

Electromagnetismo en Bachillerato: Una propuesta didáctica experimental

Mariano Domingo Jiménez Sánchez

(MESOB) Especialidad en Física y Química



MÁSTERES
DE LA UAM
2021-2022

Facultad de Formación de Profesorado

**MÁSTER EN FORMACIÓN DE PROFESORADO DE
EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA Y
BACHILLERATO**

Electromagnetismo en Bachillerato:
Una propuesta didáctica experimental

Autor: Mariano Domingo Jiménez Sánchez

Tutor: Juan Antonio Sanz García

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Curso académico: 2021/2022

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
MOTIVACIÓN.....	2
1. APRENDIZAJE Y ENSEÑANZA DEL ELECTROMAGNETISMO	4
2. CONTEXTO DEL ENTORNO.....	7
2.1. Centro Educativo.....	7
2.2. Departamento de Física y Química	8
2.3. Alumnado	8
2.4. Método docente en Física de 2º de Bachillerato.....	9
3. RETO.....	10
3.1. Marco normativo para el diseño de la propuesta didáctica.....	12
3.2. Marco Teórico para el diseño de la propuesta.....	13
3.3. Objetivos de la propuesta didáctica.....	19
3.4. Propuesta didáctica.....	20
4. PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....	24
4.1. Descripción de las prácticas	24
4.2. Perfil curricular de las prácticas	37
5. IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.....	41
5.1. Métodos de evaluación de la propuesta.....	41
5.2. Espacio	44
5.3. Fases y distribución de tiempos de la implementación	45
5.3.1. Fase inicial	45
5.3.2. Fase de Desarrollo.....	46
5.3.3. Fase final	47
5.4. Análisis de los resultados	48
5.4.1. A partir de los test	48
5.4.2. A partir de los informes de laboratorio entregados	51
5.4.3. A partir de los comentarios cualitativos	52
5.5. Evaluación de la propuesta.....	54
5.5.1. Puntos fuertes	55
5.5.2. Puntos débiles.....	55
5.5.3. Propuestas de mejora.....	56
5.5.4. Futuros estudios.....	58
6. CONCLUSIONES.....	58

7. REFERENCIAS	60
ANEXO I. PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....	64
I.1 Guiones de prácticas	64
I.2 Materiales y planos	85
ANEXO II. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.....	93
II.1 Instrumentos	94
II.2.Resultados.....	98
ANEXO III- RÚBRICA.....	101
ANEXO IV. DISTRIBUCIÓN DE GRUPOS	102
AGRADECIMIENTOS	102

Índice de Figuras

Figura 1: Evolución de la concepción de los conocimientos involucrados en el desempeño docente.	14
Figura 2: Propuesta didáctica visualizada en el marco TPACK.....	21
Figura 3: Montaje de la práctica 1 para caracterizar la fuerza de Lorentz	26
Figura 4: Montaje de la práctica 2 para caracterizar el campo magnético creado por una corriente rectilínea.....	28
Figura 5: Montajes experimentales utilizados para caracterizar el campo magnético creado por corrientes circulares.....	31
Figura 6: Electroimán “optimizado”.	32
Figura 7: Montaje para la medida del sentido de la corriente inducida en una espira por un flujo de campo magnético variable.....	33
Figura 8: Montaje de freno magnético.	34
Figura 9. Montaje para la medida de la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas.	36
Figura 10: Esquema de la sección de implementación y evaluación de la propuesta.	41
Figura 11: Laboratorio de Física y Química del I.E.S. Juan de Mairena.	44
Figura 12: Comentarios cualitativos de los estudiantes.	53
Figura A.1. Montaje para la caracterización del campo magnético generado por una corriente.....	88
Figura A.2. Electroimán optimizado	91
Figura A.3: Otros comentarios cualitativos de los estudiantes.....	100

Índice de tablas

Tabla 1. Porcentaje del número de preguntas de cada bloque de actividades respecto al número total de actividades de todos los bloques.	23
Tabla 2: Distribución de las preguntas de la práctica 1	25
Tabla 3: Distribución de las preguntas de la práctica 2:	27
Tabla 4: Distribución de las preguntas de la práctica 3:	30
Tabla 5: Distribución de las preguntas de la práctica 4:	33
Tabla 6: Distribución de las preguntas de la práctica 5:	35
Tabla 7. Perfil curricular de las prácticas.....	40
Tabla 8. Distribución temporal de las sesiones y las actividades realizadas en los diferentes días de implementación de la propuesta.....	45
Tabla 9: Resultados de los test de evaluación de la propuesta didáctica	48
Tabla 10. Resultados para cada pregunta del test de conocimientos.	50
Tabla 11. Porcentaje de puntos obtenidos en cada uno de los bloques de preguntas.....	51
Tabla A.1. Resultados para cada pregunta del IMI.	99
Tabla A.2: Rúbrica utilizada para calificar los informes de laboratorio	101
Tabla A.3: Grupos de estudiantes.	102
Tabla A.4. Distribución de grupos y equipos por sesiones.....	102

Resumen

El electromagnetismo es uno de los bloques de contenido con más aplicación en nuestra tecnología actual. Sin embargo, el aprendizaje de sus conceptos básicos presenta dificultades para los estudiantes de todos los niveles y, en especial, para los estudiantes de la educación secundaria. Parte de estas dificultades se asocian a la falta de experiencia práctica de los estudiantes con los fenómenos estudiados lo que complica la comprensión e interiorización del formalismo físico que se trata de aprender. Para tratar de superar estas dificultades, a la enseñanza formal tradicional de modelo transmisión-recepción, se están añadiendo propuestas basadas en el uso de simulaciones virtuales. Sin embargo, las propuestas didácticas experimentales para Bachillerato no son tan frecuentes, en parte debido al alto coste de los equipos necesarios para ello.

En este TFM, se presenta una propuesta didáctica experimental de bajo coste, para la enseñanza del electromagnetismo en 2º de Bachillerato. Las prácticas diseñadas presentan un enfoque tanto cualitativo como cuantitativo, y permiten a los estudiantes experimentar por sí mismos con los fenómenos del currículo académico. La evaluación de la efectividad de la propuesta sugiere una mejora en la visualización espacial de las magnitudes electromagnéticas, así como una mejora en la percepción que los estudiantes tienen del electromagnetismo.

Palabras clave: Bachillerato, Electromagnetismo, TPACK, Laboratorio, Impresión 3D.

Motivación

Sin el electromagnetismo las comodidades de nuestra sociedad actual no existirían, de hecho ni la humanidad misma lo haría. Los fenómenos electromagnéticos nos rodean protegiéndonos, como en el caso del campo magnético terrestre, y permitiendo el desarrollo de la vida, como hace la radiación electromagnética solar. Además, nuestra tecnología se vale en gran medida de estos fenómenos para hacernos nuestra vida más cómoda, por ejemplo, haciendo funcionar nuestros dispositivos electrónicos, los motores eléctricos de los trenes con desplazan a diario, las comunicaciones inalámbricas y los sistemas de calentamiento de alimentos (placas de inducción, microondas...). Allá dónde miremos encontramos electromagnetismo.

Sin embargo, y a pesar de su omnipresencia, poca es la gente que tiene conciencia de la presencia de los fenómenos electromagnéticos en su día a día. Esto se debe a que la interacción cotidiana con ellos se realiza, en general, a través de productos destinados al consumidor que enmascaran sus principios de funcionamiento. El resultado es una falta general de experiencia con los fenómenos electromagnéticos. Esta experiencia podría ser una poderosa aliada a la hora de aprender los formalismos matemáticos que se enseñan en los institutos para modelizar y comprender estos fenómenos.

La motivación de este trabajo de fin de máster es ofrecer a los estudiantes de Bachillerato la oportunidad de experimentar por sí mismos con fenómenos electromagnéticos. Esta experiencia se espera que les ayude a lo hora de comprender los conceptos que hasta el momento habían tratado como algo abstracto y desde un punto de vista matemático. Para ello, se han diseñado e implementado un conjunto de prácticas experimentales de laboratorio.

El documento se estructura en seis secciones:

La **primera** está destinada a presentar una introducción al aprendizaje y la enseñanza del electromagnetismo. Se describen algunos de los problemas que presentan y los enfoques que se han abordado para ponerles solución.

En la **segunda** sección se describe el contexto del centro y del alumnado para el que se ha diseñado y con el que se ha implementado la propuesta. Además, se detalla el método docente que se ha empleado en el aula hasta el momento y los conocimientos de partida de los estudiantes.

En la **tercera** sección se describe el reto que se asume en este trabajo, atendiendo al contexto del centro y a los estudios previos en la literatura. A continuación, se presenta el marco normativo que respeta la propuesta planteada, así como el marco teórico desde el que se ha diseñado la propuesta. Por último se establecen los objetivos de la propuesta didáctica con la que se pretende abordar el reto planteado y se describe en que consiste la misma.

La **cuarta** sección está destinada a las prácticas de laboratorio diseñadas, en ella se describen los objetivos particulares de cada una, sus montajes experimentales y los criterios de evaluación, estándares de aprendizaje evaluables y competencias que se trabajan.

La **quinta** sección presenta la implementación y evaluación de la propuesta. Se presentan los instrumentos de evaluación, las fases, los tiempos y el espacio que se han utilizado. Por último, se analizan los resultados obtenidos y con ellos, se determinan los puntos fuertes y débiles de la propuesta didáctica, así como posibles mejoras futuras.

La **sexta** sección corresponde a las conclusiones del trabajo.

Por último, se añaden anexos que proporcionan información complementaria de las prácticas y de los resultados obtenidos.

1. Aprendizaje y enseñanza del electromagnetismo

El paso de la educación secundaria obligatoria al Bachillerato conlleva enfrentarse a conceptos y razonamientos más abstractos que cada vez más se distancian más de nuestra realidad cotidiana. Esta desconexión con lo cotidiano puede dar lugar a dificultades en el aprendizaje y comprensión de los conceptos. Uno de los ejemplos más palpables de estas dificultades se da con el bloque de electromagnetismo de la asignatura de Física 2º de Bachillerato.

El electromagnetismo que se estudia en Física de 2º de Bachillerato supone un desafío para los estudiantes a la hora de asimilar sus conceptos. Los estudiantes arrastran las dificultades a las que se enfrentan en este curso a cursos superiores, como han mostrado estudios realizados en ambientes universitarios tanto en el extranjero (Maloney *et al.*, 2001; Planinic, 2006), como en el sistema universitario español (Guisasola *et al.*, 2013). Estos estudios ponen de manifiesto que los estudiantes continúan cometiendo errores conceptuales en contenidos sobre los que ya han sido instruidos. Por ello, resulta interesante la búsqueda de soluciones que permitan mitigar las dificultades de aprendizaje de estos contenidos en los primeros cursos en que se tratan.

Entre las razones que se creen que dificultan el aprendizaje en electromagnetismo se encuentran las ideas preconcebidas incorrectas de los estudiantes (Guisasola *et al.*, 2013), y la falta de eficacia de los métodos docentes para modificarlas (Jelicic *et al.*, 2017; Maloney *et al.*, 2001; Planinic, 2006). A estas dificultades hay que sumar la generalización del método de enseñanza tradicional basado en el modelo transmisión-recepción. Este modelo de enseñanza se orienta hacia la producción de respuestas cuantitativas a problemas tipo dejando de lado la comprensión conceptual y el desarrollo competencial de los estudiantes (Guisasola *et al.*, 2013).

El método docente basado en clases magistrales y resolución rutinaria de problemas, no sólo puede generar incompreensión de los contenidos si no que, además, puede traducirse en una merma de la utilidad que los alumnos perciben de ellos y de su interés por la materia (Pozo Muncio y Gómez Crespo, 2001). Esto explicaría por qué los estudiantes no muestran un interés significativo por bloques curriculares como el del electromagnetismo con un gran

impacto en nuestra vida diaria y en la tecnología que nos rodea. Por ello, la búsqueda de métodos docentes alternativos para el electromagnetismo podría mejorar la percepción que los estudiantes tienen de él, a la vez que permiten reducir la falta de eficacia de los métodos docentes actuales para su enseñanza.

Una de las razones que se cree limitan la eficacia de la docencia es que los estudiantes están poco familiarizados con los fenómenos de electricidad y magnetismo estudiados, pues apenas los han experimentado en su vida cotidiana (Planinic, 2006; Tecpan *et al.*, 2015). Si bien estos fenómenos estudiados pueden ser observados y medidos, esta observación no es directa ni sencilla en nuestro día a día. Además, los sistemas experimentales que permiten su observación y medida, pueden ser costosos o inaccesibles para un centro de enseñanza secundaria (Wardana *et al.*, 2016).

Esta falta de experiencia práctica podría ser uno de los factores que dificultan el aprendizaje del electromagnetismo respecto a otros bloques de contenido como el de mecánica. En mecánica los estudiantes establecen conexiones más estrechas entre los fenómenos naturales y el formalismo que se enseña para modelizarlos. En parte, ayudado por la mayor familiaridad de los estudiantes con estos fenómenos. Esto no pasa con los fenómenos de electricidad y magnetismo con los que los estudiantes tienen un contacto mucho menor. Si uno repasa los libros de texto verá que se centran en presentar el formalismo matemático planteando los contenidos de una forma eminentemente abstracta. Uno podría preguntarse cómo van los estudiantes a entender el formalismo diseñado para explicar un conjunto de fenómenos, si no están familiarizados con dichos fenómenos (Maloney *et al.*, 2001).

El autor entiende que aquí puede radicar uno de los grandes problemas. Un estudiante que aprende las leyes de la mecánica puede contrastar el formalismo que está estudiando con su experiencia previa. Esto le permite utilizar su experiencia como base fidedigna sobre la que construir conocimiento y desde donde dotar de sentido al formalismo abstracto. En el caso del electromagnetismo la falta de familiaridad práctica de los estudiantes con los fenómenos podría generar la falta de una base sólida con la que contrastar. En su lugar, actuaría como base para la construcción del conocimiento el conjunto de ideas previas que los estudiantes posean al iniciar su instrucción. Utilizar como base estas preconcepciones podría generar

dificultades de aprendizaje cuando el estudiante tratase de casar el formalismo estudiado con el conocimiento previo que poseía.

Para tratar de mitigar las dificultades de aprendizaje de los conceptos electromagnéticos se proponen enfoques que podrían clasificarse en dos grupos: destinados a cambiar la forma en que se enseña el formalismo y orientados a dotar a los estudiantes de experiencia práctica. En el primer grupo encontramos propuestas didácticas alternativas como la publicada por Guisasola *et al.*, (2013) o la de Villagrà y Sahelices (1995). Respecto a los enfoques prácticos, estos cuentan con una limitación relevante: el coste de los sistemas experimentales. Esto hace que las propuestas experimentales se prueben principalmente en ambientes universitarios (Méndez Fragoso y Villavicencio Torres, 2017; Osorio-Vélez *et al.*, 2015), donde se cuenta con mayor presupuesto. Los estudios realizados en estos ambientes de enseñanza superior han mostrado que la incorporación de una enseñanza de tipo experimental mejora el aprendizaje de los estudiantes (Osorio-Vélez *et al.*, 2015).

En los institutos de educación secundaria, menor dotados económicamente, predominan propuestas didácticas prácticas basadas en aplicaciones web y simuladores (Barralaga y Roldán, 2016). Ejemplos de propuestas utilizando realidad aumentada son las propuestas de Ibañez *et al.* (2014) y Donhausser *et al.*, (2020). Bien es cierto que existen propuestas experimentales para institutos como la de Martínez y Torres (2017). Sin embargo, las prácticas son experiencias cualitativas, sobre las que se pretende que los estudiantes reflexionen, quedando pendiente la adquisición de datos cuantitativos que puedan relacionarse con el formalismo que los estudiantes han de conocer y manejar.

Por todo lo expuesto, resulta interesante la incorporación de prácticas experimentales relacionadas con el electromagnetismo, ya que podrían mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes y aumentar su motivación hacia el electromagnetismo, tan relevante en la tecnología que nos rodea. Estas prácticas se desearían que fuesen aplicables en centros de enseñanza secundaria y que tratasen los fenómenos que describen los formalismos estudiados tanto cualitativa, como cuantitativamente. El diseño e implementación de estas prácticas es uno de los objetivos que se plantean en este trabajo de fin de máster (TFM).

2. Contexto del entorno

En esta sección se describen las características principales del entorno donde el autor ha realizado las prácticas de centro educativo del máster y, por tanto, del entorno para el cual se ha diseñado, y donde se ha implementado la propuesta didáctica de este TFM. Se describe el centro educativo, el departamento de Física y Química y el alumnado para el que se ha diseñado la propuesta. Por último, se expone el método docente que se ha observado para impartir la asignatura de Física de 2º de Bachillerato.

2.1. Centro Educativo

El centro donde se han desarrollado las prácticas es el I.E.S. Juan de Mairena de la localidad madrileña de San Sebastián de los Reyes. Este centro público, que congrega a un alumnado procedente de familias de nivel socio-económico medio, comparte espacio con la Escuela Oficial de Idiomas (en horario de tarde). El centro oferta Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato y Ciclos Formativos de grado medio y superior de la rama Química y Sanitaria. Desde el año 2010 ofrece la posibilidad de estudiar en sección lingüística de francés.

El centro presenta un tamaño considerable, dando servicio a aproximadamente 1400 alumnos entre todas las etapas educativas. En la Educación Secundaria Obligatoria los alumnos se distribuyen en 5 cursos por nivel. En Bachillerato, la etapa educativa relevante en este TFM, el I.E.S. cuenta con tres líneas, distribuidas en los grupos A, B y C. Estas clases están asociadas, respectivamente, a enseñanza ordinaria, sección de francés y Bachibac. El Bachibac consiste en una modalidad que permite al estudiante obtener de forma simultánea el título de Bachillerato español y francés. Para ello, esta modalidad presenta variaciones en algunas asignaturas, como por ejemplo Historia de España que pasa a ser Historia de España y Francia.

El I.E.S. Juan de Mairena es un centro muy abierto a la innovación y a probar diferentes métodos didácticos. Por ejemplo, durante el tiempo prácticas se ha podido observar la implementación de grupos interactivos, de clases sobre temas escogidos impartidas por alumnos de 3º de ESO a alumnos de 2º de ESO, puesta en marcha de un huerto escolar,

realización de gymkhanas. La buena acogida tanto de dirección como del cuerpo docente, dota al centro un ambiente estimulante y dinámico.

Respecto a los espacios disponibles que han sido relevantes en este TFM, el centro cuenta con dos laboratorios de ciencias: uno para Biología y otro para Física y Química. El laboratorio de Física y Química es comúnmente utilizado por los estudiantes de la Educación Secundaria Obligatoria. Por ello, está bien equipado y cuenta con material estándar de laboratorio en buen estado siendo el más relevante para este TFM las básculas, los pies de laboratorio y los multímetros.

2.2. Departamento de Física y Química

El departamento de Física y Química de I.E.S. Juan de Mairena está integrado por cinco profesionales de la educación, y ofrece un ambiente agradable y de colaboración donde los integrantes se ayudan entre ellos de forma continua. El departamento se caracteriza por sus ganas y empuje propios a la hora de proponer y realizar actividades. Este ambiente y energía ha sido un factor clave para el desarrollo de este TFM. Desde la llegada al centro del autor de este TFM, se le dio una calurosa bienvenida invitándolo a participar en todas las actividades, y poniendo a su disposición todos los medios del centro necesarios, incluyendo dotación económica para adquirir material.

2.3. Alumnado

En lo referente al alumnado, solo se mencionará a aquel que ha sido destinatario de la propuesta didáctica de este TFM, es decir, a los estudiantes de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato.

La clase de esta asignatura está formada por 18 estudiantes. Los alumnos y las alumnas proceden tanto de la modalidad ordinaria, como de la sección francesa y del Bachibac. Durante las prácticas, no se han apreciado diferencias notables entre ellos que permitiesen identificar su grupo de referencia, siendo el nivel académico homogéneo en la clase. Todos los alumnos y las alumnas, salvo dos, planean continuar su carrera académica el año

siguiente en la universidad emprendiendo carreras de corte ingenieril. Uno de los otros dos estudiantes planea hacer un ciclo formativo de grado superior y el otro se decanta por una carrera universitaria de corte científico. En la clase no hay estudiantes ACNEAE ni ACNEE. El clima del aula es agradable ya que se trata de un grupo consolidado en el que no hay malas relaciones entre ellos y que presenta un buen comportamiento en el día a día.

Respecto al temario, a la llegada al centro del autor durante su segundo período de prácticas, habían terminado los bloques de campo gravitatorio, electromagnetismo y justo habían terminado el de óptica geométrica. A pesar, de haber completado tres bloques, del único que se escuchaban quejas respecto a su dificultad era del de electromagnetismo. Los estudiantes mencionaban lo liosa que les resultaba la “regla de la mano derecha” y entender los enunciados de los problemas: “No es que no me sepa la fórmula es que no entiendo que me piden en el problema”. También se observaron dificultades a la hora de comprender que tanto la luz visible, como los rayos X, o los infrarrojos son todos los mismos entes físicos, ondas electromagnéticas, que difieren en sus parámetros característicos (longitud de onda y frecuencia). Los comentarios de los estudiantes y lo observado han sido los detonantes que han impulsado el desarrollo de este TFM.

2.4. Método docente en Física de 2º de Bachillerato

El método docente utilizado con el alumnado ha sido de tipo **magistral**, como se pudo observar durante el desarrollo de las prácticas. En concreto se ha basado en explicaciones teóricas y resolución de ejercicios por parte del profesor en la pizarra, es decir, se trata de un modelo tipo **transmisión-recepción**. Las clases han estado complementadas, además, con material disponible en el canal de Youtube del tutor profesional (Melero Pinillo, 2022). En este canal, se hayan resueltos multitud de ejercicios de la asignatura que los estudiantes consultan a su ritmo y sobre los que plantean dudas al profesor al inicio de cada clase. Esto dota de una mayor autonomía a los estudiantes en su proceso de aprendizaje, respecto al modelo de transmisión-recepción “tradicional”.

No se observó **ningún trabajo experimental de laboratorio**, ni se ha tenido conciencia de que se haya realizado a lo largo del curso. Lo que conlleva un menor desarrollo de las capacidades experimentales de los estudiantes.

Este modelo “tradicional” basado en la transmisión-recepción de contenidos y carente de trabajo experimental está ampliamente extendido en el último curso de Bachillerato. Esto se debe a la sobrecarga de contenidos de corte académico y a la proximidad de la prueba de selección de la universidad (EvAU). El poco tiempo disponible, sumado al modelo de examen de la EvAU hacen que los profesores prioricen preparar a los alumnos para esta prueba, sobre una comprensión conceptual más profunda de lo estudiado o un desarrollo de las competencias experimentales de los alumnos. Es decir, se trata de un sistema de enseñanza poco orientado al desarrollo competencial de los estudiantes, a pesar de que este desarrollo se lleva persiguiendo en las leyes educativas desde hace años.

3. Reto

La bibliografía presentada en la introducción muestra que el electromagnetismo es un bloque de contenidos que plantea dificultades de aprendizaje para los estudiantes de todas las etapas educativas, incluida el Bachillerato. La validez de esta afirmación se ha comprobado en el centro de prácticas, donde se ha corroborado mediante observación directa e interacción con integrantes del equipo docente y los alumnos.

El método docente utilizado para impartir el electromagnetismo de Bachillerato no ha variado de forma sustancial en las últimas décadas, ofreciendo a los estudiantes un único sistema de representación de corte académico y carente de experiencia práctica que facilite el aprendizaje. Además, la enseñanza tradicional con una gran carga abstracta y poco aplicada genera desinterés de los estudiantes por el bloque de contenido y una disminución de la percepción de utilidad que los estudiantes tienen de él. Por tanto, resultan interesantes nuevas propuestas para el proceso de enseñanza-aprendizaje de este bloque de contenido que puedan mejorar el aprendizaje de los estudiantes, así como su percepción del bloque curricular.

En este TFM se asume como reto diseñar e implementar una propuesta didáctica para el bloque de electromagnetismo de Física de 2º de Bachillerato. La propuesta ha de presentar un enfoque del proceso de enseñanza-aprendizaje diferente al estilo magistral y ha de desarrollar competencialmente las capacidades de los estudiantes. Además, se persigue

ofrecer experiencias a los estudiantes que les puedan ayudar a enfrentarse a los conceptos básicos del electromagnetismo, así como la percepción que los estudiantes tienen de él referente a su utilidad e interés.

Abordar este reto planteó dificultades y facilidades que han debido ser superadas y aprovechadas, respectivamente.

