.print("\t");
//Serial.print(compass_y_offset); Serial.print("\t");
//Serial.print(mz); Serial.print("\t");

//Mostramos los títulos en la caebecera para ahorrar procesamiento
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0); //Seteamos la ubicación texto 1 línea 1 que será escrita el LCD
lcd.print("X:"); //Marcamos lo que mostramos
lcd.setCursor(8,0); //Seteamos la ubicación texto 1 línea 1 que será escrita el LCD
lcd.print("Y:"); //Marcamos lo que mostramos
lcd.setCursor(0,1); //Seteamos la ubicación texto 1 línea 1 que será escrita el LCD
lcd.print("Z:"); //Marcamos lo que mostramos
lcd.setCursor(8,1); //Seteamos la ubicación texto 1 línea 1 que será escrita el LCD
lcd.print("N:"); //Marcamos lo que mostramos

//Mostramos los valores en la caebecera para ahorrar procesamiento
lcd.setCursor(2,0); //Seteamos la ubicación texto 1 línea 1 que será escrita el LCD
lcd.print(imx); //Marcamos lo que mostramos
lcd.setCursor(11,0);
lcd.print(imy);
lcd.setCursor(2,1);
lcd.print(imz);

// Calcula el norte magnético en grados. 0º es el norte magnético
if(my!=0 && mx!=0) //Solo opera cuando hay nuevo centro magnético
{
float heading = atan2(my, mx); //Da el ángulo en radianes que se desvía
float heading_print;
if(heading < 0)
heading += 2 * M_PI; //Para ponerlo positivo

```

```
//Serial.print("Norte °:\t");
heading_print = heading * 180/M_PI;
//Serial.println(heading_print); //Imprimirlo y convertirlo en grados.

lcd.setCursor(11,1); //Seteamos la ubicación texto 0 línea 1 que será escrita el LCD
lcd.print(heading_print); //Mostramos el valor de la orientación

}
if (digitalRead (12)==LOW){
compass_x_offset = mx/Gain;
compass_y_offset = my/Gain;
compass_z_offset = mz/Gain;

}
// Parpadea el LED como muestra de actividad
blinkState = !blinkState;
digitalWrite(LED_PIN, blinkState);
delay(400);
}
```


10. ANEXO III. COSTE DE MATERIAL

A continuación se detalla el coste estimado de los materiales utilizados. Se supone una clase de unos 20 alumnos, en la que se hacen 7 grupos de trabajo.

Material	Coste/unidad (€)	Unidades	Coste total (€)
Arduino nano	2,49	7	17,43
Potenciómetro		10	0,86
Pantalla LCD 16x2	1,66	7	11,62
Sensor HMC5883L	3,55	7	24,85
Pulsador		10	1,77
Protoboard	1,1	7	1,77
Alambre acero			3,95
Cable cobre 0,2 mm			8,03
Estaño, cables	Material habitual en el laboratorio		
Soldador			
Tijeras			
Polímetro			
Fuente alimentación			
TOTAL			70,28