En lo tocante a las **dificultades**, tres son las principales:

-**Tiempo**. En un curso de 2º de Bachillerato el tiempo es limitado y las actividades tienen que ajustarse lo máximo posible.

-**Alto coste** de montajes experimentales comerciales específicos para el estudio de los contenidos específicos de electromagnetismo de 2º de Bachillerato.

-**Poca experiencia experimental** de los estudiantes hasta la fecha. En el Bachillerato el nivel de experimentalidad es bajo, lo que provoca que los estudiantes no estén “suelos” con el trabajo en el laboratorio. Esto hizo cuestionar si la adquisición de datos y tratamiento de los mismos sería posible a lo largo de las sesiones en un tiempo razonable y con una mínima supervisión.

En cuanto a las **facilidades**:

-**Tamaño reducido del grupo** de estudiantes (18 alumnos y alumnas). Este tamaño otorga versatilidad a la hora de utilizar diferentes espacios del centro, sobre todo aquellos de menor tamaño, sin necesidad de desdobles.

-**Tutor profesional**. Estuvo totalmente abierto a probar nuevas propuestas, estando dispuesto a adquirir material nuevo y no siendo restrictivo con el tiempo (muy a valorar en un curso como el de 2º de Bachillerato).

-Laboratorio. El laboratorio del I.E.S. era usado de forma habitual por los cursos de la E.S.O., por lo que estaba en buen estado. Esto facilita su utilización para nuevas prácticas de laboratorio.

3.1. Marco normativo para el diseño de la propuesta didáctica

Toda propuesta didáctica que se plantee para afrontar el reto, ha de cumplir las disposiciones legales que estaban vigentes durante el desarrollo de las prácticas, es decir, durante el mes de marzo del presente curso 2021/2022. Esto corresponde a un conjunto de leyes y documentos que comienzan en un ámbito de aplicación amplio y se concretan de forma progresiva hacia su implementación en el centro.

El documento de ámbito más general es el Artículo 27 de la Constitución Española del 29 de diciembre de 1978. El siguiente nivel de concreción es de carácter nacional y corresponde con la Ley Orgánica de Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE) cuyo currículo se especifica en el Real Decreto (RD) 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. El siguiente nivel de concreción es de carácter autonómico y, para el caso de este TFM, corresponde al Decreto (D) 52/2015, de 21 de mayo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo del Bachillerato. El último escalón que se ha considerado es la programación didáctica del departamento de Física y Química del I.E.S.

Respecto a la información que se ha extraído de estos documentos, el Decreto (D) 52/2015 de la Comunidad de Madrid indica que las competencias generales, los contenidos, los criterios de evaluación, así como los estándares de aprendizaje evaluables (EAE) del Bachillerato están recogidos en el Real Decreto (RD) 1105/2014 LOMCE. Por ello, estos elementos del currículo se toman de este último.

3.2. Marco Teórico para el diseño de la propuesta

La elaboración de una propuesta didáctica que pretenda ser eficaz ha de estar sustentada no solo en la experiencia del docente y de su entorno cercano, sino también en el conocimiento publicado por la comunidad educativa global sobre los métodos docentes y sobre cómo mejorar el desempeño de los propios docentes.

En el s. XIX, las bases para el estudio de la función docente se centraban en el conocimiento que poseía el docente sobre los contenidos que impartía. A finales del s. XX el foco se redirigió hacia los conocimientos pedagógicos del docente, es decir, lo importante no era tanto que el docente supiese de su materia, sino que debía saber cómo enseñar. Estas dos dimensiones se trataban de forma independiente, como si nada tuviese que ver la una con la otra (fig. 1.a). Esto dio lugar a programas de formación y evaluación del profesorado que o bien se centraban en el conocimiento de los contenidos, o bien se dirigían exclusivamente hacia el conocimiento pedagógico.

En el año 1986, Shulman (1986), dio un paso hacia adelante en la comprensión de la función docente, al proponer el concepto de conocimiento pedagógico del contenido, del inglés *pedagogical content knowledge (PCK)*. Este tipo de conocimiento se haya en la intersección entre el conocimiento pedagógico y el conocimiento de los contenidos (fig. 1.b). La idea de Shulman residía en que la buena práctica docente consiste no solo en saber mucho sobre el contenido o sobre pedagogía general, sino en saber adaptar, ordenar y entrelazar ambos conocimientos para potenciar el proceso de enseñanza-aprendizaje. En la intersección del contenido y la pedagogía, se encuentran los temas que se tratan más a menudo en las aulas, junto a las más potentes analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones, es decir, las formas de representar y formular la materia.

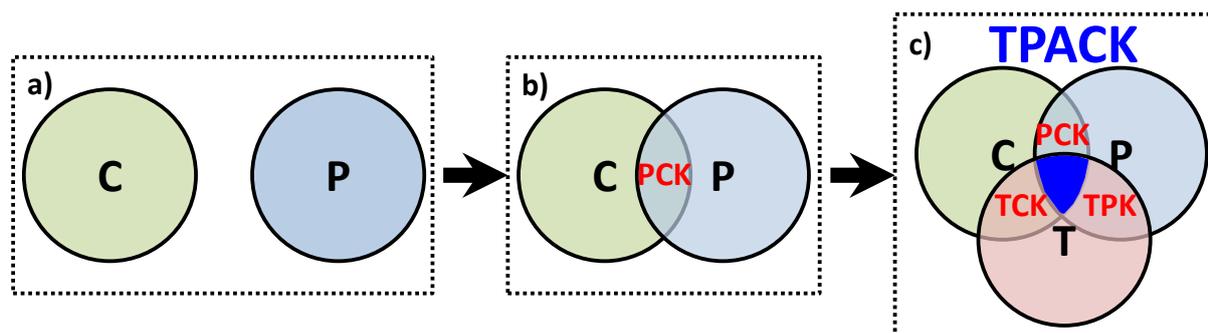


Figura 1: Evolución de la concepción de los conocimientos involucrados en el desempeño docente. a) Concepción inicial en la que el conocimiento de lo contenidos (C) y el conocimiento pedagógico (P) del docente son independientes. b) Modelo propuesto por Shulman en el que el conjunto de ambos conocimientos da lugar al conocimiento pedagógico del contenido (PCK). c) Modelo TPACK propuesto por Mishra y Koehler como extensión del modelo de Shulman. Se añade el conocimiento tecnológico al pedagógico y de los contenidos, dando lugar a nuevos tipos de conocimiento (TCK y TPK), siendo el más relevante el TPACK, es decir, el conocimiento pedagógico y tecnológico del contenido.

En los últimos años del s. XX y los primeros del s. XXI, se puso en relieve otra dimensión con impacto en la función docente que había sido obviada hasta entonces debido a las pocas variaciones que había sufrido: la tecnológica. Hasta ese momento, las herramientas tecnológicas presentes en el aula no habían evolucionado mucho (pizarra, tiza, una tabla periódica en la pared etc...). La irrupción de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la sociedad y, posteriormente, en las aulas hizo necesario un marco teórico que permitiese estudiar su efecto en la función docente. Dicho marco teórico fue propuesto por Mishra y Koehler en el año 2006 (Mishra y Koehler, 2006) y consistía en una extensión de la idea de Shulman. En este modelo denominado TPACK, del inglés *technological pedagogical content knowledge*, el conocimiento tecnológico se añade a los conocimientos sobre el contenido y la pedagogía (fig. 1.c). Estos tres conocimientos en conjunto generan intersecciones que corresponden a distintos tipos de conocimiento:

-Conocimiento pedagógico del contenido (PCK): este tipo de conocimiento corresponde al de la intersección entre el conocimiento pedagógico y el de los contenidos propuesta por Shulman.

-Conocimiento tecnológico del contenido (TCK): surge de la unión entre el conocimiento de la tecnología y de los contenidos. Este conocimiento corresponde a

saber utilizar las nuevas tecnologías para ofrecen nuevos sistemas de representación para los contenidos impartidos en el aula.

-Conocimiento tecnológico de la pedagogía (TPK): Consiste las nuevas tecnologías y sus posibles aplicaciones en los métodos docentes tanto en la forma de enseñar (conocer el grado de impacto de las diferentes técnicas), como en la forma de gestionar las aulas (registros de asistencia, calificaciones etc...).

-Conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido (TPACK): La intersección TPACK representa un conocimiento de importancia capital para el trabajo de los profesores con la tecnología. Este conocimiento es distinto de aquel que posee un experto en tecnología que desconoce el contenido o la pedagogía, o del de un profesor que conoce los contenidos y la pedagogía, pero desconoce la tecnología. TPACK representa el equilibrio, la capacidad del docente para utilizar los medios óptimos a su disposición para superar los obstáculos de aprendizaje de los estudiantes en los diferentes contenidos. Esta es la idea que se persigue en este TFM, aunar estos tres tipos de conocimientos para desarrollar una propuesta didáctica eficaz.

Para describir la propuesta didáctica de este TFM desde el punto de vista del marco TPACK, conviene indicar qué se entiende de forma concreta por los tres tipos de conocimiento y que elementos de estos conocimientos han sido relevantes en el diseño de la propuesta.

Conocimiento del contenido:

Este conocimiento, como su nombre indica, implica conocer la materia que se enseña. Sin embargo, tiene una dimensión adicional, que consiste en saber qué resulta difícil aprender para los estudiantes y por qué. La comprensión de los obstáculos permite diseñar formas de superarlos.

¿Y cuáles son las dificultades que encuentran los alumnos para aprender electromagnetismo? Sobre estas dificultades pueden encontrarse estudios publicados de revisión de bibliografía como el de (Osorio *et al.*, 2012) y el de (Jelicic *et al.*, 2017). Las dificultades más notables

publicadas y observadas también en los estudiantes del centro se encuentran las relacionadas con:

-Visualización espacial de las magnitudes. Los fenómenos electromagnéticos suelen requerir de sistemas de referencia tridimensionales para ser tratados. Esto precisa que los estudiantes sean capaces de leer información tridimensional correctamente de un diagrama bidimensional. El aumento de la dimensionalidad de los problemas podría estar detrás de algunas de las dificultades que tienen los estudiantes como por ejemplo, entender las relaciones entre las direcciones de las magnitudes involucradas (Sağlam y Millar, 2007) o determinar correctamente la dirección de la fuerza magnética que sufre una carga en movimiento (Jelicic *et al.*, 2017). La visualización de las magnitudes involucradas podría verse obstaculizada por la falta de experiencia práctica de los estudiantes con los fenómenos. Esta experiencia práctica, como se indicó en la sección 1 podría ser clave para la comprensión de los sistemas.

-Inducción electromagnética. Este concepto plantea serios problemas a los estudiantes tanto a nivel instituto, como universitario. De hecho, estudios realizados con estudiantes universitarios de carreras técnicas y científicas, tanto en España (Guisasola *et al.*, 2013), como en Croacia (Planinic, 2006) o Estados Unidos de América (Manoley *et al.*, 2001), muestran que los estudiantes no comprenden el fenómeno y se limitan a aplicar mecánicamente el formalismo. Lograr una comprensión conceptual profunda del fenómeno puede ser complicado para un nivel de instituto. Sin embargo, hay otro problema común que podría ser un buen punto de partida y más fácilmente abordable: Uno de los errores que cometen los estudiantes es interpretar incorrectamente la frase “se opone al cambio”, como “ir en la dirección contraria”; lo que produce errores en la predicción del sentido de la corriente inducida por un flujo de campo magnético variable (Jelicic *et al.*, 2017).

-El espectro electromagnético: En la enseñanza del espectro electromagnético suele enseñarse antes el formalismo matemático que los fenómenos o los conceptos detrás de la radiación electromagnética. Esto puede retrasar la comprensión y dar lugar a

dificultades de aprendizaje relativas a los fundamentos y aplicaciones del espectro electromagnético (Quebedeaux, 2007). Este enfoque fue el utilizado en el aula de prácticas. Durante las distintas observaciones en el aula se observó que los estudiantes no relacionaban como el mismo principio físico la luz visible y los rayos X, no asociaban que ambas fuesen ondas electromagnéticas que se diferenciaban en su longitud de onda y frecuencia.

Estas tres dificultades han sido observadas en los estudiantes con los que se hicieron las prácticas. Por lo que propuesta ha ido orientada a ayudarlos a superarlas.

Conocimiento pedagógico:

Este conocimiento se basa en saber cómo aprendemos para, de esta forma, diseñar acciones que promuevan el proceso de aprendizaje.

Las teorías constructivistas, planteadas inicialmente por Piaget y Vigotsky, modelaron el aprendizaje como un proceso en el que el estudiante construye conocimiento a partir de sus experiencias y sus saberes previos. El aprendiz establece relaciones entre las experiencias, obtenidas a partir de la interacción con el medio físico y social, y sus conocimientos previos para generar lo que Ausbel denominó “aprendizaje significativo”. Un aprendizaje que perdura en el tiempo por tener significado para el aprendiz, entendiendo por significado que está incorporado a su estructura de conocimientos interna.

La pregunta sería pues, ¿Cómo lograr un aprendizaje significativo del electromagnetismo? Villagrá y Sahelices (1995) indicaron algunas de las características de este tipo de aprendizaje que serían útiles a la hora de lograr este fin:

- Considerar los conocimientos previos, motivaciones y concepciones de los aprendices.

- Hacer responsables a los estudiantes de su propio aprendizaje, diseñando para ello actividades que les hagan participar de forma activa en la construcción de sus conocimientos.

-Ofrecer diversidad de actividades que permitan abordar las actividades desde diferentes perspectivas.

-Tener en cuenta que toda acción que conlleve el tratamiento de situaciones problemáticas, como por ejemplo las experiencias prácticas, son actividades que contribuyen a la consecución de un aprendizaje significativo.

-Aumentar la discusión en el aula, así como el diálogo entre los estudiantes y con el profesor, ya que a través de la interacción social las personas construyen conocimiento.

El diseño de una propuesta didáctica que pretenda generar un aprendizaje significativo debería atender a estos puntos.

Conocimiento tecnológico:

En primera instancia, este conocimiento podría relacionarse con la capacidad del docente de implementar soluciones tecnológicas de vanguardia: programando aplicaciones, creando robots, utilizando sensores etc... Sin embargo, no se limita a eso. El conocimiento tecnológico más que en saber implementar las últimas tecnologías, consiste en conocer que tecnologías, materiales y recursos tiene el docente a su disposición y cuáles son los más adecuados para utilizar en cada caso. Esto incluye tanto “nuevas” como “viejas” tecnologías.

Desde el punto de vista de las nuevas tecnologías. En un primer momento, como se ha indicado anteriormente, el modelo TPACK surgió a raíz de la aparición de las TIC. Sin embargo, a día de hoy las nuevas tecnologías engloban disciplinas más allá de las tecnologías digitales y computacionales, que poco a poco van permeando en las aulas y que, por tanto, han de ser consideradas.

Uno de los casos más llamativos es el de la impresión 3D. El potencial de la impresión 3D va más allá de ser enseñada como disciplina en las aulas de tecnología. Esta técnica tiene la

posibilidad de ser una herramienta docente transversal a todas las áreas de conocimiento y en especial de las ciencias. En la literatura pueden encontrarse artículos de revisión sobre las aplicaciones docentes que se están probando hoy en día (Ford y Minshall, 2019; Novak *et al.*, 2021). Entre ellas destacan algunas, como la de crear elementos de bajo coste que apoyen y refuercen el aprendizaje. Por ejemplo, fabricando modelos cristalográficos que los estudiantes puedan manipular (Moeck *et al.*, 2014), imprimiendo modelos de fracturas óseas para la formación del personal médico (Awan *et al.*, 2019) o imprimiendo elementos que, mediante su caracterización, permitan estudiar la flotabilidad (Novak y Wisdom, 2018). En este TFM, se ha utilizado la impresión 3D como herramienta tecnológica para diseñar y fabricar a medida parte del instrumental de laboratorio necesario para las prácticas propuestas.

Respecto a las tecnologías “viejas”, el autor de este texto clasifica bajo este término todo aquello que no esté bajo el foco de la atención pública a día de hoy (impresión 3D, realidad aumentada, edición audiovisual etc...). Es decir, todas aquellas técnicas, instrumentos y materiales que están a disposición del docente, pero que pueden pasar inadvertidos. El autor considera como parte del conocimiento tecnológico del docente, saber qué requisitos mínimos deben cumplir los elementos que requiera y dónde conseguirlos. Este saber dota al docente de libertad creativa y le permite ampliar el abanico de actividades realizables en el aula con un presupuesto ajustado.

3.3. Objetivos de la propuesta didáctica

Atendiendo a todo lo expuesto, este TFM presenta una propuesta didáctica experimental diseñada para la asignatura de Física de 2º de Bachillerato. La propuesta busca ofrecer a los estudiantes una serie de experiencias prácticas con los fenómenos electromagnéticos con los objetivos de:

-Ofrecer **experiencia práctica** que pueda ayudar a asimilar el formalismo curricular del electromagnetismo y que favorezca un aprendizaje significativo. En concreto se pretende:

-Mejorar la **capacidad de visualizar espacialmente** las direcciones y sentidos de las magnitudes físicas involucradas en electromagnetismo.

-Mejorar la distinción de los estudiantes entre “oponerse al cambio de flujo magnético” y “ser opuesto al campo magnético” en los problemas de **inducción electromagnética**.

-Reflexionar sobre aparatos cotidianos que usen ondas electromagnéticas y sobre las similitudes y diferencias entre las distintas radiaciones del **espectro electromagnético**.

-Desarrollar las **competencias científicas** relacionadas con la adquisición y proceso de datos experimentales.

-Mejorar la percepción de **utilidad** y el **interés** que los estudiantes muestran hacia el bloque de electromagnetismo.

-Ser de **bajo coste** e independientes unas de otras. Esto facilitaría su adopción en el centro educativo y permitiría el uso de algunas de ellas como parte de otras secuencias didácticas.

3.4. Propuesta didáctica

El análisis del diseño de la propuesta se aborda desde el modelo TPACK (fig. 2), ya que la propuesta emerge de la combinación de los conocimientos del contenido, tecnológicos y pedagógicos del autor de este TFM. Para el diseño de la propuesta se ha tenido en cuenta:

-**Conocimiento del contenido:** A partir de los estudios publicados en la literatura, se considera que las dificultades abordables que tienen los estudiantes en el aprendizaje del electromagnetismo corresponden a la visualización espacial de las magnitudes físicas, a la predicción del sentido de la corriente inducida por un flujo de campo magnético variable y a la incomprensión conceptual del espectro electromagnético.

-**Conocimiento tecnológico:** el autor posee conocimientos sobre impresión 3D y sobre los materiales necesarios y adquiribles a bajo coste para diseñar y fabricar montajes experimentales operativos. Esto facilita el diseño e implementación de propuestas asequibles para los centros de educación secundaria.

-**Conocimiento pedagógico:** Con el fin de lograr que los estudiantes realicen un aprendizaje significativo lo ideal es realizar diversas actividades de forma práctica, en las que los estudiantes trabajen en grupo y de forma autónoma, es decir, sean responsables de su aprendizaje.

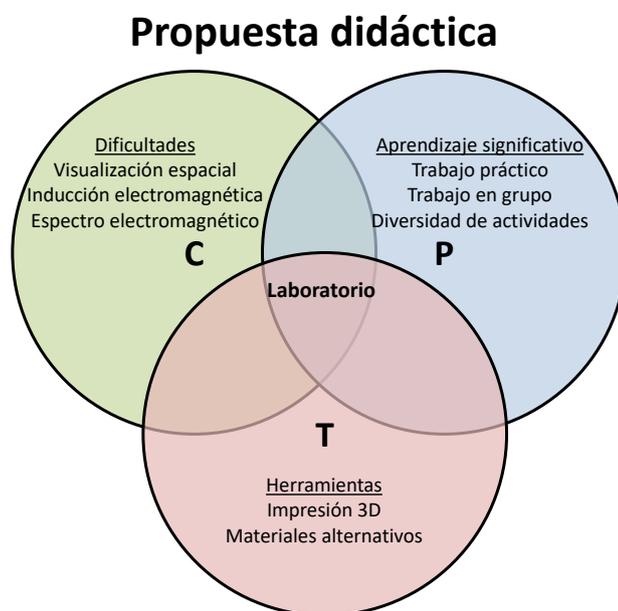


Figura 2: Propuesta didáctica visualizada en el marco TPACK. El diagrama muestra los principales conocimientos de contenidos, tecnológicos y pedagógicos tenidos en cuenta para el diseño de la propuesta didáctica.

La puesta en conjunto de estos tres conocimientos ha llevado a la conclusión de que una solución posible al reto planteado podría ser realizar **prácticas de laboratorio**. Estas prácticas de laboratorio permitirían a los estudiantes, mediante la **experimentación en grupo**, observar, hipotetizar, investigar y resolver cuestiones sobre fenómenos electromagnéticos. Las sesiones de prácticas se desarrollan con un formato de investigación dirigida en el que los guiones de laboratorio plantean **actividades de diversos tipos**. Estas actividades se clasifican en cinco grupos:

-Adquisición, tratamiento y análisis de datos cuantitativos: Están orientadas a desarrollar las capacidades de los estudiantes de extraer datos de equipos experimentales. Para la obtención de datos se trabajan dos enfoques: por un lado la regresión lineal como método para la obtención de valores y , por otro lado, el promedio de valores medidos como sistema de medida para reducir el error en la medida.

-Visualización y representación de campos e interacciones: Están orientadas a que los estudiantes presten atención a las direcciones espaciales, así como a la extensión espacial de las diferentes magnitudes estudiadas. Para ello, se les demanda tanto dibujos de lo que observan, como valores de distancia numéricos medidos.

-Explicación de fenómenos cotidianos: Se plantean preguntas que relacionan lo estudiado con fenómenos de la vida cotidiana sobre los que no se acostumbra a poner el foco de atención. El objetivo es hacer conscientes a los estudiantes de la comprensión profunda del mundo que les rodea que les brinda lo que han estudiado. En estas actividades se fomenta el diálogo entre los estudiantes, la búsqueda de información en internet o la discusión con el profesor. Este tipo de actividades fomentan la autonomía de los estudiantes y los hace responsables de su aprendizaje.

-Planteamiento de hipótesis: Tratan de estimular a los estudiantes a pensar sobre los fenómenos que están observando y que variables físicas los determinan. Solicitar el planteamiento de hipótesis sobre los fenómenos físicos que están observando favorece hacer responsables a los estudiantes de su proceso de aprendizaje.

-Órdenes de magnitud: Se han planteado preguntas que permitan obtener una idea sobre los órdenes de magnitud de la intensidad de los campos magnéticos. En nuestro día a día estamos familiarizados con lo que representan físicamente unidades como el metro, el litro o incluso el amperio. Sin embargo, la idea de lo representado por un tesla no es tan clara. Por ello, se ha decidido combinar los resultados de dos de las prácticas para aportar a los estudiantes esta idea.

El peso relativo de los distintos tipos de actividades no es uniforme. En la tabla 1 se presenta la distribución de cantidades de los tipos de preguntas en el conjunto de los cinco guiones de prácticas o informes que han de entregar los estudiantes.

Bloque de preguntas	% de preguntas
Adquisición, tratamiento y representación de datos	30%
Visualización de campos	33%
Explicación de fenómenos cotidianos	7.5%
Planteamiento de hipótesis	22%
Órdenes de magnitud	7.5%

Tabla 1. Porcentaje del número de preguntas de cada bloque de actividades respecto al número total de actividades de todos los bloques.

La mayor cantidad de preguntas relacionadas con la adquisición y tratamiento de datos (30%) y con la visualización de campos (33%) se debe a que son actividades directamente relacionadas con la consecución de dos de los objetivos principales planteados: desarrollar la capacidad experimental de los estudiantes y desarrollar su conocimiento mediante la visualización de los campos. El resto de actividades tienen un menor peso relativo ya que están enfocadas a ser detonantes de preguntas y a hacer notar a los estudiantes conceptos clave particulares.

El enfoque práctico y en grupo del trabajo en el laboratorio se espera potencie el aprendizaje significativo, al ofrecer la oportunidad de aprender haciendo, así como de conversar e interactuar tanto con sus compañeros, como con el profesor de forma individual y personalizada.

Se ha tratado de evitar rigidez en la propuesta, es decir, aquí la implementación de la propuesta ha consistido en realizar las 5 prácticas seguidas (ver sección 5). Sin embargo, se han diseñado modelos de prácticas independientes de modo que, en un futuro, puedan implementarse de forma individual a elección del docente. En la sección 5.5, se plantean alternativas de implementación que el autor, a la vista de los resultados, considera interesantes.

4. Prácticas de Laboratorio

En esta sección se presentan los elementos más relevantes de las prácticas de laboratorio propuestas: su descripción y su perfil curricular, es decir, los criterios de evaluación, estándares de aprendizaje evaluables (EAE) y competencias trabajados. En el Anexo I puede encontrarse, además de los guiones de las prácticas, más información relativa a los montajes experimentales implementados (planos, enlaces de compra...).

4.1. Descripción de las prácticas

Se han desarrollado 5 prácticas:

- Práctica 1: Fuerza de Lorentz
- Práctica 2: Campo magnético generado por una corriente rectilínea
- Práctica 3: Generación de campos magnéticos por corrientes circulares
- Práctica 4: Inducción electromagnética
- Práctica 5: Ondas microondas

Práctica 1: Fuerza de Lorentz

En esta práctica se persiguen como objetivos específicos:

- Visualizar espacialmente la relación entre las direcciones y sentidos de la corriente eléctrica, campo magnético y fuerza de Lorentz.
- Caracterizar la intensidad de campo magnético generado por dos imanes permanentes de neodimio.
- Desarrollar la capacidad de adquisición y tratamiento de datos experimentales por medio de regresiones lineales.

Para ello, se ha diseñado un guion disponible en el Anexo I. Este guion presenta siete preguntas que se corresponden con los tipos de actividades descritas en la sección 3.4. La distribución de los tipos de actividades se presenta en la tabla 2.

Bloque de preguntas	% de preguntas en la P1
Adquisición, tratamiento y representación de datos	57%
Visualización de campos	29%
Explicación de fenómenos cotidianos	0%
Planteamiento de hipótesis	0%
Órdenes de magnitud	14%

Tabla 2: Distribución de las preguntas de la práctica 1. Porcentaje de preguntas de cada bloque de actividades en la práctica 1 sobre un total de 7 dedicada a estudiar la fuerza de Lorentz.

Para realizar la práctica se utiliza un montaje denominado balanza de corriente (fig. 3.a). En este montaje se hace circular una corriente eléctrica por una región donde se encuentra un campo magnético estacionario generado por imanes permanentes de neodimio. La idea es, a través del cambio de peso aparente del zócalo que soporta los imanes, caracterizar el valor de la fuerza de Lorentz. El cambio en el peso aparente se produce al hacer circular corriente por el cable. Comparando las fig. 3.b y la fig. 3.c se puede observar dicha variación. Mediante la fuerza de Lorentz medida y realizando una regresión lineal los estudiantes obtienen el valor del campo magnético producido por los imanes permanentes ($\sim 10^{-2}$ T).

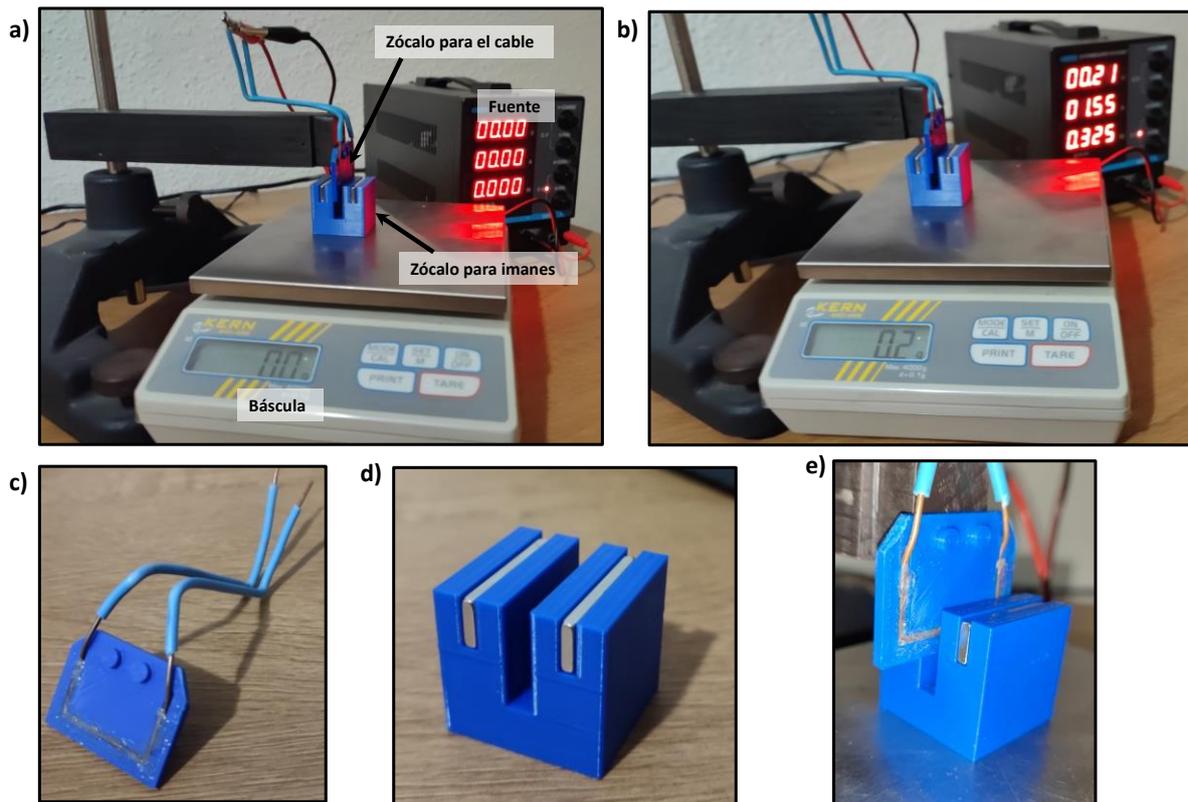


Figura 3: Montaje de la práctica 1 para caracterizar la fuerza de Lorentz. a) Fotografía del montaje donde se señalan los elementos más relevantes: fuente de alimentación, zócalos para el cable y los imanes, imanes, báscula y pie de laboratorio. b) Montaje operativo con la báscula tarada a 0 cuando no circula corriente por el cable. c) Cambio en la fuerza peso aparente del zócalo de los imanes producido por la fuerza de Lorentz.

Este montaje es una adaptación realizada de modelos comerciales, vendidos por compañías especializadas, destinados a docencia universitaria. En el momento de la escritura de este manuscrito, este montaje se vende por aproximadamente 1100 €. Este coste puede resultar prohibitivo para los centros de educación secundaria. Para hacer accesible el montaje se han diseñado y fabricado parte de las piezas necesarias mediante impresión 3D, en concreto los zócalos para los imanes y para el cable y los pernos para sujetar el zócalo del cable al pie de laboratorio. Los planos e indicaciones adjuntos en el Anexo I permiten obtener un montaje funcional por menos de 100 €.

Práctica 2: Campo magnético generado por una corriente rectilínea

Los objetivos principales de esta práctica son:

- Visualizar espacialmente la dirección y sentido del campo magnético generado por una corriente eléctrica rectilínea.
- Adquirir y tratar datos utilizando el promedio de datos discretos como método.
- Caracterizar el orden de magnitud de la intensidad del campo magnético terrestre.

Para ello, se ha diseñado un guion disponible en el Anexo I. Este guion presenta seis preguntas que se corresponden con los tipos de actividades descritas en la sección 3.4, de la forma indicada en la tabla 3:

Bloque de preguntas	% de preguntas en la P2
Adquisición, tratamiento y representación de datos	33%
Visualización de campos	33%
Explicación de fenómenos cotidianos	0%
Planteamiento de hipótesis	17%
Órdenes de magnitud	17%

Tabla 3: Distribución de las preguntas de la práctica 2: Porcentaje de preguntas de cada bloque de actividades sobre un total de seis preguntas en la práctica 2 dedicada a estudiar el campo magnético generado por una corriente rectilínea.

Para realizar la práctica se utiliza un montaje que consiste en una plataforma con brújulas (fig. 4.a). A través de la plataforma se pasa un cable por el que se hace circular una corriente eléctrica. A primer orden esta corriente es rectilínea y perpendicular al plano de las brújulas.

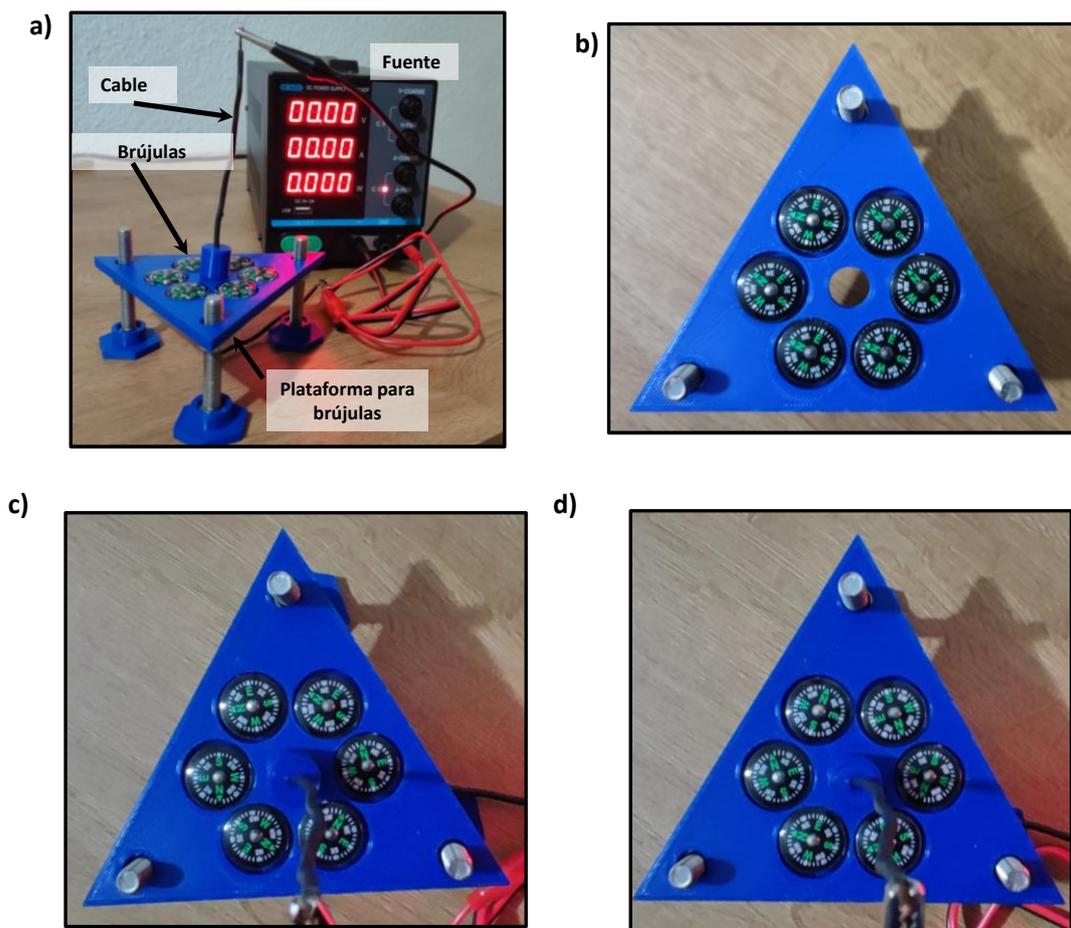


Figura 4: Montaje de la práctica 2 para caracterizar el campo magnético creado por una corriente rectilínea. a) Fotografía donde se indica los principales elementos del montaje: plataforma para las brújulas, brújulas, cable rectilíneo y fuente de corriente. b) Fotografía mostrando el sentido al que apuntan las brújulas cuando no se aplica corriente eléctrica. c) Fotografía mostrando el sentido al que apuntan las brújulas cuando se aplica corriente eléctrica que circula hacia fuera de la imagen. d) Lo mismo que en c), pero invirtiendo el sentido de la corriente.

Las brújulas actúan como sensores de campo magnético. Inicialmente, se alinean siguiendo el campo magnético terrestre (fig. 4.b). Al aplicar una diferencia de tensión al cable, circula una corriente eléctrica que produce un campo magnético alrededor del cable, cuya intensidad puede calcularse a partir de la ley de Ampère y viene dada por la expresión:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad \text{ec. 1}$$

donde μ_0 permeabilidad magnética del vacío, I la intensidad de corriente eléctrica y r la menor distancia del punto donde se calcula el campo al eje de la corriente. Cuando la intensidad del campo magnético generado por la corriente supera a la intensidad del campo

magnético terrestre, las brújulas se reorientan siguiendo la dirección del campo magnético generado por el cable (fig. 4.c). A partir del valor de corriente eléctrica necesario para reorientar las brújulas (entre 3 y 4 amperios) es posible obtener un valor del orden de magnitud del campo magnético terrestre ($\sim 10^{-5}$ T). Por último, al invertir el sentido de corriente, los estudiantes pueden observar el cambio de sentido del campo magnético generado por la corriente (fig. 4.d). Esto les permite utilizar y comprobar de forma experimental la “regla de la mano derecha” con la que están acostumbrados a trabajar en los problemas académicos.

La plataforma necesaria para el montaje de esta práctica se ha fabricado mediante impresión 3D. Los planos para ello e indicaciones adicionales pueden encontrarse en el Anexo I. Cabe mencionar, que si bien se obtiene un orden de magnitud razonable para la intensidad de campo magnético terrestre, éste no es tan preciso como el que puede obtenerse con un montaje basado en bobinas de Helmholtz. Sin embargo, la diferencia de precio entre el montaje aquí presentado (menor a 20€, si se dispone de fuente de alimentación) y las mencionadas bobinas (aproximadamente 1500 € en el momento de escritura de este TFM) convierte a este montaje en una opción atractiva para la educación secundaria.

Esta experiencia junto con la anterior (P1: Fuerza de Lorentz) posee un carácter sinérgico. Permiten al finalizar las dos comparar los órdenes de magnitud de las intensidades de campo magnético de la tierra y de los imanes permanentes de neodimio. Obteniéndose una diferencia de aproximadamente tres órdenes de magnitud. Esto permite a los estudiantes contextualizar la unidad del tesla comparando el campo magnético terrestre con los imanes que típicamente se pueden manejar. Además, abre la puerta a introducir otro orden de magnitud, el de los campos magnéticos aplicados en los aparatos de diagnóstico médico de resonancia magnética que, del orden de 1 T, diez mil veces más intenso que el campo magnético terrestre.

Práctica 3: Generación de campos magnéticos por corrientes circulares

Los objetivos principales de esta práctica son:

- Visualizar espacialmente el campo magnético generado por una espira y un solenoide.
- Comprender el concepto de solenoide como un conjunto de espiras que permite producir un campo magnético más intenso que espiras individuales.
- Introducir el concepto de electroimán y observar el efecto producido por el núcleo de hierro.
- Relacionar los electroimanes con aplicaciones de la tecnología cotidiana (electroválvulas, grúas de las chatarrerías...).

Para ello, se ha diseñado un guion disponible en el Anexo I. Este guion presenta seis preguntas que se corresponden con los tipos de actividades descritas en la sección 3.4, de la forma indicada en la tabla 4:

Bloque de preguntas	% de preguntas en la P2
Adquisición, tratamiento y representación de datos	0%
Visualización de campos	50%
Explicación de fenómenos cotidianos	0%
Planteamiento de hipótesis	50%
Órdenes de magnitud	0%

Tabla 4: Distribución de las preguntas de la práctica 3: Porcentaje de preguntas de cada bloque de actividades sobre un total de 6 totales en la práctica 3 dedicada a estudiar los campos magnéticos creados por corrientes eléctricas con geometría circular.

Esta práctica de tipo cualitativo consiste en una secuencia de experimentos (fig. 5.a-c) que permiten observar cómo el campo magnético generado por una corriente con geometría

circular se intensifica al pasar de una espira conductora a un solenoide y de éste a un electroimán. Para ello, se utiliza una brújula como sensor de campo magnético.

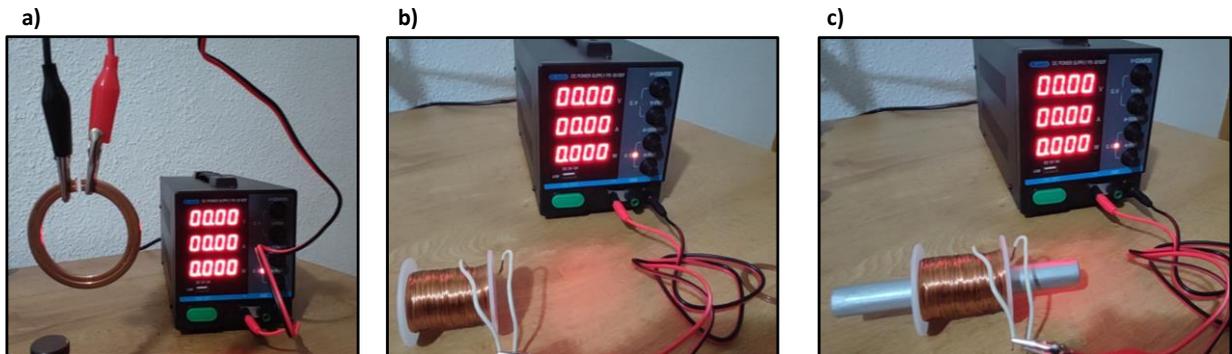


Figura 5: Montajes experimentales utilizados para caracterizar el campo magnético creado por corrientes circulares. a) Espira conductora de cobre cerrada a través de la fuente de tensión. b) Solenoide de cable de cobre esmaltado. c) Electroimán formado por el solenoide de b) y una barra de hierro.

Las observaciones se realizan aplicando corrientes eléctricas a los elementos conductores, y acercando desde un punto alejado una brújula siguiendo la dirección del eje de simetría del elemento. En el proceso de acercamiento de la brújula, a cierta distancia, la brújula cambia de dirección y sentido. Esta distancia (d) se considera de referencia para comparar los campos magnéticos generados por los diferentes dispositivos, siendo $d_{\text{espira}} < d_{\text{solenoides}} < d_{\text{electroimán}}$.

Por último, se ofrece la oportunidad de experimentar con un electroimán “optimizado” (fig 6.a) fabricado a partir de un transformador de microondas desechado. Este electroimán soporta mayores corrientes eléctricas y cuenta con un núcleo de hierro de mayor tamaño, lo que produce un campo magnético suficientemente intenso para levantar un pie de laboratorio de (~ 5 kg), como puede verse en la fig. 6.b. Esta última parte de la práctica persigue generar impacto en los estudiantes al levantar el peso del pie con el electroimán.

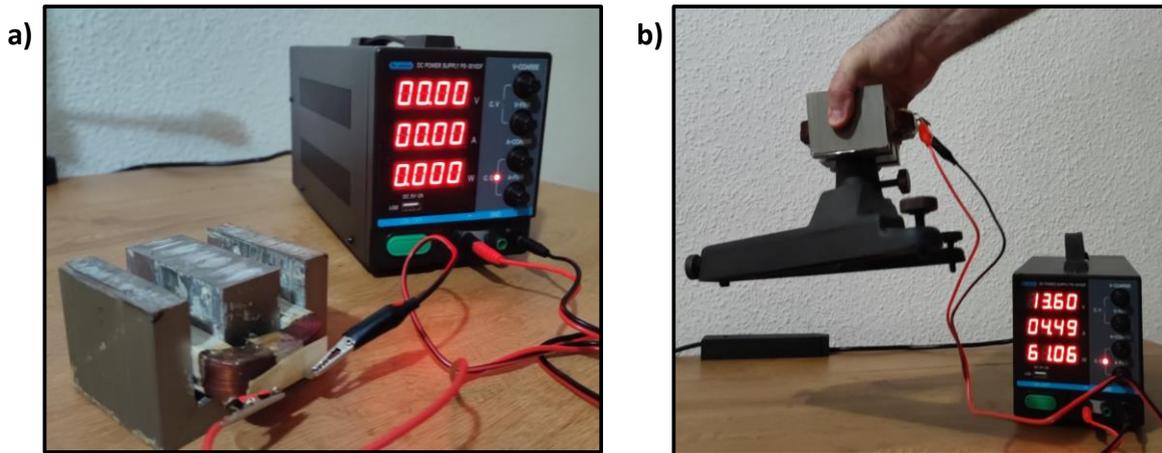


Figura 6: Electroimán “optimizado”. a) Fotografía del electroimán obtenido a partir de un transformador de microondas reciclado. b) Levantamiento de un peso mediante el electroimán.

Relativo al montaje. Las espiras empleadas son juntas de cobre utilizadas en los sistemas de ultra-alto vacío adquiribles a 1.4 € la unidad (ver Anexo I). Respecto al solenoide, se propone como alternativa a los solenoides educativos típicamente utilizados, el uso de carretes de hilo de cobre esmaltado de 0.5 mm de diámetro por dos razones. La primera es que aunque los solenoides comerciales pueden encontrarse con diámetros similares, por lo general los solenoides de los centros educativos (adquiridos en el pasado) están fabricados con cables de cobre de diámetro menor. Esto hace que presenten una mayor resistencia y dificultan alcanzar las corrientes eléctricas necesarias para la experiencia, esto es del orden de 2 amperios. La segunda razón es el coste, un solenoide comercial se vende por unos 66 €, mientras que el mencionado carrete de cobre esmaltado puede adquirirse por unos 15 €.

Práctica 4: Inducción electromagnética

Los objetivos principales de esta práctica son:

- Visualizar espacialmente la ley de Faraday-Lenz, en particular el sentido de la corriente eléctrica inducida en una espira por la variación del flujo de campo magnético.
- Profundizar en la comprensión de la inducción electromagnética.
- Observar cómo la inducción electromagnética puede actuar como freno magnético.

Para ello, se ha diseñado un guion disponible en el Anexo I. Este guion presenta cuatro preguntas que se corresponden con los tipos de actividades descritas en la sección 3.4, el peso relativo de los tipos de preguntas se presenta en la tabla 5.

Bloque de preguntas	% de preguntas en la P2
Adquisición, tratamiento y representación de datos	25%
Visualización de campos	50%
Explicación de fenómenos cotidianos	0%
Planteamiento de hipótesis	25%
Órdenes de magnitud	0%

Tabla 5: Distribución de las preguntas de la práctica 4: Porcentaje de preguntas de cada bloque de actividades sobre un total de cuatro preguntas en la práctica 4 dedicada a estudiar la inducción electromagnética.

Para realizar esta práctica se utilizan dos montajes destinados a:

-Observar la corriente inducida en una espira conductora por el cambio de flujo magnético. Para ello, los alumnos acercan y alejan un conjunto de imanes a una espira de cobre para observar el sentido de circulación de la corriente eléctrica inducida. Esta espira ha sido previamente cortada para abrir el circuito y poder cerrarlo posteriormente a través de un amperímetro (fig. 7.a). Antes de acercar los imanes los estudiantes identifican los polos del bloque de imanes haciendo uso de una brújula (fig 7.b.). Tras esto se procede a acercar el imán y alejarlo para determinar el sentido de la corriente inducida.

a)



b)



Figura 7: Montaje para la medida del sentido de la corriente inducida en una espira por un flujo de campo magnético variable. a) Espira de cobre abierta por un corte y posteriormente cerrada por un amperímetro. b) Identificación de los polos del bloque de imanes de neodimio

Este tipo de prácticas generalmente se realizan utilizando solenoides en lugar de espiras individuales. El motivo por el que aquí se propone usar espiras de cobre es facilitar la visualización del sentido de la corriente. Cuánto más sencillo sea un circuito, más fácil será interpretarlo. La contrapartida y el motivo por el que se usan los solenoides es la pequeña magnitud de la corriente eléctrica inducida en la espira. En el caso del montaje presentado esta es de unos pocos microamperios, un valor medible por los multímetros, pero no detectables por los galvanómetros de aguja clásicos empleados en demostraciones educativas.

-Experimentar con un freno magnético. Esta experiencia consiste en un tubo de cobre inclinado por el que se deja caer una tuerca y un imán (fig. 8). Se observan y miden los tiempos de caída de la tuerca y el imán, obteniéndose un valor significativamente mayor para este último. La idea es hacer reflexionar a los estudiantes sobre el motivo por el que el imán se frena (inducción electromagnética), para ello, se les guía para que comprueben que el cobre no es atraído por los imanes y que, por tanto, no es una respuesta magnética similar a la que presentan dos imanes, la causante de la frenada.

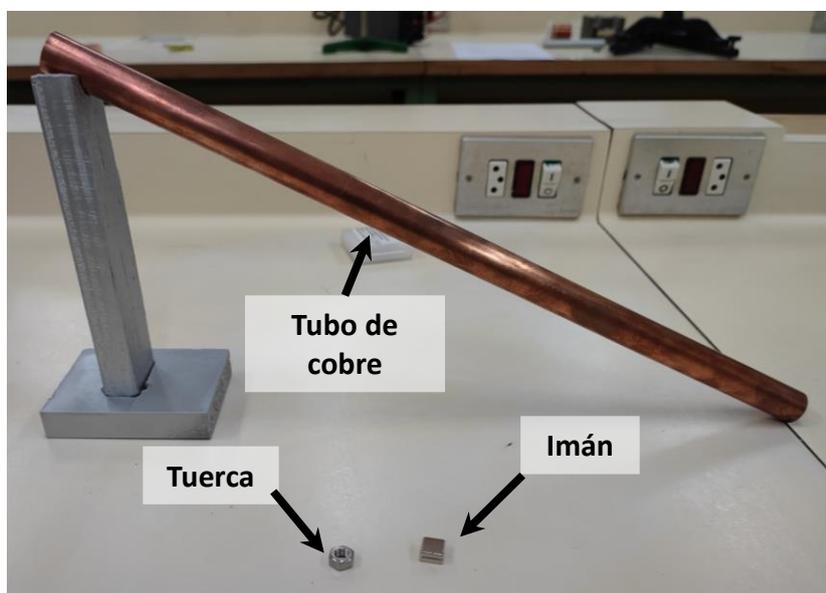


Figura 8: Montaje de freno magnético. Fotografía mostrando un tubo de cobre por el que se deja caer una tuerca y un imán con el fin de comprar la diferencia de tiempo caída.

Práctica 5: Ondas microondas

Los objetivos principales de esta práctica son:

- Utilizar la expresión que relaciona longitud de onda, frecuencia y velocidad de propagación de una onda, para obtener la velocidad de propagación de una onda electromagnética.
- Reflexionar sobre las ondas electromagnéticas en concreto sobre las similitudes y las diferencias entre radiación visible y microondas.
- Introducir el concepto de jaula de Faraday.

Para ello, se ha diseñado un guion disponible en el Anexo I. Este guion presenta cuatro preguntas que se corresponden con los tipos de actividades descritas en la sección 3.4, con un peso relativo indicado en la tabla 6:

Bloque de preguntas	% de preguntas en la P2
Adquisición, tratamiento y representación de datos	25%
Visualización de campos	0%
Explicación de fenómenos cotidianos	50%
Planteamiento de hipótesis	25%
Órdenes de magnitud	0%

Tabla 6: Distribución de las preguntas de la práctica 5: Porcentaje de preguntas sobre un total de 4 de cada bloque de actividades en la práctica 5 dedicada a estudiar las ondas electromagnéticas.

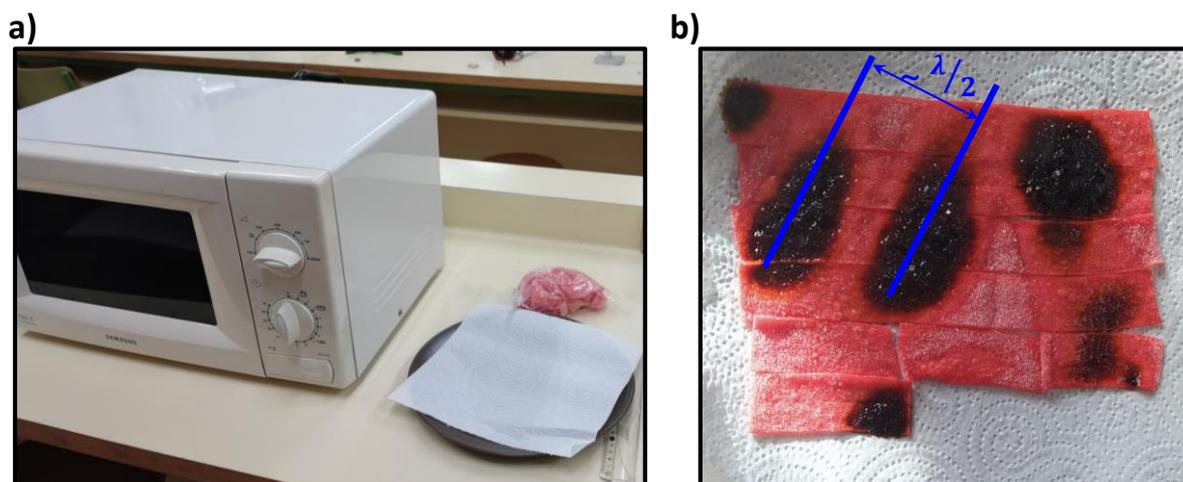


Figura 9. Montaje para la medida de la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas. a) Fotografía de los elementos necesarios: horno microondas, lenguas de gominola y plato donde colocarlas para calentarlas. b) Resultado de meter las lenguas de gominola en el horno microondas sin rotación. La distancia entre los centros de las quemaduras permiten obtener un valor aproximado para la mitad de la longitud de onda (λ).

Esta práctica se realiza con un horno microondas doméstico (fig. 9). Para medir la velocidad de propagación de una onda electromagnética se introducen lenguas de gominola en el horno, suprimiendo la rotación del plato por parte del horno. Tras esto, se enciende el horno a máxima potencia para quemar las gominolas, el resultado son zonas quemadas y zonas sin quemar de las gominolas, midiendo la distancia entre zonas quemadas (~ 6 cm) se obtiene la mitad de la longitud de onda de las microondas. Con este valor y sabiendo que la frecuencia de las microondas es de 2.45 GHz, puede obtenerse un valor aproximado de la velocidad de propagación de una onda electromagnética, mediante la expresión:

$$c = f \cdot \lambda \quad \text{ec. 2}$$

, donde c es la velocidad de propagación, f su frecuencia y λ su longitud de onda. En esta práctica se plantean preguntas que tratan de hacer reflexionar a los estudiantes sobre fenómenos electromagnéticos que les rodean en su día a día que les permitan avanzar en su proceso de aprendizaje. Las dos preguntas principales son: “Si las ondas electromagnéticas de luz visible transportan más energía que las microondas ¿Por qué las microondas calientan la comida más que la luz visible?” y “Si el microondas es una jaula de Faraday que impide salir a las ondas electromagnéticas de tipo microondas de su interior ¿Por qué podemos ver

lo que pasa dentro del microondas? es decir, “¿Por qué las ondas de luz visible si pueden atravesar la jaula de Faraday?”.

Estas preguntas son de un nivel más avanzado de lo usual. La idea es que discutan entre los estudiantes del grupo cual creen que pueden ser las razones y que busquen información en sus móviles. Este tipo de preguntas se han introducido en esta práctica por ser la más rápida de todas las prácticas (el proceso de quemado de las lenguas son unos 3 minutos), esto la hace ideal para dejar tiempo al debate.

4.2. Perfil curricular de las prácticas

De entre las siete competencias generales básicas recogidas en el Real Decreto (RD) 1105/2014, las trabajadas en las prácticas propuestas son:

- **Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT)**: esta competencia se relaciona con la capacidad de comprender el mundo desde la perspectiva del método científico y utilizando las matemáticas y la tecnología. Esto es la principal tarea de las prácticas, experimentar con fenómenos físicos, para desde un enfoque científico caracterizarlos cualitativa y cuantitativamente.

- **Competencia lingüística (CL)**: esta competencia se trabaja mediante la lectura comprensiva y la escritura. La lectura comprensiva se trabaja mediante los guiones que los estudiantes tendrán que leer con detenimiento para comprender que actividades experimentales han de realizar. Respecto a la escritura, esta se trabaja principalmente en las preguntas abiertas de tipo hipótesis y de conflicto cognitivo, donde se pide que redacten de forma coherente y cohesionada sus conclusiones utilizando un lenguaje técnico apropiado.

- **Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor (SIEE)**: Por un lado, el que tengan que hacer los experimentos ellos mismos y con mínima supervisión hace que tengan que dar un paso adelante y tomar cartas en el asunto. Por otro lado, en buena parte de las preguntas de hipótesis, los estudiantes tienen la oportunidad de probar por ellos mismos sus propuestas. Son ellos, los que han de pensar, proponer y llevar a cabo las experiencias.

-Competencia social y cívica (CSC): Durante las prácticas trabajan en grupo, teniendo que colaborar y gestionando entre ellos quien se encarga de la toma de datos, quien de realizar los dibujos pedidos, manejar el sistema experimental, entregar el informe etc...

-Competencia Aprender a Aprender (CAA). Esta competencia se pretende desarrollar mostrando a los estudiantes formas de aprendizaje distintas a la resolución de problemas de forma matemática y la memorización de contenidos. En concreto, se pretende mostrar cómo haciéndonos preguntas, podemos encontrar las lagunas de conocimiento que tenemos y así profundizar en la comprensión de los fenómenos.

Junto con estas competencias las prácticas trabajan criterios de evaluación (CE) y estándares de aprendizaje evaluables (EAE) recogidos en el Real Decreto (RD) 1105/2014. En la tabla 7, se muestra un perfil curricular de las prácticas, donde se indican específicamente los EAE, CE y competencias se trabajan en cada práctica.

Práctica	Contenidos	Criterios de Evaluación	Estándares de Aprendizaje Evaluables	Comp.
1: Ley de Lorentz	-Campo magnético generado por imanes permanentes -Fuerza de Lorentz -Regresión lineal	1. Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica. 8. Conocer el movimiento de una partícula cargada en el seno de un campo magnético. 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.	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. 1.3. 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 principios físicos subyacentes. 8.1. Describe el movimiento que realiza una carga cuando penetra en una región donde existe un campo magnético.	CMCT CL CAA CSC
2: Generación de campo magnético por una corriente rectilínea	-Campo magnético creado por una corriente eléctrica rectilínea -Intensidad de campo magnético terrestre -Promedio de valores como método de adquisición de datos	1. Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica. 9. Comprender y comprobar que las corrientes eléctricas generan campos magnéticos. 15. Valorar la ley de Ampère como método de cálculo de campos magnéticos.	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. 1.3. 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. 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. 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.	CMCT CL CAA CSC SIEE
3: Generación de campos magnéticos por corrientes circulares	-Campo magnético creado por una espira -Campo magnético creado por un solenoide -Electroimán	1. Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica. 12. Describir el campo magnético originado por una corriente rectilínea, por una espira de corriente o por un solenoide en un punto determinado.	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. 12.2. Caracteriza el campo magnético creado por una espira y por un conjunto de espiras.	CMCT CL CAA CSC SIEE

<p>4: Inducción electromagnética</p>	<p>-Inducción de corriente eléctrica por un flujo de magnético variable -Sentido de la corriente eléctrica inducida</p>	<p>1. Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica. 16. Relacionar las variaciones del flujo magnético con la creación de corrientes eléctricas y determinar el sentido de las mismas.</p>	<p>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. 1.3. 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. 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>	<p>CMCT CL CAA CSC SIEE</p>
<p>5:Ondas electromagnéticas</p>	<p>-Microondas -Longitud de onda y frecuencia -Espectro electromagnético -Jaula de Faraday</p>	<p>1. Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica. 15. Comprender las características y propiedades de las ondas electromagnéticas, como su longitud de onda, polarización o energía, en fenómenos de la vida cotidiana. 18. Determinar las principales características de la radiación a partir de su situación en el espectro electromagnético. 19. Conocer las aplicaciones de las ondas electromagnéticas del espectro no visible</p>	<p>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. 1.3. 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. 15.2. Clasifica casos concretos de ondas electromagnéticas presentes en la vida cotidiana en función de su longitud de onda y su energía. 18.1. Establece la naturaleza y características de una onda electromagnética dada su situación en el espectro. 18.2. Relaciona la energía de una onda electromagnética con su frecuencia, longitud de onda y la velocidad de la luz en el vacío. 19.1. Reconoce aplicaciones tecnológicas de diferentes tipos de radiaciones, principalmente infrarroja, ultravioleta y microondas.</p>	<p>CMCT CL CAA CSC SIEE</p>

Tabla 7. Perfil curricular de las prácticas. Desglose de los contenidos, criterios de evaluación, estándares de aprendizaje y competencias trabajados en cada práctica.

5. Implementación y evaluación de la propuesta

En esta sección se describe la implementación de la propuesta didáctica. Una visión gráfica del contenido de esta sección se presenta en la fig. 11. En las diferentes subsecciones se describe: **i)** la implementación (fases, distribución del tiempo, espacios); **ii)** las diferentes evaluaciones que se han realizado al inicio, durante y al final; **iii)** los resultados obtenidos y su análisis. Por último, se evalúa la implementación de la propuesta indicando los puntos fuertes y débiles observados, así como propuestas de mejora para futuras implementaciones.

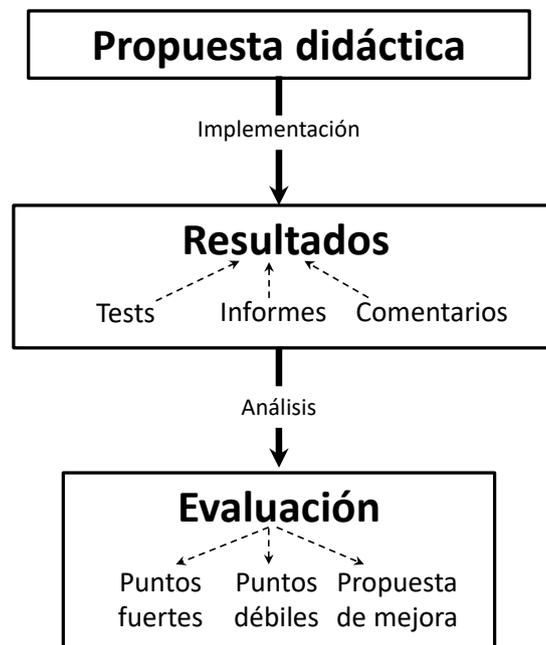


Figura 10: Esquema de la sección de implementación y evaluación de la propuesta.

5.1. Métodos de evaluación de la propuesta

El impacto de la propuesta didáctica se ha evaluado atendiendo a dos parámetros:

-Efecto sobre el **interés** de los estudiantes hacia el electromagnetismo y la **percepción de utilidad** que tienen de él.

-Efecto sobre el **conocimiento que los estudiantes** tienen de los contenidos.

Para ello, se han utilizado como instrumentos de evaluación de la propuesta:

-**Tests**. Utilizados para evaluar el interés, la percepción de utilidad, los conocimientos y el impacto de las prácticas.

-**Preguntas abiertas de opinión**. Utilizados para evaluar los puntos fuertes y débiles de la propuesta y proponer mejoras.

-Las respuestas de los **informes de laboratorio** que entregaron los grupos de estudiantes. Utilizados para evaluar los conocimientos y el impacto de las prácticas.

Los test realizados han sido dos: uno de motivación y utilidad y otro de contenidos. Ambos test se han realizado antes y después de la implementación de la propuesta. Estos test se han realizado teniendo en cuenta el factor tiempo, tan limitante en 2º de Bachillerato, por lo que se ha ajustado lo máximo posible el tamaño de los test. Los test han consistido en:

El **test de motivación y utilidad**, es una traducción del test validado *Intrinsic Motivation Inventory* (IMI, 2022). Este test consta de 7 subescalas y está destinado a evaluar la experiencia subjetiva de los participantes respecto a una actividad. De sus subescalas se han elegido dos para evaluar la propuesta didáctica: La de interés/disfrute y la de utilidad/valor. La subescala de interés se relaciona con la motivación intrínseca, mientras que la de valor/utilidad trata de evaluar la percepción de utilidad que se tiene sobre la actividad realizada. La idea de realizar este test es conocer si este tipo de propuestas experimentales resultan interesantes para los estudiantes y si con ellas se mejora la percepción que tienen de un bloque de contenidos. Las preguntas y su orden han sido el mismo tanto en la evaluación inicial como en la posterior. El test puede consultarse en el Anexo II, donde se muestran las preguntas y se explica la obtención de datos a partir de las respuestas de los estudiantes.

El **test de conocimientos** consiste en 5 preguntas de respuesta única correcta. Las preguntas son de dos tipos: test y de dibujar el sentido de las corrientes eléctricas y de los campos magnéticos. Cada una de las preguntas está relacionada con uno de los experimentos a realizar en la propuesta didáctica y tratan de ofrecer información sobre el impacto de las prácticas individuales. Los test de conocimiento que se han realizado antes y después de la implementación, preguntan los mismos contenidos, pero reescribiendo las preguntas o cambiando la disposición de los elementos cuando se trata de dibujar campos y corrientes. Estas diferencias pueden apreciarse al comparar ambos test en el Anexo II.

En las evaluaciones que se realizaron posteriores a la implementación de la propuesta, se añadieron **preguntas abiertas**. Estas preguntas abiertas han tenido un doble fin. Por un lado, recoger información cualitativa que permitiese evaluar la propuesta desde otra perspectiva, así como buscar debilidades y fortalezas de la propuesta. Por otro lado, servir como ejercicio de meta cognición para los estudiantes, es decir, hacerles parar a recapitular sobre lo que han hecho en las prácticas, preguntándoles que es lo que cambiarían o que es lo que más y menos les ha gustado.

Como último elemento para la evaluación de la propuesta se han utilizado las respuestas de los estudiantes a las preguntas planteadas en los guiones de laboratorio. Estas respuestas se entregaron como **informe de laboratorio** tras finalizar todas las prácticas y han servido para valorar las dificultades y facilidades que los estudiantes han encontrado en la realización de las prácticas.

El autor es consciente de lo pequeño del grupo de estudio (18 estudiantes) y, por ello, la escasa estadística y robustez de los datos recogidos a la hora de elaborar conclusiones. El objetivo de las mencionadas evaluaciones es detectar indicios sobre posibles puntos fuertes y débiles de la propuesta que puedan ser estudiados con más detalle y rigor en el futuro. El sistema de evaluación aplicado en este TFM empleado con una muestra de estudiantes mayor podría aportar datos sólidos para un estudio en mayor profundidad.

5.2. Espacio

Las prácticas se han realizado en el laboratorio de física y química del I.E.S., el cual puede observarse en la fotografía de la fig. 11. El laboratorio cuenta con cuatro bancadas y espacio suficiente para que los 18 estudiantes hayan podido trabajar cómodamente.



Figura 11: Laboratorio de Física y Química del I.E.S. Juan de Mairena. La fotografía muestra el aspecto del laboratorio previo a la llegada de los estudiantes. Las cinco prácticas se encuentran montadas en las diferentes bancadas.

En la fotografía se presenta el estado del laboratorio momentos antes de la llegada de los estudiantes. Con el fin de ahorrar tiempo, todos los montajes experimentales estaban listos para ser usados sin requerir ningún tipo de montaje por parte de los estudiantes. Además, en la pizarra se dejó por escrito las dos normas de seguridad principales del laboratorio, las cuales se recordaron de forma oral también al inicio de las prácticas. Estos son: “No tocar los dispositivos cuando las corrientes eléctricas están aplicadas” y “No dejar las corrientes eléctricas aplicadas más tiempo del necesario”.

5.3. Fases y distribución de tiempos de la implementación

La implementación se ha realizado en cuatro días, siguiendo la distribución de tiempos de la tabla 8. El quinto día representa el día de entrega de los informes de laboratorio de forma telemática, por lo que no representa tiempo efectivo de clase.

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Fase inicial -Introducción -Diagnóstico inicial -Repaso de conceptos	Fase de desarrollo Primera sesión: 2 prácticas por grupo	Fase de desarrollo Segunda sesión: 2 prácticas por grupo	Fase de desarrollo Tercera sesión: 1 práctica por grupo Fase final -Evaluación de la propuesta final	Fase final Entrega de los informes de laboratorio

Tabla 8. Distribución temporal de las sesiones y las actividades realizadas en los diferentes días de implementación de la propuesta.

Se distinguen tres fases:

- Fase inicial** de diagnóstico y toma de contacto.
- Fase de desarrollo** de las prácticas.
- Fase final** de evaluación del aprendizaje y de la propuesta.

A continuación, se describe cada una de estas fases, en concreto las **evaluaciones** y **actividades** realizadas y los **métodos docentes** utilizados.

5.3.1. Fase inicial

En la fase inicial de la propuesta se ha llevado a cabo una introducción, una evaluación de diagnóstico y un repaso de contenidos.

La **introducción** va destinada a poner en situación a los estudiantes. En ella, se les explica cómo va a ser el desarrollo de las sesiones, que van a tener que entregar al final y se les confirma los grupos en los que van a trabajar. Se les indica que en el aula virtual tienen disponible las prácticas asignadas para cada grupo y cada día, así como los guiones de las diferentes prácticas, que deberán haber leído antes de la sesión de laboratorio. La formación de los grupos se ha

dejado a libre elección de los estudiantes. Se les indicó con una semana de antelación que formaran los grupos y comunicaran los integrantes al profesor. Por ello, la comunicación de los grupos de trabajo, es una simple confirmación para verificar que no hubiese errores. Se decidió dejar a su libre elección la formación de grupos estableciendo como única restricción que debían de ser grupos 3 o 4 estudiantes como mucho. Esta decisión está motivada por el contexto del alumnado. Se observó que se trataba de un grupo consolidado, sin conflictos entre ellos, donde los estudiantes se conocían bien. Además, al tratarse del punto medio-final de 2º de Bachillerato, se decidió dar libertad para agruparse con gente afín, de forma que no se añadiese más tensión a un final de curso que es intrínsecamente intenso.

La **evaluación diagnóstica** se ha realizado con dos objetivos. Por un lado, conocer los conocimientos con los que parten los estudiantes y por otro, obtener datos cuantificables que permitan evaluar la propuesta didáctica al ser comparados con los resultados finales. Esta evaluación diagnóstica ha constado de dos pruebas tipo test: un cuestionario de motivación y utilidad y un test de conocimientos, ambos descritos en la sección 5.1 de este manuscrito.

El **repaso de conceptos** se ha realizado tras el diagnóstico por escrito. Al terminar el diagnóstico se realizó una evaluación inicial oral, en la que los estudiantes iban presentados sus dudas respecto a las preguntas de los cuestionarios. Estas dudas eran resueltas entre toda la clase y con apoyo del profesor en la pizarra, lo que sirvió para **activar los conocimientos previos**. Por último, en esta sesión se mostró a los estudiantes una fuente de alimentación como la que iban a tener que utilizar en el laboratorio. Esto se debe a que no habían utilizado, ni visto ningún aparato semejante antes. Por ello, se creyó que realizar una primera aproximación visual al aparato, contando un par de detalles sobre su funcionamiento podía facilitar la toma de contacto en el laboratorio.

5.3.2. Fase de Desarrollo

La fase de desarrollo comprende las sesiones de laboratorio de los días 2,3 y 4. Una fotografía del laboratorio con las prácticas montadas, antes de la llegada de los estudiantes puede observarse en la fig. 11.

En estas sesiones se ha destinado media hora a cada práctica, de forma que en cada una de las dos primeras sesiones cada grupo realizó dos prácticas previamente asignadas, y en la última sesión se realizó una última práctica por grupo.

Las sesiones se han basado en el diálogo y la experimentación, es decir, los estudiantes conversaban entre ellos, mientras experimentaban con los montajes para poder ir respondiendo las cuestiones de los guiones de las prácticas. Esta colaboración entre ellos, les ha permitido avanzar y solventar dudas poniendo sus conocimientos en común.

Por otro lado, el trabajo del profesor ha consistido en resolver dudas puntuales que iban teniendo los grupos y en realizar una **evaluación formativa** en el transcurso de las sesiones. Esta evaluación ha sido de tipo oral y ha consistido en acercarse a los diferentes grupos para observar el avance de las prácticas, solventar dudas de los estudiantes, guiar su trabajo y plantear cuestiones nuevas que les hagan reflexionar como por ejemplo “¿Cómo haríais una electroválvula con un solenoide y una barra de hierro como los que tenéis aquí?”

5.3.3. Fase final

La fase final de la implementación está constituida por dos partes:

Entrega de los informes de laboratorio. Cada grupo ha entregado 5 informes correspondientes a las prácticas. Estos informes son los guiones rellenos con los datos y observaciones que han realizado. La calificación de la actividad global de laboratorio se ha realizado en base a estos informes. Cabe destacar que no todas las cuestiones de los guiones se han calificado. Las actividades relacionadas con los fenómenos cotidianos no se han tenido en cuenta para la nota final de los estudiantes, aunque sí para la evaluación de la propuesta didáctica. La entrega de los informes se ha realizado tanto en papel y en mano, al final del día 4, como de forma telemática el día 5 acordado con los estudiantes. Los estudiantes han podido elegir, teniendo libertad para organizarse.

Evaluación de la propuesta didáctica. La segunda mitad del día 4, esto es, tras realizar la última práctica, se realizó una evaluación de la propuesta. Para ello, los estudiantes completaron un test de motivación y utilidad (el mismo que el de la fase inicial) y un test de conocimientos,

en el que se preguntaban los mismos contenidos que en el test de la fase inicial, pero reformulando las preguntas.

Además, y como cierre de actividad, se plantearon un conjunto de preguntas abiertas para que los estudiantes pudiesen expresar su opinión sobre las prácticas: que mejorarían, que cambiarían etc... Estas preguntas abiertas han cumplido una doble función, no solo se han empleado para evaluar la propuesta y la práctica docente, sino que han permitido realizar un ejercicio de **repaso** como cierre de las sesiones de laboratorio. Los estudiantes han tenido que echar la vista atrás y repasar mentalmente las prácticas que han realizado para poder identificar los elementos que han considerado más y menos favorables.

5.4. Análisis de los resultados

En esta sección se presentan y analizan los principales resultados obtenidos. Estos resultados se clasifican en tres grupos que distinguen su procedencia:

-**A partir de los test.** Aquí se engloban tanto los resultados relativos a la percepción del alumnado del electromagnetismo, como al progreso en el conocimiento de los contenidos

-**A partir de los informes de laboratorio entregados.**

-**A partir de los comentarios cualitativos** de los estudiantes en las preguntas abiertas.

5.4.1. A partir de los test

	Pre-instrucción	Post-instrucción	Incremento	% de variación
Interés/Disfrute	3.5	4.8	+1.3	+37%
Validez/Utilidad	4.7	5.7	+1.0	+21%
Conocimientos	60.0%	75.5%	+15.5%	+25.8%

Tabla 9: Resultados de los test de evaluación de la propuesta didáctica. Las filas de interés/disfrute y validez/utilidad muestran los resultados obtenidos en ambas subescalas del test IMI realizado antes y después de la implementación de la propuesta didáctica. La fila de conocimientos muestra los resultados del test de conocimientos expresados como el % total de puntos obtenidos por todos los grupos respecto al máximo de puntos posibles.

La información obtenida a partir de los test nos permite evaluar dos dimensiones de la propuesta didáctica:

Percepción del alumnado. En la tabla 9 se presentan los valores numéricos obtenidos del test IMI antes y después de realizar las prácticas. Cada valor numérico es el promedio de los valores obtenidos para todos los estudiantes y todas las preguntas de una de las subescalas (interés o utilidad). Los posibles valores obtenibles están comprendidos entre 1 y 7, indicando 1(7) la menor (mayor) motivación/percepción de utilidad. Una descripción más detallada tanto de los resultados obtenidos, como del tratamiento de datos se encuentra en el Anexo II.

Los resultados de ambas subescalas muestran una mejora tanto del interés, como de la percepción de utilidad que los estudiantes tienen del electromagnetismo. Respecto a la escala de interés, relacionada con la motivación, la puntuación obtenida ha mejorado un 37% pasando desde 3.5 puntos a 4.8 puntos. Por otro lado, la escala de utilidad muestra una mejoría del 21% pasando de 4.7 a 5.7 puntos.

Dentro de las preguntas utilizadas para evaluar ambas subescalas destacan los resultados obtenidos en la pregunta 4 y la pregunta 11, pertenecientes a la subescala de interés y a la de utilidad respectivamente. En el caso de la pregunta 4: “Creo que las actividades sobre electromagnetismo son bastante agradables”, el valor obtenido ha pasado de 4.33 puntos a 6.33, es decir, ha mejorado un 46%. Por otro lado, en el caso de la utilidad, el valor de la pregunta 11: “Estaría dispuesto a repetir algunas de las actividades sobre electromagnetismo porque tienen algún valor para mí”, ha mejorado de 3.22 a 6.11, lo que supone un incremento del 89%.

Estas dos preguntas se han destacado no solo, por ser unas de las preguntas que más han mejorado su puntuación, sino porque ambas están relacionadas directamente con las actividades sobre electromagnetismo y, por ende, con las prácticas de laboratorio implementadas. La mejora obtenida tanto en la valoración global de ambas variables (interés y utilidad), como en las preguntas destacadas en particular, apuntan hacia un efecto positivo de las prácticas de laboratorio diseñadas en la motivación de los estudiantes y en la visión de utilidad que estos tienen del electromagnetismo.

Conocimiento de los contenidos. La tercera fila de la tabla 9 presenta los resultados obtenidos antes de realizar las prácticas y después en los test de conocimientos (Anexo II). Los valores representan el porcentaje de respuestas acertadas respecto al total. Un mayor valor indica mayor número de aciertos. Tras realizar las prácticas se ha obtenido una mejora de la puntuación global de los estudiantes del 25.8% respecto a las puntuaciones obtenidas en el primer test.

Nº de pregunta	Pre-Instrucción	Post-Instrucción	Incremento	Variación
C-1 (Campo magnético creado por una corriente rectilínea)	61%	100%	+39%	+63.6%
C-2 (Fuerza de Lorentz)	67%	78%	+11%	+16.7%
C-3 (Fuentes de campo magnético)	78%	67%	-11%	-14.3%
C-4 (Inducción)	11%	39%	+28%	+254.5%
C-5 (Ondas electromagnéticas)	83%	94%	+11%	+13.3%

Tabla 10. Resultados para cada pregunta del test de conocimientos. Cada fila muestra el resultado para una pregunta del test conocimientos mostrado en el Anexo II, siguiendo su misma numeración. Se presentan los resultados antes y después de implementar la propuesta didáctica, así como el incremento en la tasa de acierto y la variación en % que supone respecto al valor inicial. Las preguntas en azul corresponden a preguntas de visualización de campos. Las preguntas en rojo son conceptuales.

Estos resultados promedian las respuestas de todas las preguntas evaluadas, por lo que pueden enmascarar información relevante. Para evitarlo, en la tabla 10 se desglosan los resultados por preguntas. Las preguntas se clasifican en: de tipo conceptual (rojo) y preguntas de visualización de magnitudes, donde se pide dibujar las direcciones y sentidos del campo magnético (C-1) y corrientes inducidas (C-4). El análisis global del test y de las preguntas individuales indica:

-Mejora global en los resultados: En 4 de las 5 preguntas los datos presentan un incremento de las puntuaciones de los estudiantes tras la implementación de la propuesta didáctica. Sin embargo, se ha tener en cuenta que la muestra es pequeña (18 estudiantes) y que variaciones en la tasa de acierto de entorno al 10% (Preguntas C-2, C-3 y C-5) podrían corresponder a un efecto de la aleatoriedad de las respuestas de los estudiantes. Por ello, las discretas mejoras de las preguntas C-2 y C-5, así como la menor tasa de acierto en la pregunta C-3 podrían apuntar hacia un nulo impacto en la comprensión conceptual de los fenómenos estudiados.

-**Mayor impacto en las preguntas de visualización de campos:** estas preguntas presentan una tasa de mejora significativamente mayor que sus homólogas conceptuales. Lo que sugiere que las prácticas propuestas son especialmente interesantes de cara a mejorar esta capacidad en los estudiantes. Los resultados de las dos preguntas realizadas son notables. En la pregunta sobre el sentido de circulación del campo magnético generado por una corriente rectilínea, la tasa de aciertos mejoró desde un 61% a un 100%, es decir, tras las prácticas todos los estudiantes respondieron de forma correcta. Respecto a la pregunta de inducción, se observa una mejoría al pasar de ser respondida correctamente solo por 2 estudiantes de los 18 en el test previo, a 7 en el post-test.

5.4.2. A partir de los informes de laboratorio entregados

Como se indicó en la sección 3.4, los tipos de actividades de los guiones se pueden clasificar en 5 grupos. Cada uno de los bloques de actividades persigue diferentes fines y, por ello, su calificación atiende a diferentes criterios. Dicha calificación se ha realizado siguiendo la rúbrica mostrada en el Anexo III. Los resultados obtenidos de la calificación de los informes de laboratorio pueden observarse en la tabla 11. Los resultados, para cada bloque de actividades, representan el porcentaje de puntos obtenidos por los alumnos, respecto al número total de puntos que se podían obtener.

Bloque de preguntas	% de puntos obtenidos
Adquisición, tratamiento y representación de datos	91%
Visualización de campos	66%
Explicación de fenómenos cotidianos	65%
Planteamiento de hipótesis	93%
Órdenes de magnitud	82%

Tabla 11. Porcentaje de puntos obtenidos en cada uno de los bloques de preguntas. Los valores representan el porcentaje de puntos obtenidos por los alumnos respecto al total de puntos posible. De esta forma un 100% en un bloque indicaría que todos los grupos de estudiantes han obtenido la máxima calificación en ese bloque.

Por un lado, se observa que las actividades con mayor puntuación son las relacionadas con la adquisición y tratamiento de datos (91%) y con la formulación de hipótesis (92%). La fortaleza en el primer tipo de actividades podría deberse a su similitud a las actividades de corte académico que los estudiantes están acostumbrados a realizar, es decir, cambio de unidades, utilización de expresiones matemáticas etc... Respecto a la fortaleza en el segundo tipo de actividades, podría estar asociada a una menor exigencia en estas preguntas que están más orientadas a hacer reflexionar a los estudiantes y a fomentar el debate que a evaluar conocimientos o procedimientos.

Por otro lado, se observa que las actividades donde menor puntuación obtienen los estudiantes son las relacionadas con la visualización de los campos (66%) y con la explicación de fenómenos cotidianos (65%). Respecto a la visualización de los campos, este resultado confirma lo indicado en la introducción de este manuscrito, referente a las dificultades que plantea para los estudiantes manejar espacialmente las direcciones y sentidos de los campos. Respecto a las explicaciones de fenómenos cotidianos, este resultado era esperable debido a la complejidad de las preguntas planteadas que requerían de información externa para encontrar la solución. En este tipo de preguntas, al igual que en el caso de las del planteamiento de hipótesis, se perseguía estimular a los estudiantes y fomentar el debate más que evaluar sus conocimientos.

5.4.3. A partir de los comentarios cualitativos

Los comentarios escritos por los estudiantes muestran una visión global positiva de las prácticas. En la fig. 13 se muestran algunos de los comentarios más representativos de los estudiantes, otros comentarios pueden leerse en el Anexo II.

De forma general los **puntos positivos** que ven los estudiantes en las prácticas realizadas son:

-**Visualizar de forma práctica lo estudiado en clase.** Este es el comentario más común entre las opiniones de los estudiantes. En la fig. 13.a), b) y d), pueden leerse ejemplos de ello. El comentario de la fig. 12.a) es interesante, además, por indicar que este enfoque práctico le permite recordar mejor lo aprendido. Esto está en consonancia con uno de los objetivos que se habían planteado para la propuesta didáctica: potenciar el aprendizaje mediante la experiencia práctica. La cantidad y variedad de comentarios

coincidiendo en este punto sugieren que la posibilidad de visualizar lo estudiado en las prácticas podría ser el causante del aumento en los parámetros de motivación intrínseca y utilidad medidos con los test.

-Trabajar en equipo. Este era uno de los puntos que se ha querido explotar para tratar de fomentar un aprendizaje significativo, como se indicó en la sección 3.4. Comentarios como el mostrado en la fig. 12.c) indican que se trata de una práctica que tiene buena acogida entre los estudiantes.

-Utilizar aparatos que desconocían. El utilizar fuentes de alimentación regulables en tensión y corriente, supone un reto para los estudiantes ya que nunca han trabajado con ellas. A la hora de diseñar las prácticas, se sopesó si iba a ser demasiado complejo y si podía ser un factor que dificultase el desarrollo de las prácticas. El comentario de la fig. 12.d) junto a la experiencia en el laboratorio con los estudiantes muestran que no lo fue y que de hecho puede tratarse de un aliciente motivador.

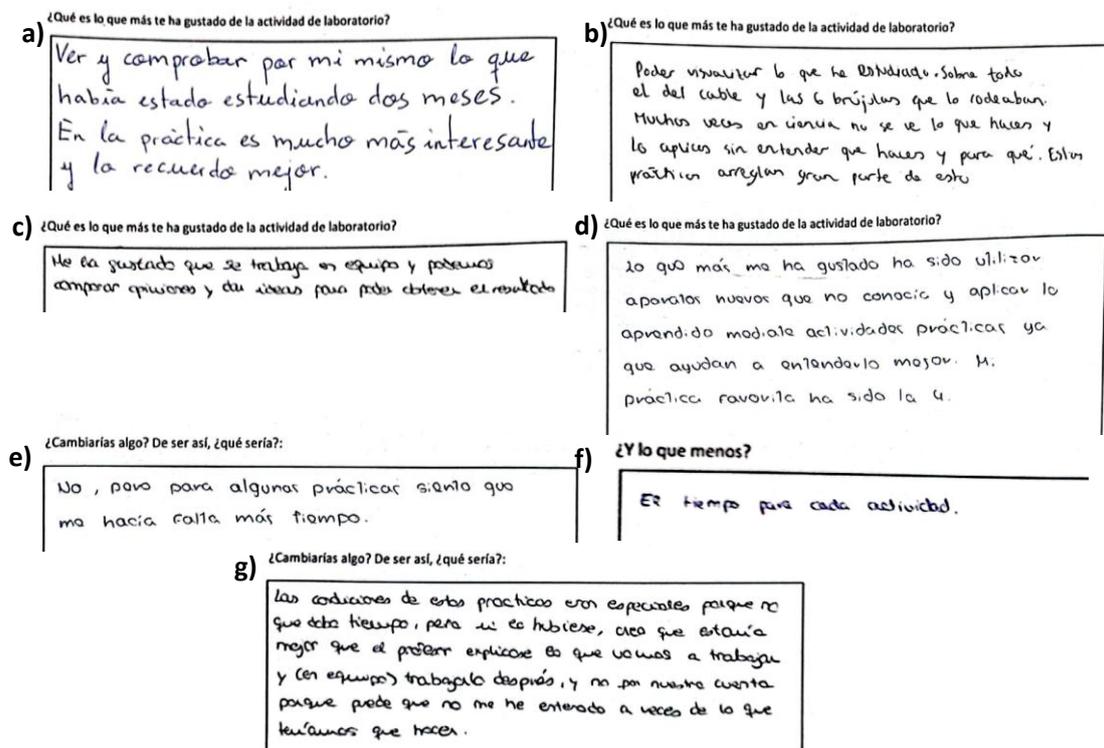


Figura 12: Comentarios cualitativos de los estudiantes. Comentarios representativos de las opiniones de los estudiantes respecto a las prácticas de laboratorio. Otros comentarios pueden encontrarse en el Anexo II.

Respecto a los **puntos negativos** que ven los estudiantes, principalmente es uno: el **tiempo para hacer las prácticas**. Esto puede observarse en los comentarios de las fig. 12.e), f) y g). El comentario negativo más extendido que se ha recibido consiste en pedir más tiempo para realizar las prácticas. Esta posible falta de tiempo se sopesó en el momento de diseñar las prácticas. Para intentar evitar que fuese un problema se subieron los guiones con 3 días de antelación a la plataforma digital, junto con la distribución de las prácticas que cada grupo haría cada día (Anexo IV). Se indicó a los estudiantes que debían acudir al día de prácticas habiendo leído los guiones que les tocaba para saber que tenían que hacer. Con esto se esperaba reducir el tiempo que les llevaría hacer las prácticas. Sin embargo, como evidencian los comentarios esto no ha sido suficiente. La idea planteada quizás fuese efectiva con estudiantes universitarios familiarizados con los laboratorios, pero se ha mostrado ineficaz en Bachillerato. En la siguiente sección se proponen algunas propuestas que permitirían abordar este punto.

Por otro lado, se ha hecho notar otro punto negativo, y es que **en ocasiones los estudiantes no sabían que hacer**. El único comentario que se ha recibido a ese respecto se presenta en la fig. 12.g), aunque el autor no descarta que pueda ser un hecho más extendido y no plasmado en los comentarios. El comentario de la fig. 13.g se considera especialmente interesante y constructivo ya que propone una forma de solventar el problema: haciendo explicaciones previas generales e *in situ*. Esta idea se ha tenido en cuenta y se utiliza en alguna de las propuestas de mejorar planteadas en el siguiente epígrafe. El autor considera que estas explicaciones previas podrían no solo ayudar a que los estudiantes no se pierdan, sino también ayudar a reducir el tiempo necesario para realizar las prácticas.

5.5. Evaluación de la propuesta

Los resultados obtenidos indican de forma general un impacto positivo de la propuesta didáctica tanto en la adquisición de conocimientos, como en la percepción del electromagnetismo que tienen los estudiantes. Los datos obtenidos, lo experimentado en el aula y lo observado en los informes entregados por los estudiantes muestran puntos fuertes y débiles de la propuesta:

5.5.1. Puntos fuertes

Mejora en la visualización espacial de los campos electromagnéticos. A pesar del bajo porcentaje de puntos obtenidos en los informes de laboratorio en este tipo de actividades (66%), en el test de conocimientos posterior se observa que **todos** los estudiantes responden correctamente a la pregunta relacionada con la distribución espacial del campo magnético generado por una corriente rectilínea frente al 60% que lo hacía inicialmente. Además, en el caso de la inducción electromagnética, se observa una mejoría al pasar de responder correctamente dos alumnos a que lo hagan siete. Esto puede parecer poco, pero el autor quisiera remarcar que los estudiantes ya habían terminado el bloque de electromagnetismo, y que, tras dos meses estudiando electromagnetismo, solo dos estudiantes indicaron correctamente el sentido de la corriente inducida, por lo que el incremento es notable. Estos resultados sugieren que las actividades propuestas podrían ser efectivas para mejorar la visualización espacial de las interacciones electromagnéticas.

Mejora del interés y de la percepción de utilidad del electromagnetismo. A partir de los test realizados y de los comentarios de los estudiantes, se observa una mejora en la percepción de los estudiantes sobre el electromagnetismo. Esta mejora podría estar relacionada con: i) enfrentar tareas con un perfil científico diferente al perfil académico al que están acostumbrados; ii) ver aplicaciones prácticas de los conceptos que han estudiado de forma abstracta; y iii) con la posibilidad que les ofrecen las prácticas de realizar trabajo de forma autónoma, siendo responsables de su aprendizaje.

Bajo coste de la propuesta. La implementación del conjunto de las cinco prácticas supone un coste económico bajo, asumible para un centro de educación secundaria. Los elementos que representan un mayor coste son las tres fuentes de corriente variables necesarias, cuyo coste total asciende a unos ~180 €. Sin contar con esas fuentes y utilizando las básculas y multímetros de los laboratorios escolares las cinco prácticas pueden implementarse por unos 50 €.

5.5.2. Puntos débiles

Tiempo. A partir de los comentarios de los estudiantes y de lo observado en el laboratorio, 30 minutos por práctica es poco tiempo teniendo en cuenta el tiempo perdido en inicio y fin de

clase y en las transiciones. En parte el autor achaca esto a la falta de experiencia experimental de los estudiantes, ya que conforme avanzaron las sesiones se fueron volviendo más diligentes y en la última práctica le sobro tiempo a todos los grupos. En la siguiente sección se propone como mejorar este punto.

Necesidad de mayor guía. A partir de los comentarios de los estudiantes, el autor cree que una explicación previa y detallada de la práctica podría haber sido positiva. Esto no es posible haciendo las cinco prácticas diferentes simultáneamente, pero podría ser interesante de cara a otra distribución de las prácticas indicada en la sección de propuesta de mejora.

5.5.3. Propuestas de mejora

Potenciación de la actividad de inducción electromagnética. Esta práctica ha mostrado tener un impacto positivo notable en el conocimiento de los estudiantes, sin embargo tiene un amplio rango de mejora. El autor cree que gracias al reducido coste de los materiales y a la dotación de polímetros en los institutos, se podría plantear que cada alumno haga esta práctica de forma individual en el aula de referencia. El autor opina que podría ser una actividad interesante realizable de forma simultánea a la explicación magistral de la inducción electromagnética en clase. Cada alumno podría contar con una espira, un polímetro y un imán, para poder probar *in situ* el concepto teórico, disponiendo de más tiempo y permitiendo generar debate en el aula sobre lo que están observando y cómo interpretarlo.

Convertir la experiencia del microondas en experiencia de cátedra. Otra posible mejora sería trasladar la práctica del microondas fuera del laboratorio. Se ha observado que el tiempo “experimental” que requería era pequeño y que lo realmente interesante son las reflexiones que los alumnos hacían. Por ello, quizás sería más interesante hacer este experimento como experiencia de cátedra en el aula de referencia, donde el profesor haría el experimento e iría mostrando los resultados, mientras fomenta la formulación de hipótesis y resolución de cuestiones por parte del alumnado.

Sesiones de prácticas uniformes. Atendiendo a los comentarios de los estudiantes, los grandes problemas de las prácticas han sido el tiempo y la falta de guía. Para intentar solucionarlos una idea sería que todos los grupos de estudiantes realizaran la misma práctica de forma simultánea,

esto permitiría realizar una explicación breve al principio de la sesión que oriente a los estudiantes y les permita abordar la tarea con mayor diligencia. La mayor dificultad que plantea esto es multiplicar el material necesario para disponer del suficiente número de montajes experimentales iguales.

Sesión conjunta Lorentz + Ampère. Debido a los resultados positivos de la experiencia de Ampère en la visualización de campos, podría plantearse una sesión donde todos los alumnos realicen esta práctica en la primera mitad y la de la fuerza de Lorentz en la segunda mitad. Al hacer todos los alumnos las mismas prácticas a la vez, se podrían dar explicaciones genéricas iniciales que facilitasen el desarrollo de la práctica. Esta combinación se propone debido al carácter complementario de ambas prácticas tanto desde el punto de vista físico, como de técnicas experimentales:

- En ambas se visualiza la relación espacial entre los campos magnéticos y las corrientes eléctricas.
- En ambas se trabaja la adquisición de datos, pero mientras que en la de Lorentz se hace una regresión lineal, en la de Ampère se trabaja con promedios de datos discretos.
- En ambas se obtiene cuantitativamente órdenes de magnitud de campos magnéticos (terrestre y de imanes permanentes), lo que permite llegar a conclusiones conjuntas de ambas prácticas.

Trabajo de errores experimentales. El tratamiento de los errores experimentales (cifras significativas, propagación de errores...) ha sido obviado en la implementación de la propuesta. La razón fue que debido a la poca experiencia experimental del grupo de estudiantes se decidió simplificar las prácticas para que los estudiantes pudiesen centrarse en los fenómenos electromagnéticos. No obstante, en grupos con más experiencia experimental demandar un tratamiento de errores podría ser interesante de cara a desarrollar capacidades experimentales.

5.5.4. Futuros estudios

Como se ha indicado previamente en el contexto del alumnado, las prácticas de laboratorio descritas se han implementado una vez finalizada la instrucción de los estudiantes en el bloque de electromagnetismo. Por ello, han jugado un papel de repaso y refuerzo de los contenidos ya estudiados.

Las evaluaciones de las prácticas muestran que tienen un mayor impacto sobre la visualización de los fenómenos que sobre la comprensión conceptual de los mismos. Por ello, el autor opina que sería interesante evaluar el impacto que estas prácticas tienen al inicio de la instrucción en el bloque de electromagnetismo. De acuerdo con lo expuesto en la introducción de este texto, estas prácticas podrían desarrollar una base experiencial sobre la que construir posteriormente un conocimiento del formalismo más sólido. Esto podría suponer una mejora significativa en la comprensión conceptual de los estudiantes, que el autor opina sería interesante estudiar.

6. Conclusiones

En este trabajo de fin de máster se presenta una propuesta didáctica para la asignatura de Física de 2º de Bachillerato. La propuesta consiste en un conjunto de cinco prácticas experimentales que los estudiantes realizan en tres sesiones de laboratorio trabajado en grupo de forma autónoma. En el diseño de las prácticas se ha perseguido reducir costes para hacer asequible la implementación en centros de educación secundaria. Para ello, se ha utilizado impresión 3D y materiales alternativos a los de los montajes con fines educativos tradicionales. Los objetivos principales de estas prácticas son:

- Impactar positivamente sobre el aprendizaje del bloque de electromagnetismo. Mediante la adquisición de experiencia práctica se pretende mejorar la visualización espacial de los fenómenos electromagnéticos y las direcciones y sentidos de las magnitudes físicas involucradas.
- Mejorar la percepción que los estudiantes tienen sobre el bloque de electromagnetismo proporcionándoles métodos de aprendizaje más atractivos.

La evaluación de la implementación de la propuesta se ha realizado mediante tests, anteriores y posteriores a las prácticas, informes de laboratorio y comentarios cualitativos de los estudiantes. Los resultados sugieren un aumento en el interés de los estudiantes por el electromagnetismo, así como en la utilidad que le ven. Respecto al aprendizaje de los contenidos, los resultados apuntan hacia una mejora en la capacidad los estudiantes a la hora de visualizar espacialmente las magnitudes físicas involucradas en los fenómenos electromagnéticos.

A la vista de los resultados obtenidos y de la experiencia en el aula, se postulan posibles mejoras para las prácticas, enfocadas principalmente a mejorar la gestión del tiempo y a proponer otras secuencias didácticas que el autor considera interesantes para el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Por último, atendiendo a los estudios previos y a los indicios de la mejora de la visualización espacial de los fenómenos electromagnéticos, se considera interesante para un futuro estudio evaluar el impacto de estas prácticas antes de realizar la instrucción en el formalismo matemático. Se sugiere que esto podría cambiar el enfoque con el que los estudiantes abordan el contenido formal, mejorando su comprensión del mismo.

7. Referencias

- Awan, O. A., Sheth, M., Sullivan, I., Hussain, J., Jonnalagadda, P., Ling, S., y Ali, S. (2019). Efficacy of 3D Printed Models on Resident Learning and Understanding of Common Acetabular Fracturers. *Academic Radiology*, 26, 130-135.
<https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.06.012>
- Barralaga, F. S., y Roldán, A. G. (2016). Herramientas multimedia que mejoran el aprendizaje integral del electromagnetismo. *Revista de la Escuela de Física*, 4, 53-57.
<https://doi.org/10.5377/ref.v4i2.8277>
- Decreto 52/2015, de 21 de mayo, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo de Bachillerato. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid.
- Donhauser, A., Küchemann, S., Kuhn, J., Rau, M., Malone, S., Edelsbrunner, P., y Lichtenberger, A. (2020). Making the invisible visible: Visualization of the connection between magnetic field, electric current, and Lorentz force with the help of augmented reality. *The Physics Teacher*, 58, 438-439. <https://doi.org/10.1119/10.0001848>
- Ford, S., y Minshall, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131-150.
<https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- Guisasola, J., Almudi, J. M., y Zuza, K. (2013). University Students' Understanding of Electromagnetic Induction. *International Journal of Science Education*, 35, 2692-2717.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2011.624134>
- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., y Delgado Kloos, C. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, 1-13.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.004>

- IMI. (2022) *Intrinsic Motivation Inventory (IMI) – selfdeterminationtheory.org*. Recuperado 24 de mayo de 2022, de <https://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/>
- Jelicic, K., Planinic, M., y Planinsic, G. (2017). Analyzing high school students' reasoning about electromagnetic induction. *Physical Review Physics Education Research*, 13, 010112. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010112>
- Maloney, D. P., O'Kuma, T. L., Hieggelke, C. J., y Heuvelen, A. V. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69, S12 – S23. <https://doi.org/10.1119/1.1371296>
- Martínez, M. del R. A. H., y Torres, M. V. (2017). Ambientes lúdicos para la enseñanza del electromagnetismo en el bachillerato. *Latin-American Journal of Physics Education*, 11, 2309-1 – 2309-10.
- Melero Pinillo, J.I. (2022). <https://www.youtube.com/c/melerojosei>
- Méndez Fragoso, R., y Villavicencio Torres, M. (2017). Enseñanza del electromagnetismo a través de aplicaciones experimentales. *Latin-American Journal of Physics Education*, 11, 2303-1 – 2303-6.
- Mishra, P., y Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108, 1017-1054.
- Moeck, P., Stone-Sundberg, J., Snyder, T. J., y Kaminsky, W. (2014). Enlivening 300 level general education classes on nanoscience and nanotechnology with 3D printed crystallographic models. *Journal of Materials Education*, 36, 77-96.
- Novak, E., Brannon, M., Librea-Carden, M. R., y Haas, A. L. (2021). A systematic review of empirical research on learning with 3D printing technology. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37, 1455-1478. <https://doi.org/10.1111/jcal.12585>

- Novak, E., y Wisdom, S. (2018). Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and Anxiety About Teaching Science. *Journal of Science Education and Technology*, 27, 412-432.
- Osorio, B. E., Osorio, J. A., Mejía, L. S., Campillo, G. E., y Covalada, R. (2012). La enseñanza y el aprendizaje del electromagnetismo: Una breve revisión de las investigaciones en este campo. *Revista CINTEX*, 17, 51-62.
- Osorio-Vélez, B. E., Osorio-Vélez, J. A., Mejía-Aristizabal, L. S., Campillo-Figueroa, G. E., y Covalada, R. (2015). El papel de la actividad experimental en la enseñanza y aprendizaje del electromagnetismo en la educación superior. *Revista Científica*, 22, 85-96.
<https://doi.org/10.14483/10.14483/udistrital.jour.RC.2015.22.a7>
- Planinic, M. (2006). Assessment of difficulties of some conceptual areas from electricity and magnetism using the Conceptual Survey of Electricity and Magnetism. *American Journal of Physics*, 74, 1143-1148. <https://doi.org/10.1119/1.2366733>
- Pozo Municio, J. I., y Gómez Crespo, M. Á. (2001). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. (3ª ed.). Ediciones Morata.
- Quebedeaux, J. (2007). Improving high school physical science students' understanding of the electromagnetic spectrum: A modified diagram approach. *LSU Doctoral Dissertations*.
https://doi.org/10.31390/gradschool_dissertations.743
- Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado, núm. 3, de 3 de enero de 2015, pp 169 – 546. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/12/26/1105>
- Sağlam, M., y Millar, R. (2006). Upper High School Students' Understanding of Electromagnetism. *International Journal of Science Education*, 28, 543-566.
<https://doi.org/10.1080/09500690500339613>

- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15, 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Tecpan, S., Benegas, J., y Zavala, G. (2015). Entendimiento conceptual y dificultades de aprendizaje de Electricidad y Magnetismo identificadas por profesores. *Latin-American Journal of Physics Education*, 9, S1204-1 – S1204-11.
- Villagr a, J.  . M., y Sahelices, M. C. C. (1995). Secuencia de enseñanza sobre el electromagnetismo. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 13, 36-45.
- Wardana, R. W., Liliyasi, M., Tjiang, P. C., y Mr, N. (2017). The Description 12th Grade Students' Conception of Electromagnetics. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 57, 200-203. <https://doi.org/10.2991/icmsed-16.2017.43>

Anexo I. Prácticas de laboratorio

En este anexo se describen en detalle las prácticas de laboratorio diseñadas e implementadas en este TFM. Se presentan los guiones de laboratorio y los materiales necesarios para los montajes, así como los planos necesarios para la impresión 3D de los elementos hechos a medida. El anexo se estructura en dos secciones principales:

- Guiones de prácticas
- Materiales y planos

I.1 Guiones de prácticas

En esta sección se presentan los guiones de laboratorio diseñados e implementados en la propuesta didáctica. Estos guiones son rellenados por los grupos de estudiantes a lo largo de las prácticas sirviendo de informe final a entregar. Como se indicó en el texto principal estos guiones cuentan con cinco tipos de actividades diferentes:

- Adquisición, tratamiento y análisis de datos cuantitativos (A)
- Visualización de campos e interacciones (V)
- Fenómenos cotidianos (F)
- Planteamiento de hipótesis (P)
- Órdenes de magnitud (O)

Las abreviaciones de cada bloque de actividades permiten identificar las actividades de los guiones con el bloque correspondiente.

1-Fuerza de Lorentz

Integrantes del equipo:

1. Objetivos

El objetivo de esta práctica es:

- Experimentar con la **fuerza de Lorentz**.
- Caracterizar el campo magnético generado por dos imanes permanentes de neodimio.

Para ello, nos valdremos de un sistema experimental denominado balanza de corriente.

2. Fundamentos

Cuando una corriente eléctrica circula en el interior de un campo magnético homogéneo, ésta sufre una fuerza magnética (F_m) perpendicular al plano formado por los vectores corriente eléctrica (\vec{l}) y campo magnético (\vec{B}).

Esta fuerza recibe el nombre de Fuerza de Lorentz y se expresa como:

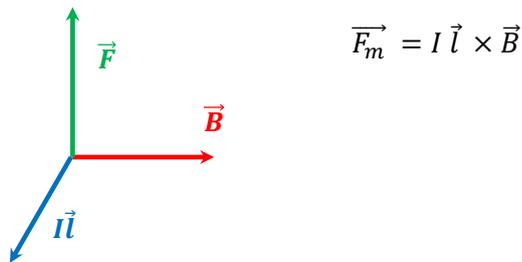


Figura 1: Direcciones y sentidos de las magnitudes involucradas en la fuerza de Lorentz: Intensidad de corriente eléctrica (I), longitud del conductor y sentido de propagación de la corriente (\vec{l}), campo magnético (\vec{B}) y fuerza magnética (\vec{F}).

Cuando las direcciones de la corriente eléctrica y del campo magnético son perpendiculares, el módulo de la fuerza magnética (F_m) se expresa cómo:

$$F_m = l B I$$

3. Material y montaje

Utilizaremos:

- Fuente de corriente continua.
- Balanza con una precisión de 0.1 g.
- Imanes de neodimio.
- Zócalo para los imanes.
- Zócalo con cable.

El montaje que utilizaremos buscará aplicar un campo magnético (B) a una corriente eléctrica perpendicular a dicho campo (I).

Se persigue que la fuerza magnética resultante sea paralela a la fuerza peso. Y por tanto, que la fuerza magnética se mida como una variación en la fuerza peso.

Para aplicar el campo magnético, colocaremos dos imanes de neodimio en el zócalo de la Figura 2.a. De este modo obtendremos un campo en la ranura central. En esta ranura central introduciremos el zócalo para el cable por el que circulará la corriente (Figura 2.b).

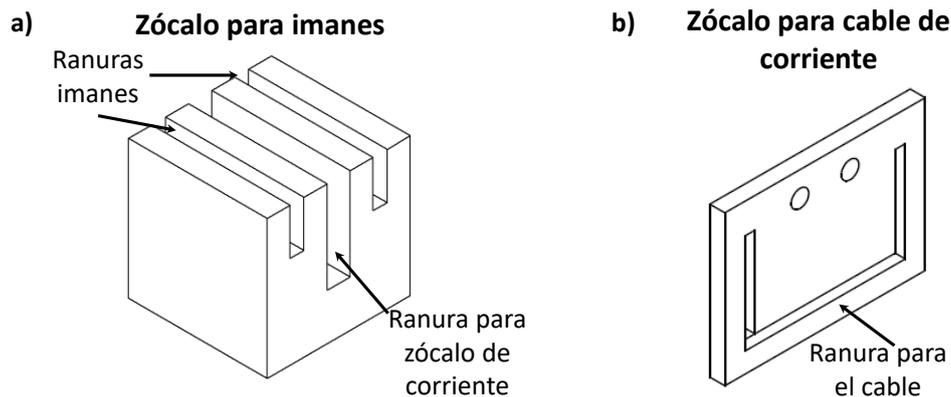


Figura 2: a) Zócalo para imanes utilizado en la práctica. Permite producir un campo magnético en la ranura central. b) Zócalo para guiar el cable por el que circulará la corriente.

Se introducirá el zócalo del cable en el zócalo de los imanes, de forma que el cable quede a la altura de los imanes y lo más perpendicularmente posible al campo que estos generan.

ATENCIÓN: los zócalos no deberán tocarse entre sí, y deberán estar correctamente alineados.

4. Desarrollo de la práctica

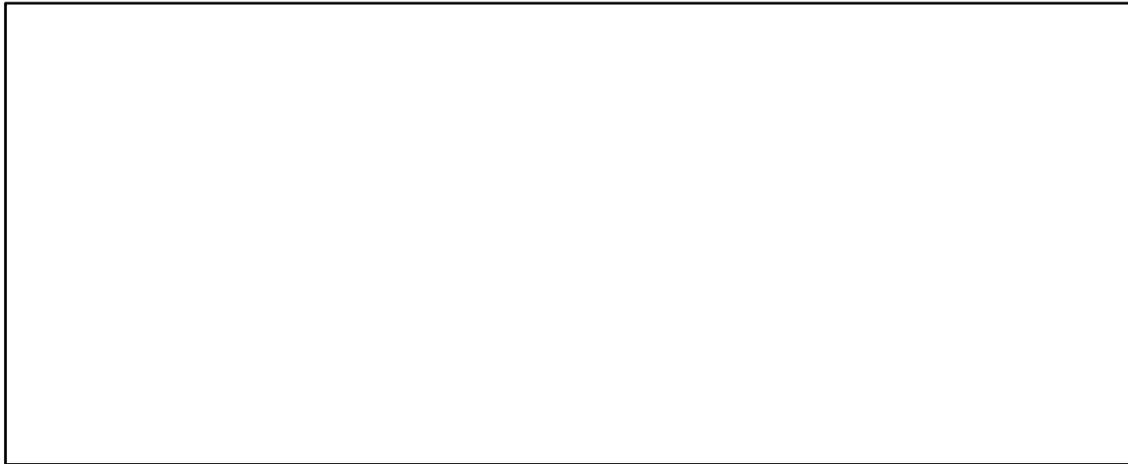
Una vez preparado el montaje se encenderá la balanza digital y se tarará en 0.0 g con el zócalo de los imanes sobre ella.

A continuación, se procederá a aplicar corriente eléctrica al circuito poco a poco, observando los cambios producidos en el peso medido por la balanza.

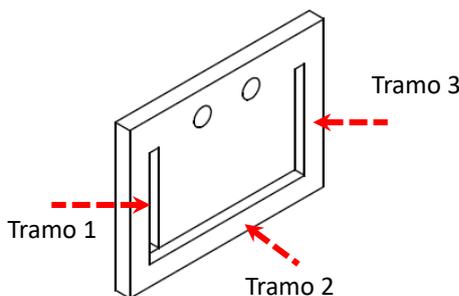
PRECAUCIÓN: Cuando se hace circular corriente por un conductor, este se calienta. Intensidades de corriente del orden de amperios (A) como las requeridas en esta práctica pueden dañar los componentes. Para evitar daños, no dejar las corrientes aplicadas más tiempo del necesario.

4.2 Dirección y sentido de las magnitudes involucradas

1(V). ¿Qué ocurre al hacer circular la corriente por el cable?
¿Qué ocurre si se cambia el sentido de circulación de la corriente?
Dibujad diagramas como los de la Figura 1, mostrando las direcciones y sentido de las magnitudes involucradas (Fuerza magnética que sufre el cable, campo magnético y corriente eléctrica).



2 (V). De los tres tramos de cable del zócalo indicados en la Figura Y, ¿cuáles contribuyen a la fuerza magnética medida? ¿Por qué?



4.3 Medida del campo magnético generado por los imanes

Por último, mediremos el orden de magnitud del campo magnético generado por los imanes de neodimio.

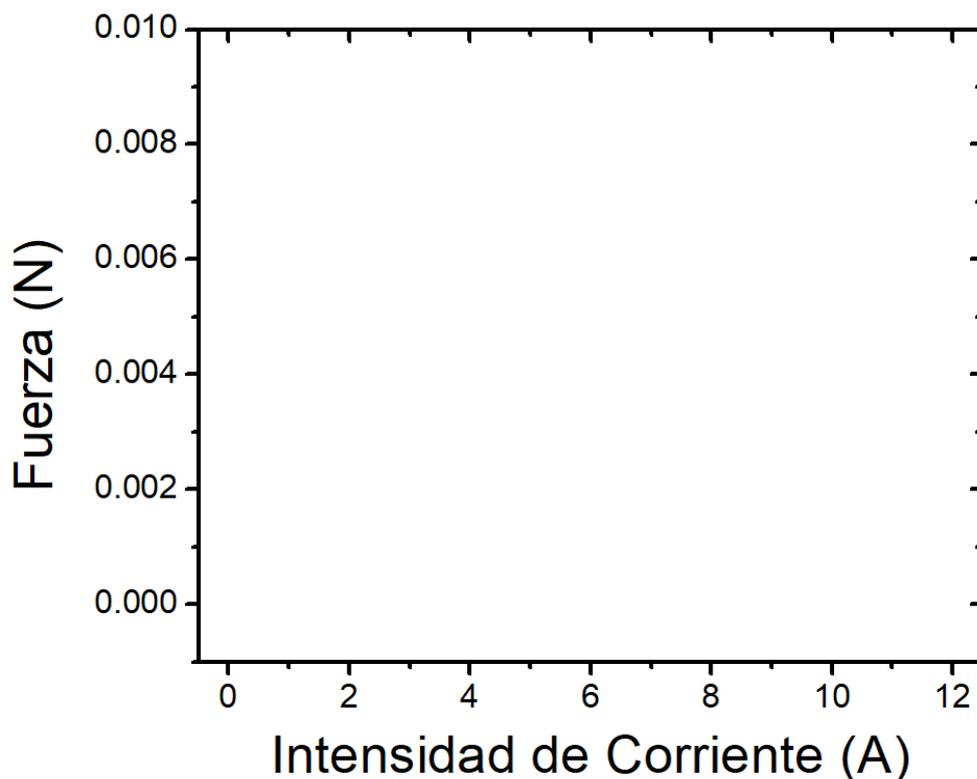
Para ello:

3 (A)- Mediremos la variación de masa (Δm) para distintas intensidades de corriente aplicadas (I). Rellenaremos las columnas 1 y 2 de la tabla.

4 (A)- Utilizaremos la variación de masa medida para calcular la fuerza magnética (F_m). Recordad que la F_m es igual a la variación de fuerza peso, es decir, a la variación de masa (Δm) multiplicado por la aceleración de la gravedad ($g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$).

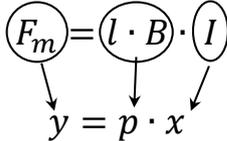
I (A)	Δm (g)	$F_m = \Delta m \cdot g$ (N)

5 (A)- Representaremos los valores de F_m obtenidos frente a la intensidad de corriente aplicada (I) en la gráfica.



6 (A) - Realizaremos una regresión lineal visual con una regla para obtener el valor del campo magnético. (Traducido = Dibujar una recta que pase lo más cerca posible de todos los puntos =D).

A partir de la pendiente (p) de este ajuste lineal obtendremos el campo magnético (B)

<p>Expresión</p> $F_m = l \cdot B \cdot I$	<p>Ajuste lineal</p> 
---	--

7 (A) - Obtendremos la pendiente (p) de la recta que hemos ajustado a partir de dos puntos (P_1 y P_2) de esa recta. **Ojo a las unidades.**

	x = I (A)	y = F (N)
Punto 1	x ₁ =	y ₁ =
Punto 2	x ₂ =	y ₂ =

$$p = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} =$$

8 (A) - Obtendremos el valor del campo magnético (B) a partir del valor de la pendiente obtenido (p) y de la longitud del cable (l) que es de dos (2 cm). **Ojo a las unidades.**

$$B = \frac{p}{l} =$$

9 (O) - ¿Este valor del campo magnético es mucho o es poco? Responder tras realizar la práctica 2 de generación de campo magnético por una corriente rectilínea.

2 - Generación de campo magnético por una corriente rectilínea

Integrantes del equipo:

1. Objetivos

En esta práctica perseguiremos dos objetivos:

-Visualizar la circulación del campo magnético generado por una corriente alrededor de esta.

-Obtener una estimación de la intensidad del campo magnético terrestre.

2. Fundamentos

La **ley de Ampère** establece que la circulación del campo magnético (B) generado por una corriente I a lo largo de una trayectoria cerrada, es igual al producto de la intensidad de corriente encerrada por la trayectoria por la permeabilidad magnética del vacío (μ_0):

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I \quad \text{ec.1}$$

Para el caso simétrico de una trayectoria circular de radio r (ver Figura 1) alrededor de una corriente rectilínea uniforme (I), se obtiene que el módulo de la intensidad de campo magnético generado (B) en un punto de la trayectoria es:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad \text{ec.2}$$

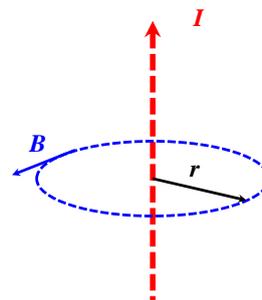


Figura 1: Esquema de la dirección y sentido del campo magnético B generado por una corriente eléctrica en I a una distancia r de dicha corriente

El desarrollo para llegar a esta expresión puede consultarse en la página 172 de vuestro libro de texto.

3. Material y montaje

Utilizaremos:

- Fuente de corriente continua
- Plataforma de medida
- Brújulas
- Cable

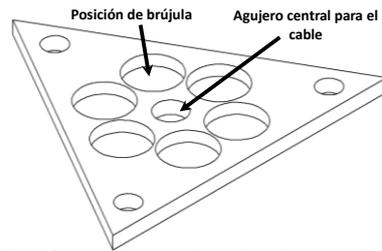


Figura 2: Plataforma de medida donde se colocan 6 brújulas y se hace pasar un cable por el agujero central.

Para la visualización y medida del campo magnético utilizaremos, como sensores, brújulas de pequeña dimensión con un diámetro $\phi = 2$ cm.

Seis de estas brújulas se dispondrán en la plataforma (Figura 2) alrededor de un agujero por el que se pasará un cable.

Este cable se conectará a la fuente de corriente continua que suministrará el amperaje que circulará por el cable y generará el campo que observaremos.

4. Desarrollo de la práctica

Inicialmente observaremos el estado inicial de las brújulas.

1 (H). ¿Apuntan todas en la misma dirección? ¿A qué creéis que se debe? Pista: retirad dos brújulas de la plataforma y colocad una sobre otra.

A continuación, aplicaremos al cable una corriente de 4 A.

2 (V). ¿Qué observáis que ocurre? Haced un dibujo esquemático (Figura 1) o con más detalle, teniendo en cuenta el sentido de la corriente eléctrica aplicada. Prestad atención a si cumple la regla de la mano derecha.

Ahora, invertid el sentido de la corriente eléctrica y volver a aplicar 4 A. Para ello, intercambia los conectores en los terminales de la fuente.

3 (V). ¿Qué ha ocurrido? Haced un dibujo esquemático (Figura 1) o con más detalle, teniendo en cuenta el sentido de la corriente eléctrica aplicada. Prestad atención a si cumple la regla de la mano derecha.



Por último, obtendremos un orden de magnitud para el valor del campo magnético terrestre.

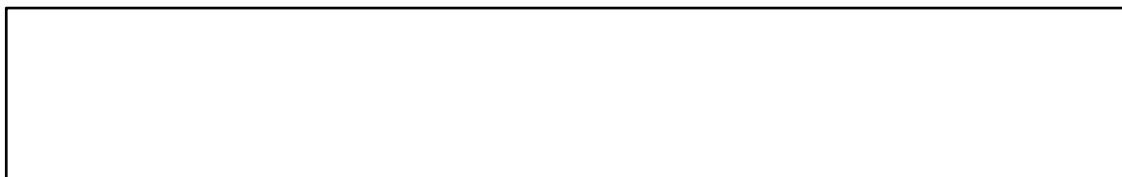
Para ello, colocaremos las brújulas en una posición neutra (apuntando todas con una dirección y sentido similar). Incrementaremos poco a poco la intensidad de corriente eléctrica hasta que veamos que las brújulas empiezan a moverse. Una vez que todas las brújulas se orienten siguiendo el campo magnético del cable, esto significará que el campo generado por el cable es mayor al campo magnético terrestre.

4 (A). Anotaremos la intensidad de corriente a lo que esto sucede. Repetiremos 5 veces la medida. Anotad los valores **indicando las unidades**. Calculad el promedio de los 5 valores.

Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Promedio

A partir de la intensidad de corriente promedio obtendremos un valor para el campo terrestre. Para ello, utilizaremos la ec. 2, sabiendo que la distancia a la que las brújulas están separadas del centro del cable es 2 cm.

5(A). ¿Qué valor se obtiene para el campo magnético terrestre? OJO A LAS UNIDADES.



6 (O). ¿Cómo se compara el campo magnético terrestre con el de un imán de neodimio? (No responder hasta realizar la práctica 1 de la balanza de corriente)



3 - Generación de campos magnéticos por corrientes circulares

Integrantes del equipo:

1. Objetivos

En esta práctica perseguiremos dos objetivos:

- Entender que las cargas en movimiento generan campos magnéticos.
- Comparar el campo magnético generado por una espira circular con el generado por un solenoide, es decir, por un conjunto de espiras.
- Comprender el funcionamiento de un electroimán y el papel que el núcleo de hierro juega en él.

Esta práctica presenta un enfoque cualitativo, donde se persigue familiarizarse con los conceptos más que analizarlos numéricamente.

2. Fundamentos

Una corriente que circula por una espira circular produce un campo magnético, cuyo sentido viene dado por la regla de la mano derecha y su valor en centro de la espira es:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r} \quad \text{ec.1}$$

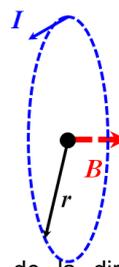


Figura 1: Esquema de la dirección y sentido del campo magnético B generado por una espira de radio r por la que circula una corriente eléctrica I en su centro

donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío, I es la intensidad de corriente, r el radio de la espira.

Un solenoide consiste en un conjunto de espiras. El campo magnético generado por el conjunto de espiras en su interior puede ser calculado suponiendo el solenoide infinitamente largo y utilizando la ley de Ampère (el cálculo está en la página 173 de vuestro libro de texto). Sin embargo, este cálculo solo es válido para el interior del solenoide.

En esta práctica vamos a trabajar con el campo magnético fuera del solenoide, cuya expresión es significativamente más complicada. Este cálculo queda fuera del objetivo de esta práctica. Por ello, esta práctica va a tener un carácter cualitativo.

Por último, en esta práctica se experimentará con electroimanes. Los electroimanes son dispositivos ampliamente utilizados en la tecnología actual que permiten aplicar campos magnéticos intensos que pueden apagarse o encenderse de forma controlada.

Un electroimán es un conjunto de espiras por el que se hace circular corriente. La diferencia respecto al solenoide es que en el interior del electroimán hay un núcleo de un material ferromagnético.

Un material ferromagnético se caracteriza por poseer dominios magnéticos que en su estado natural están desalineados entre sí (Figura 2.a), lo que evita que presenten una imanación neta.

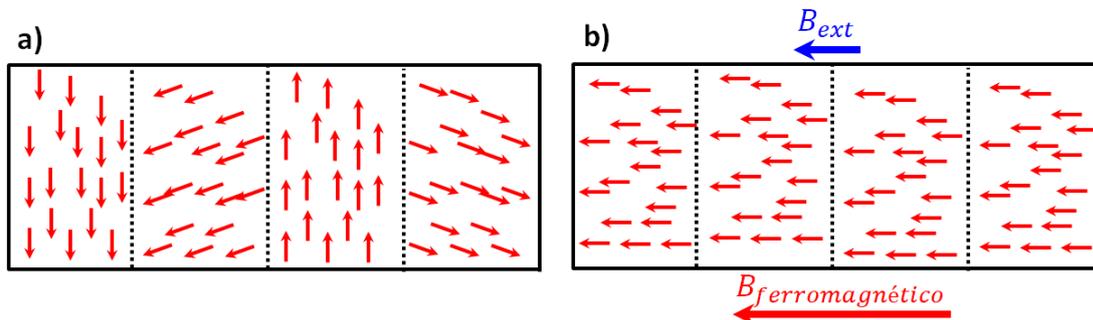


Figura 2: a) Material ferromagnético con dominios no alineados. b) Mismo material al que se le ha aplicado un campo magnético externo (B_{ext}) que ha alineado los dominios. Este alineamiento da lugar a una imanación del material ($B_{ferromagnético}$).

Un dominio magnético es una región del material donde los espines (“pequeños imanes dados por los electrones”) están alineados. Cuando se aplica un campo magnético a estos materiales, los dominios se alinean (Figura 2.b), lo que imanta al material. Como veremos en esta práctica, esto produce un incremento significativo del campo magnético respecto al que generaría el solenoide sin el núcleo ferromagnético.

3. Material y montaje

Utilizaremos:

- Fuente de corriente continua
- Una brújula
- Una espira de cobre
- Un solenoide
- Un núcleo de hierro
- Un electroimán optimizado

Para la visualización y medida del campo magnético utilizaremos, como sensores, brújulas de pequeña dimensión con un diámetro $\phi = 2$ cm.

Una brújula consiste en un pequeño imán que se alinea con el campo magnético terrestre. Si se le aplica un campo magnético externo de mayor intensidad que el terrestre, esta se reorientará alineándose con dicho campo.

PRECAUCIÓN: En esta práctica se harán pasar corrientes por cables de poco diámetro y poco recubrimiento aislante. **Por lo que se quemarán fácilmente. No sobrepasar en ningún caso las corrientes que se indican y dejarlas aplicadas el mínimo tiempo posible** (Del orden de segundos).

4. Desarrollo de la práctica

Inicialmente, observaremos si una espira genera campo magnético. Para ello, conectaremos la espira a la fuente de tensión y aplicaremos 4.5 A de intensidad de corriente. **Antes de aplicar corriente consultar el montaje con el profesor.**

A continuación acercaremos la brújula hacia el centro de la espira.

1 (V). ¿A qué distancia comienza a reorientarse la brújula? Realizad un dibujo de la espira donde se indique el sentido de la corriente eléctrica y el sentido del campo magnético generado.



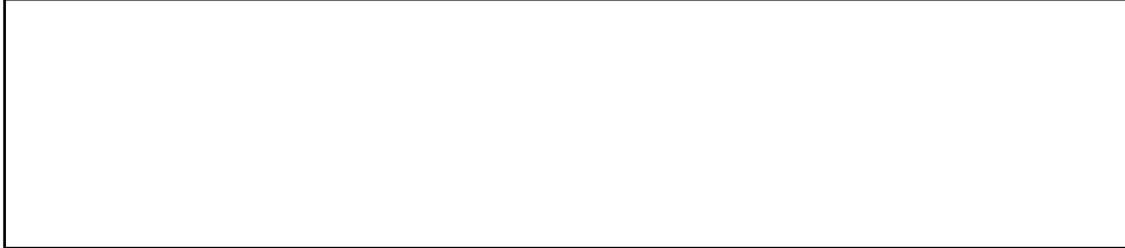
2 (V). Ahora invertid la polaridad de la corriente. Realizad un dibujo de la espira donde se indique el sentido de la corriente eléctrica y el sentido del campo magnético generado.



Ahora compararemos el campo observado con el generado por un solenoide. Para ello, aplica 1.5 A al solenoide (**OJO DEJARLO EL MÍNIMO TIEMPO POSIBLE ENCENDIDO del orden de pocos segundos**).

A continuación, acercaremos la brújula hacia el solenoide siguiendo el eje axial central del solenoide.

3 (V). ¿A qué distancia comienza a reorientarse la brújula? Realizad un dibujo del solenoide y la posición y orientación de la brújula.
¿Qué campo se extiende más en el espacio el de la espira o el del solenoide? Notad que la corriente eléctrica es aproximadamente un factor tres más pequeña.



Tras esto colocaremos la brújula a una distancia a la que no sienta el campo magnético del solenoide con una corriente de 1.5 A (aprox. unos 15 cm). Aplicaremos una corriente de 1.5 A y acercaremos el núcleo de hierro hacia el interior del solenoide.

4 (H). ¿Qué le ha ocurrido a la brújula al introducir el núcleo de hierro dentro del solenoide?
¿A qué creéis que se debe?

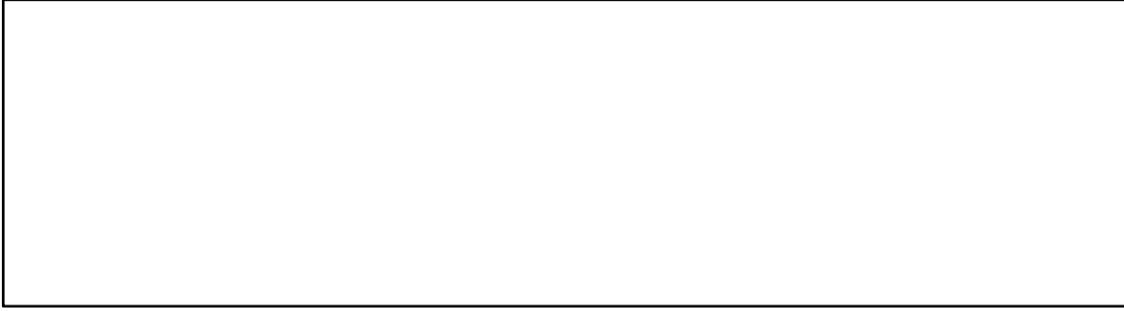


5 (H). ¿Habéis notado algo en el núcleo de hierro al acercarlo? ¿A qué creéis que se debe?



Por último, y a modo de ejemplo del potencial de un electroimán, colocaremos el electroimán optimizado sobre el pie de hierro **como indique el profesor** y le aplicaremos una corriente de 4.4 A. Ahora levantad el electroimán.

6 (H). ¿Qué ha ocurrido? ¿En qué creéis que consiste la optimización del electroimán?



4 - Inducción electromagnética

Integrantes del equipo:

1. Objetivos

En esta práctica perseguiremos tres objetivos:

- Visualizar la ley de Faraday-Lenz.
- Ahondar en la comprensión de la inducción electromagnética.
- Comprender que la inducción puede utilizarse como freno magnético.

Esta práctica presenta un enfoque cualitativo, donde se persigue familiarizarse con la fenomenología más que analizarla numéricamente.

2. Fundamentos

La ley de Faraday-Lenz establece que la variación de flujo de campo magnético a través de una superficie produce la aparición de una fuerza electromotriz (f.e.m). Esta f.e.m posee un sentido tal que la corriente eléctrica que produce, genera un campo magnético que se opone a la perturbación que produce la f.e.m.

Una corriente que circula por una espira circular produce un campo magnético, cuyo sentido viene dado por la regla de la mano derecha y su valor en centro de la espira es:

$$f.e.m. = -\frac{d\phi}{dt}$$

3. Material y montaje

Utilizaremos:

- Imanes de neodimio
- Tuerca
- Tubo de cobre
- Una espira de cobre
- Una espira de cobre cortada
- Un solenoide

4. Desarrollo de la práctica

La práctica consiste en la realización de 3 experiencias.

- 1º: Inducción de corriente en una espira.
- 2º: Freno magnético
- 3º: Inducción de corriente en una espira abierta y en una espira cerrada (Opcional)

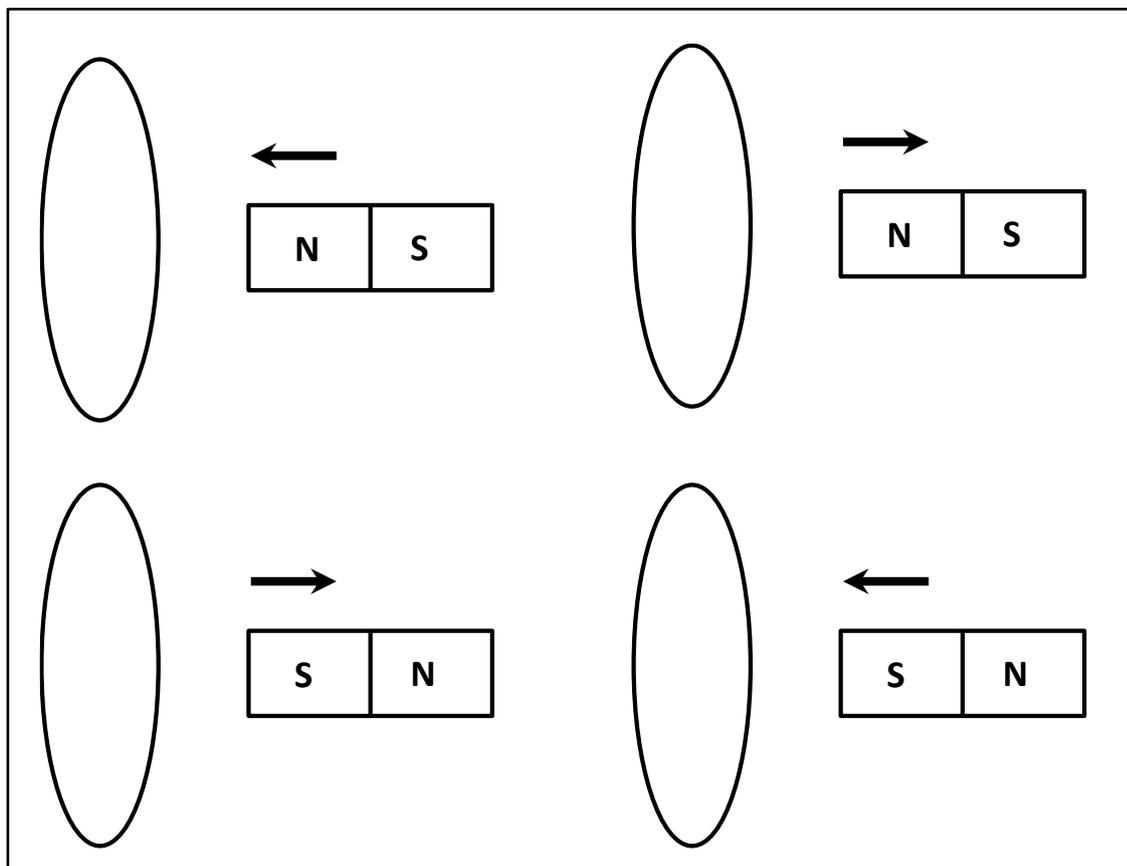
4.1 Inducción de corriente en una espira

Para esta experiencia conectaremos los extremos de una espira abierta a los terminales del amperímetro del multímetro. Utilizaremos la escala de microamperios para medir la corriente inducida por el desplazamiento de los imanes en la espira.

A continuación, tomaremos un conjunto de 7 imanes apilados y los acercaremos y alejaremos del centro de la espira, observando la magnitud y sentido de la corriente inducida. Recordad que la corriente se considera positiva cuando fluye del terminal del amperímetro hacia el terminal común.

Para identificar la orientación del campo magnético de los imanes utilizad una brújula.

1 (V). Dibujad el sentido de la corriente inducida en la espira para los cuatro casos indicados. La flecha continua indica el sentido del movimiento del imán.



2 (V). ¿Qué pasa si dejáis los imanes parados cerca de la espira? ¿Se induce corriente en la espira? ¿Por qué?



4.2 Freno magnético

A continuación experimentaremos con un freno magnético. Para ello utilizaremos un tubo de cobre inclinado.

Inicialmente, comprobaremos que el cobre no presenta un comportamiento magnético. Para ello acercaremos un imán de neodimio al tubo y observaremos que no interacciona con él atrayéndose ni repeliéndose.

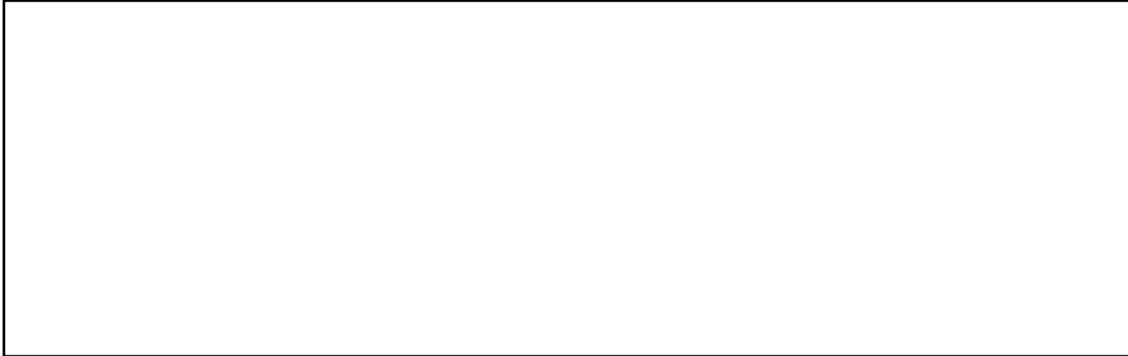
Tras esto, dejaremos caer la tuerca por el tubo inclinado. Con ayuda de un cronómetro anotaremos el tiempo que tarda en caer. Repetid la medida 5 veces y tomad el promedio.

Tras esto, dejad caer el imán y repetir la operación de medida del apartado anterior.

3 (A). ¿Qué tiempos de caída promedio se obtienen para la tuerca y el imán?

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Promedio
Tuerca						
Imán						

4 (H). ¿Por qué creéis que el imán cae más lento si inicialmente el imán no interactuaba con el cobre? ¿Cuál creéis que es el factor clave del tubo para que actúe como freno magnético?



5 - Ondas Electromagnéticas

Integrantes del equipo:

1. Objetivos

En esta práctica perseguiremos dos objetivos:

- Medir la velocidad de propagación de una onda electromagnética.
- Interiorizar órdenes de magnitud de longitudes de onda de ondas electromagnéticas.
- Visualizar el concepto de jaula de Faraday

2. Fundamentos

Una onda electromagnética (OEM) consiste en un campo eléctrico oscilante que se propaga junto a un campo magnético también oscilante. La relación de dispersión de una OEM permite obtener a partir de su longitud de onda y su frecuencia su velocidad de propagación. Esta expresión es:

$$c = f \cdot \lambda$$

donde c es la velocidad de propagación, f su frecuencia y λ su longitud de onda. Por otro lado, la energía (E) de un fotón viene dada por la relación de Planck:

$$E = hf$$

siendo f la frecuencia y h la constante de Planck con un valor de 6.63×10^{-34} J·s.

Una **jaula de Faraday** consiste en una estructura metálica cerrada capaz de apantallar campos electromagnéticos. Esto es posible porque los campos eléctricos incidentes producen desplazamientos de las cargas del conductor. El resultado de este desplazamiento es la cancelación del campo eléctrico en el interior de la estructura. A primer orden, para que el apantallamiento sea efectivo, el tamaño de las aperturas de la jaula ha de ser como mucho de $\sim 1/10$ de la longitud de onda de la onda electromagnética incidente.

3. Material y montaje

Utilizaremos:

- Microondas
- Lenguas de gominola

4. Desarrollo de la práctica

En esta práctica realizaremos dos experiencias:

- Mediremos la velocidad de una onda electromagnética
- Razonaremos sobre el funcionamiento de una jaula de Faraday

4.1 Velocidad de una onda electromagnética

Como primera experiencia mediremos la velocidad de una onda electromagnética, en particular de las microondas generadas por un horno microondas.

Los hornos microondas generan OEMs con una frecuencia de 2.45 GHz. Sabiendo esto y utilizando la ec. 1, solo necesitamos la longitud de onda (λ) para obtener la velocidad de una OEM.

Para obtener esta longitud de onda utilizaremos lenguas de gominola. Colocaremos las lenguas de gominola sobre un plato previamente cubierto con papel de cocina. Se colocarán 4 lenguas a lo largo del plato. Se introducirá el plato en el horno de forma que no gire dentro del mismo cuando se ponga en marcha. A continuación, encenderemos el horno a potencia 800 W durante aproximadamente 2 minutos. Tras terminar el calentamiento sacaremos el plato del horno.

Si todo ha ido bien, deberán observarse unas zonas quemadas en las lenguas de gominola asociadas al calentamiento por la OEM. Las zonas más quemadas corresponderán a las regiones donde la amplitud de la OEM ha sido máxima o mínima. Por ello, la distancia entre ambas franjas corresponderá a $\lambda/2$. Recordad que λ es la separación entre dos máximos de la onda.

1(A). ¿Qué λ se obtiene? ¿A partir de este valor, que velocidad de propagación de la OEM se obtiene? Dibuja un esquema en el que se muestre porque la distancia entre los puntos de amplitud máxima y mínima corresponde a $\lambda/2$.



2(H). A la vista de lo observado ¿Por qué crees que se hace rotar a los alimentos que se calientan en un horno microondas?

4.2 Jaula de Faraday

Si colocamos la mano frente a la puerta del microondas cuando está funcionando, no notamos que se nos caliente. Esto se debe a que el microondas es una jaula de Faraday que impide a las microondas salir del interior del horno.

Sin embargo, si podemos ver lo que hay dentro del microondas, es decir, la luz visible (otra onda electromagnética) si puede entrar y salir de dicha jaula de Faraday.

3(F). ¿A qué crees que se debe esto? ¿En qué se diferencian una microonda y una onda de luz visible?

Si la frecuencia de las microondas es menor que la de la luz visible y por tanto, son menos energéticas ($E = hf$)

4(F). ¿Por qué calienta un microondas más, que la luz visible que nos rodea? ¿Por qué calientan las microondas los alimentos?

I.2 Materiales y planos

Práctica 1: Fuerza de Lorentz

Cómo se indicó en el texto principal, esta práctica consiste en una adaptación de bajo presupuesto del sistema experimental de la balanza de corriente. Para ello, se han fabricado piezas con impresión 3D a medida para el resto de materiales utilizados.

Recursos

El montaje completo de la fotografía se presenta en la fig. 3. Los elementos que lo componen son:

- Una fuente de tensión y corriente variable (0-30 V y 0-10 A), adquirible por unos 70€.

- Soporte de laboratorio. Tomado del laboratorio del instituto.

- Una báscula con precisión de 0.1 g, tomada del laboratorio del instituto.

- Zócalo para guiar el cable por el que circula la corriente (fig. 3.c.). Este zócalo se ha impreso en 3D. El cable se ha fijado al zócalo mediante silicona caliente, aplicada con una pistola de silicona como la usada en los talleres de tecnología. Este zócalo dispone de dos agujeros en los que introducir pasadores que permitan fijar la pieza al pie de laboratorio.

- Imanes de neodimio de 30 mm x 10 mm x 3 mm).

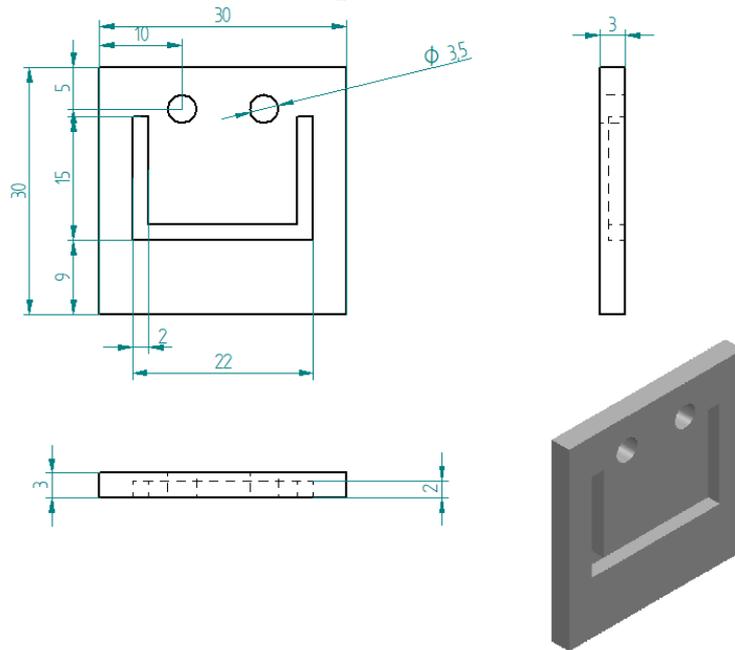
- Zócalo para los imanes (fig. 3.d.). Impreso en 3D, diseñado a medida para el zócalo del cable y los imanes. Este zócalo mantiene dos imanes separados de forma simétrica respecto al lugar donde se coloca el cable.

Planos

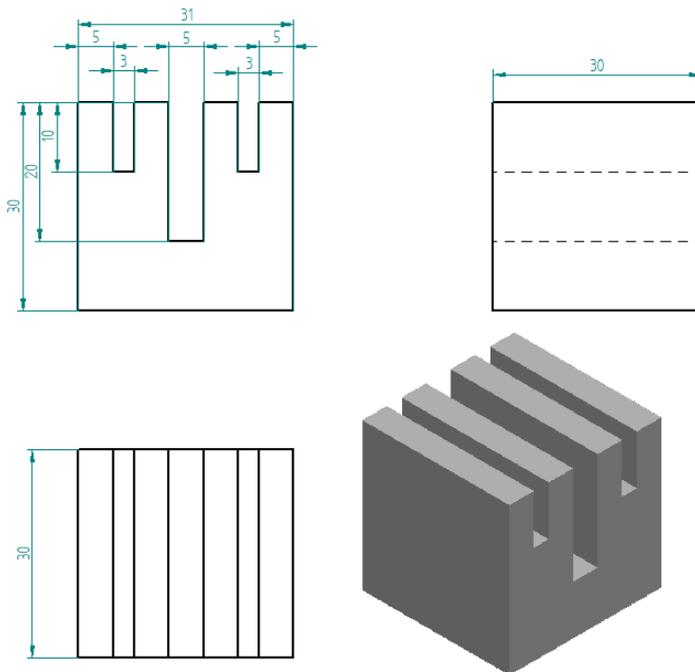
Los planos utilizados para fabricación con impresora 3D son:

.

Zócalo para el cable



Zócalo para los imanes



Práctica 2: Campo magnético generado por una corriente rectilínea

Cómo se indicó en el texto principal, en esta práctica se utiliza una plataforma que permite colocar 6 brújulas equidistantes al centro de la misma por el que pasa el cable de corriente. Esta plataforma se ha realizado a medida para el tamaño de las brújulas.

Recursos

El montaje completo de la fotografía se presenta en la fig. A.1.a. Los elementos que lo componen son:

- Una fuente de tensión y corriente variable (0-30 V y 0-10 A), por unos 70€. En esta práctica debido a la menor intensidad de corriente necesaria, se podría utilizar una fuente de 0-5 A.
- Plataforma para las brújulas, donde los centros de las brújulas se encuentran a 2 cm del centro de la plataforma por donde pasa el cable.
- Patas para la plataforma. Las patas son 3 tornillos de métrica 8, se colocan tuercas en la parte superior para que hagan tope contra la plataforma (fig. A.1.b). Se ha colocado un cabezal impreso en la cabeza de los tornillos para aumentar la superficie de contacto y dar más estabilidad al sistema. Una alternativa razonable podría ser sustituir estos cabezales por plastilina.
- Brújulas de 2 cm de diámetro.
- Centrador impreso en 3D. Permite colocar el cable en el centro de la plataforma, y que vaya perpendicular al plano de la plataforma.

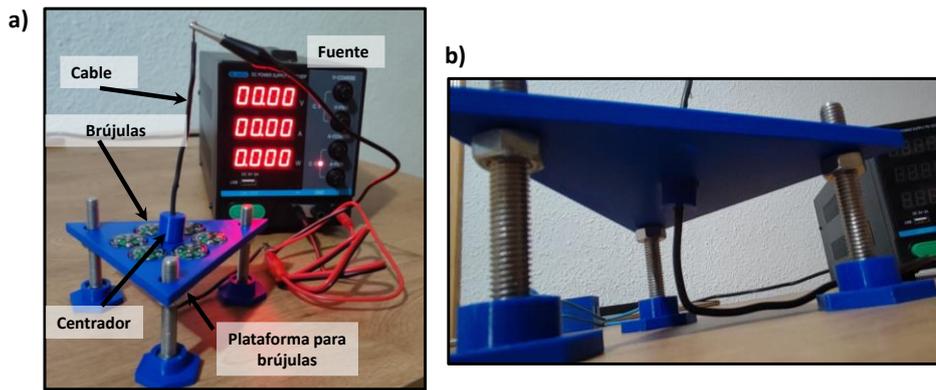
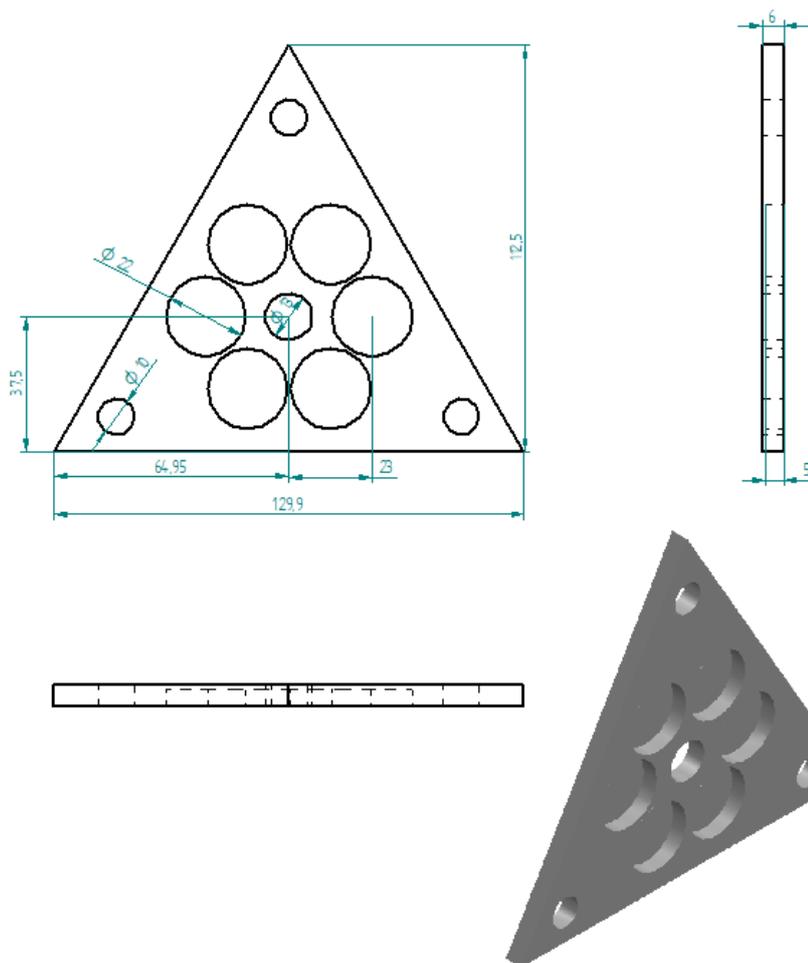


Figura A.1. Montaje para la caracterización del campo magnético generado por una corriente. a) Fotografía del montaje completo. b) Fotografía de la plataforma vista desde abajo. Las tuercas permiten ajustar la altura de la plataforma y nivelarla.

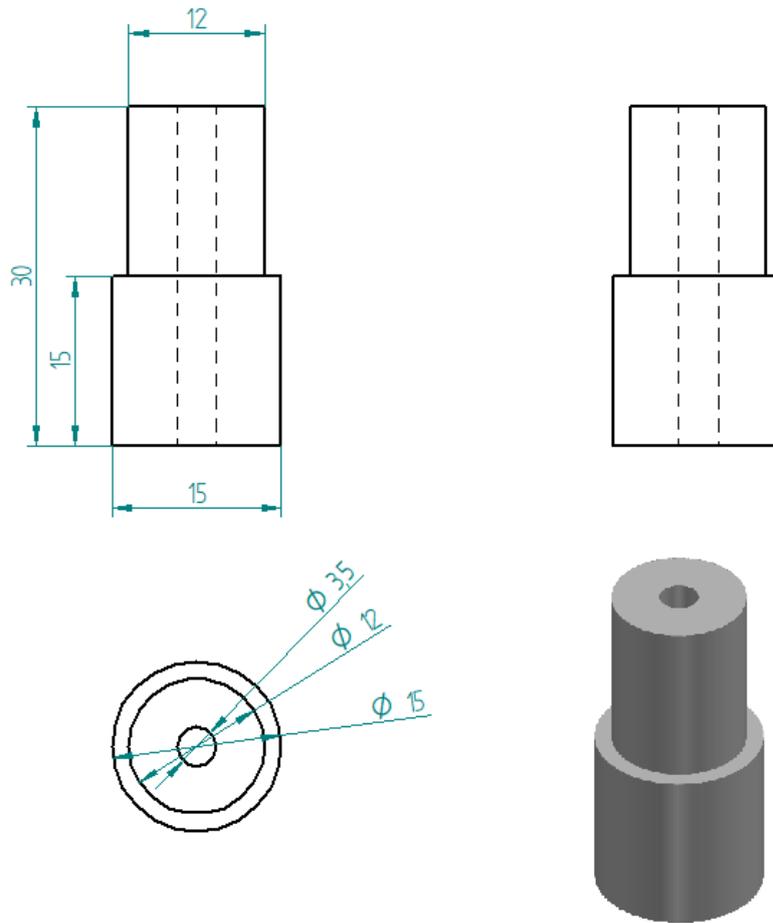
Planos

Los planos utilizados para fabricación con impresora 3D son:

Plataforma para brújulas



Centrador para el cable



Práctica 3: Generación de campos magnéticos por corrientes circulares

En esta práctica se utiliza una serie de elementos que permiten observar de forma secuencial como el campo magnético generado por una corriente rectilínea se intensifica al pasar de una espira, a un solenoide y de ahí a un electroimán.

Recursos

En la fig. 6 se muestran fotografías de los elementos necesarios: una espira (fig 6.a.), un solenoide (fig. 6.b), un electroimán y un electroimán optimizado:

-Una fuente de tensión y corriente variable (0-30 V y 0-10 A), adquirible por unos 70 €. En esta práctica debido a la menor intensidad de corriente necesaria, se podría utilizar una fuente de 0-5 A.

-Una espira (fig. 6.a). Como espira se utiliza una junta de cobre para sistemas de ultra-alto vacío. Estas juntas se pueden adquirir en tiendas especializadas. Estas tiendas especializadas suelen catalogar este producto como “copper gaskets”. La espira se ha abierto para cerrar el circuito mediante la fuente de alimentación.

-Un solenoide (fig 6.b). Como solenoide se utiliza un carrete de cable de cobre esmaltado.

- El primer electroimán caracterizado se obtiene al introducir una barra de hierro en el interior del solenoide caracterizado (fig. 6.c). Para corrientes del orden de 2 A, al acercar la barra de hierro al solenoide se nota una fuerza que atrae a la barra hacia el interior del solenoide.

-El electroimán optimizado se ha conseguido a partir de un transformador de microondas reciclado (fig. A.2.a). Para ello, se corta el transformador por los puntos de soldadura y se extrae primero el bobina primario y después el secundario. Tras esto, se reintroduce el bobinado primario en la estructura y queda listo para su uso (fig. A.2.b). El bobinado primario soporta mayores corrientes eléctricas sin que el recubrimiento de

los cables sufra daños. Esto permite aplicarle los 4.5 A necesarios para la práctica sin problemas.

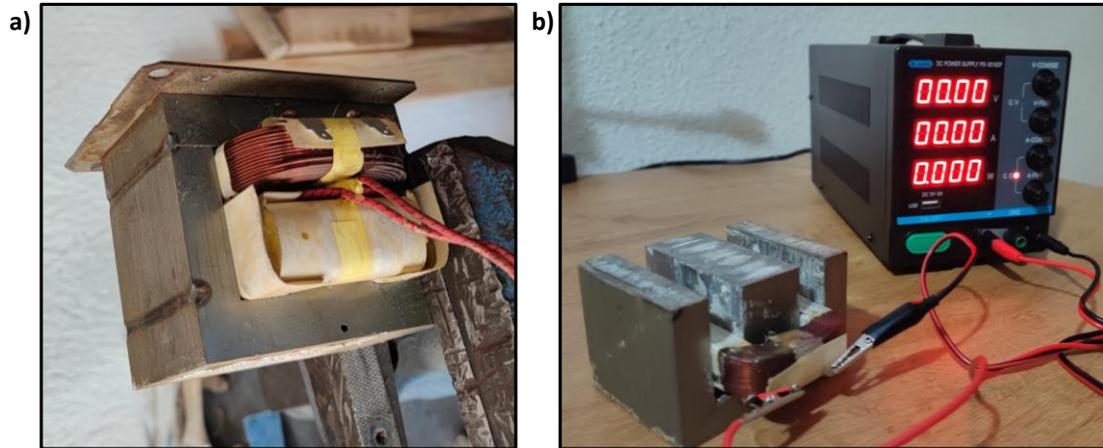


Figura A.2. Electroimán optimizado. a) Fotografía del transformador de microondas inicial, a partir del cual se obtuvo el electroimán. b) Fotografía del electroimán obtenido tras retirar el bobinado secundario del transformador.

Práctica 4: Inducción electromagnética

En esta práctica se realizan dos experiencias: caracterizar el sentido de la corriente inducida por un flujo de campo magnético variable y observar como la inducción electromagnética puede utilizarse como freno magnético.

Recursos

Los materiales necesarios son:

- Una espira (fig. 8.a.). Como espira se utiliza una junta de cobre para sistemas de ultra-alto vacío. Estas juntas se pueden adquirir en tiendas especializadas. Estas tiendas especializadas suelen catalogar este producto como “copper gaskets”. La espira se ha abierto para cerrar el circuito mediante un amperímetro. Para ello, se ha cortado con una sierra de hierro.

- Amperímetro. Se requiere que pueda medir corrientes de microamperio.

- Tubo de cobre. Se ha utilizado tubería de cobre de fontanería.

- Imán. Este imán de neodimio es cuadrado en lugar de rectangular como los de la balanza de corriente.

Anexo II. Evaluación de la propuesta

En este anexo se presentan parte de los instrumentos que se han utilizado para evaluar la propuesta didáctica, así como los resultados obtenidos que no son mostrados en el texto principal.

Los **instrumentos** de evaluación que se presentan son:

-El test de motivación *Intrinsic Motivation Inventory* (IMI) que han rellenado los estudiantes antes y después de realizar las prácticas de laboratorio. Se explica cómo se han obtenido las puntuaciones para las dos subescalas utilizadas.

-Los dos test de conocimientos que han realizado los estudiantes antes y después de realizar las prácticas de laboratorio.

-Las preguntas abiertas formuladas a los estudiantes tras realizar las prácticas.

Los **resultados** que se presentan son:

-Resultados del IMI desglosados por pregunta.

-Respuestas a las preguntas abiertas

Como se mencionó en el texto principal se han evaluado dos de las subescalas del test IMI: la escala de interés y la escala de utilidad. Cada una de estas subescalas cuenta con 7 preguntas que han sido traducidas.

-Subescala de interés: 1, 3*,4, 5, 7, 8*, 10

-Subescala de utilidad: 2, 6, 9, 11, 12, 13, 14

Cada una de las preguntas son valoradas del 1 al 7 en función de lo cierto de la afirmación, siendo 7 muy cierto y 1 nada cierto.

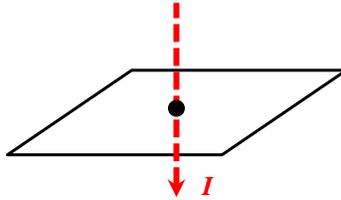
Para obtener la puntuación de la subescala se realiza el promedio de los valores obtenidos en todas las preguntas de la subescala. Las preguntas marcadas con un asterisco son preguntas inversas. El valor de estas preguntas inversas que se considera para el promedio se obtiene restando a 7 el valor obtenido. Por ejemplo, si en la pregunta 3 de la subescala de interés se obtuviese un valor de 5, el valor para el promedio sería 2.

Test de conocimiento

En esta subsección se muestran los test realizados antes (1) y después (2) de realizar las prácticas de laboratorio.

Test 1

1) Dibuja el campo magnético generado por una corriente I en un plano perpendicular a dicha corriente que circula como se indica en el dibujo.



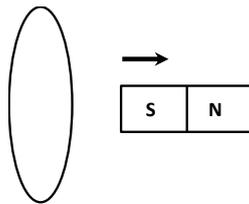
2) La fuerza de Lorentz que sufre una corriente eléctrica es:

- a) Paralela a la corriente eléctrica
- b) Perpendicular a la corriente eléctrica
- c) Las corrientes eléctricas no sufren la fuerza de Lorentz

3) ¿Cómo generarías un campo magnético?

- a) Con cargas eléctricas en movimiento
- b) Con una distribución estática de cargas eléctricas homogénea
- c) Con un dipolo eléctrico estático

4) Dibuja el sentido de la corriente eléctrica inducida en la espira del dibujo al alejar el imán con la orientación indicada.

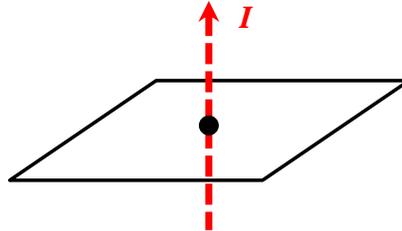


5) ¿En qué se diferencia la luz visible de las microondas?

- a) En su frecuencia y longitud de onda
- b) Las ondas microondas transportan más energía que la luz visible
- c) Las ondas microondas siempre tiene más amplitud de campo eléctrico que las ondas de luz visible.

Test 2

1) Dibuja el campo magnético generado por una corriente I en un plano perpendicular a dicha corriente que circula como se indica en el dibujo.



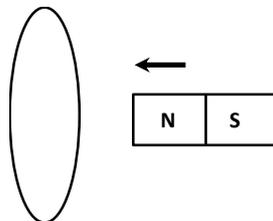
2) La fuerza de Lorentz que sufre una corriente eléctrica es:

- a) Perpendicular al campo magnético que produce la fuerza
- b) Paralela a la corriente eléctrica
- c) Las corrientes eléctricas no sufren la fuerza de Lorentz

3) ¿Cómo generarías un campo magnético?

- a) Con un conjunto de cargas eléctricas puntuales y estáticas
- b) Mediante corrientes eléctricas, es decir, con cargas eléctricas en movimiento
- c) Las cargas eléctricas no pueden generar campos magnéticos de ninguna forma

4) Dibuja el sentido de la corriente eléctrica inducida en la espira del dibujo al acercar el imán con la orientación indicada.



5) ¿En qué se diferencia la luz visible de las microondas?

- a) La luz visible siempre tiene más amplitud de campo eléctrico que las microondas
- b) Las ondas de luz visible transportan menos energía que las ondas microondas
- c) En su frecuencia y longitud de onda

Preguntas abiertas

Las preguntas abiertas que se han realizados a los estudiantes son:

- ¿Qué es lo que más te ha gustado de la actividad de laboratorio?

-¿Y lo que menos?

-¿Cambiarías algo? De ser así, ¿qué sería?

-Si quieres añadir algo más respecto a la actividad de laboratorio (impresiones, quejas, comentarios...), este es el lugar.

II.2.Resultados

En esta sección se muestran resultados no expuestos en el manuscrito principal.

-Test de motivación:

En la tabla A.1. se presentan las puntuaciones promedio obtenidas para cada una de las preguntas junto a la variación que los valores han experimentado respecto a la puntuación inicial obtenida.

Nº de pregunta	Pre-Instrucción	Post-Instrucción	Variación
IMI-1	3.39	5.11	+50.8%
IMI-2	4.61	5.61	+21.7%
IMI-3	3.72	3.22	-13.4%
IMI-4	4.33	6.33	+46.15%
IMI-5	4.61	5.67	+22.9%
IMI-6	4.67	5.22	+11.9%
IMI-7	2.78	4.17	+50%
IMI-8	3.88	3	-22.7%
IMI-9	5.28	6.06	+14.74%
IMI-10	2.94	4.28	+45.28%
IMI-11	3.22	6.11	+89.66%
IMI-12	5.72	6.33	+10.68%
IMI-13	4.67	5.61	+20.24%
IMI-14	4.94	5.44	+10.11%

Tabla A.1. Resultados para cada pregunta del IMI. Cada fila muestra el resultado para cada una de las preguntas del test IMI, correspondiendo la numeración con la indicada al inicio de la sección II.1 Se presentan los resultados antes y después de implementar la propuesta didáctica, así como la tasa de variación en %.

-Preguntas abiertas

La fig. A.3 muestra otros comentarios obtenidos diferentes a los presentados en el manuscrito principal.

Si quieres añadir algo más respecto a la actividad de laboratorio (impresiones, quejas, comentarios...), este es el lugar:

Me ha gustado mucho este tipo de ejercicios porque nos permitía ver como lo que hemos estudiado se aplica a la vida real, lo cual mejora la comprensión.

¿Qué es lo que más te ha gustado de la actividad de laboratorio?

La posibilidad de adaptar los conocimientos teóricos a la práctica, ver su utilidad en lo cotidiano, usar un material especializado y poder llegar a la solución mediante la reflexión.

Figura A.3: Otros comentarios cualitativos de los estudiantes.

Anexo III- Rúbrica

En este anexo, en concreto en la tabla A.2, se presenta la rúbrica que se ha utilizado para calificar los informes de laboratorio de los grupos de estudiantes.

	0.25 puntos	0.5 puntos	0.75 puntos	1 punto
Adquisición, Tratamiento y Representación de datos cuantitativos	Contesta en consonancia a lo que se pregunta en el enunciado	A: Se adquiere el número de datos requerido en el enunciado	A: Se indican las unidades correspondientes a las magnitudes correctamente	A: El número de datos es el pedido, las unidades son correctas y la presentación es clara.
		T: Se utilizan las magnitudes adecuadas para los cálculos	T: Las unidades concuerdan con las magnitudes utilizadas y están en consonancia con las unidades de los resultados.	T: Las unidades y magnitudes utilizadas son correctas. Calcula el resultado correcto y lo expresa de forma clara.
		R: Se representan las coordenadas de todos los datos adquiridos de forma correcta	R: Los datos se representan correctamente y se representa el ajuste visual realizado.	R: Los datos y el ajuste visual se representan correctamente. El ajuste visual es razonable y la presentación es clara.
Visualización de campos	Contesta en consonancia a lo que se pregunta en el enunciado	Se representan todas las magnitudes involucradas y las direcciones de las mismas son correctas	Se representan correctamente sentido y dirección de todas las magnitudes implicadas.	Se representan correctamente sentido y dirección de las magnitudes. La presentación es clara.
Hipótesis	Contesta en consonancia a lo que se pregunta en el enunciado	Las hipótesis planteadas son físicamente posibles	Las hipótesis son físicamente posibles y se argumenta su formulación	Las hipótesis son físicamente posibles, están argumentadas y en parte o en su totalidad son correctas
Explicación de fenómenos cotidianos	Contesta en consonancia a lo que se pregunta en el enunciado	Se utiliza la información aportada en el guion para tratar de responder a la pregunta	Se utiliza la información aportada en el guion e información externa para dar una respuesta argumentada	Se utiliza la información aportada en el guion e información externa para dar una respuesta argumentada con sentido físico
Órdenes de magnitud	Se responden todos los apartados de la pregunta	Se presentan los valores de los campos magnéticos demandados	Se presentan los valores de los campos magnéticos y se expresa por escrito de forma clara la diferencia entre ellos	Se presentan los valores correctos de los campos magnéticos y se expresa por escrito de forma clara la diferencia entre ellos

Tabla A.2: Rúbrica utilizada para calificar los informes de laboratorio. Para cada tipo de actividades se tienen en cuenta descriptores diferentes. Para las actividades de Adquisición, Tratamiento y Representación de datos cuantitativos, los descriptores se clasifican en función de si corresponden a actividades de adquisición (A), tratamiento (T) o representación (R) de datos.

Anexo IV. Distribución de grupos

En esta práctica se muestran las tablas que se les dio a los estudiantes para organizar las diferentes sesiones. En la tabla A.3 se comunican los integrantes de los equipos. Se han omitido los nombres para preservar la privacidad de los estudiantes, pero se mantiene el número de estudiantes de los grupos con la idea de mostrar el tamaño de los grupos que hicieron las prácticas. En la tabla A.4 se indica las prácticas que cada grupo realizó en cada sesión.

Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5
E1	E4	E8	E12	E15
E2	E5	E9	E13	E16
E3	E6	E10	E14	E17
	E7	E11		E18

Tabla A.3: Grupos de estudiantes. Se muestra el número de estudiantes (E) que hay en cada grupo. De esta forma las prácticas las realizaron dos grupos de tres estudiantes y tres grupos de cuatro estudiantes.

Primera sesión				
Práctica 1	Práctica 2	Práctica 3	Práctica 4	Práctica 5
Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5
Equipo 5	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4
Segunda sesión				
Práctica 1	Práctica 2	Práctica 3	Práctica 4	Práctica 5
Equipo 4	Equipo 5	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 1	Equipo 2
Tercera sesión				
Práctica 1	Práctica 2	Práctica 3	Práctica 4	Práctica 5
Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 1

Tabla A.4. Distribución de grupos y equipos por sesiones.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mi tutor académico, Juan Antonio Sanz, su supervisión, sus consejos y el tiempo que ha dedicado para que este trabajo haya podido salir adelante.

A mi tutor profesional, José Ignacio Melero Pinillo, le agradezco todo lo que me ha enseñado durante las prácticas y sobre todo la libertad para implementar estas prácticas que me ha dado. Agradezco profundamente el tiempo que puso a mi disposición en un curso tan crítico como el de 2º de Bachillerato y los medios que me brindó.

A los profesores del MESOB les agradezco todo lo que me han enseñado y que he podido aplicar en este TFM; en especial a Adrián Gollerizo por toda la ayuda e incontable cantidad de “hilos de los que tirar” que me ha brindado.

A mis compañeros de batalla del MESOB, en especial a Pedro, Diego y Bea, les agradezco haber hecho más llevaderos el máster y la redacción de este documento.

Por último, a Laura por su apoyo incondicional desde el inicio, en los momentos buenos y sobre todo en los difíciles.