



---

**Universidad de Valladolid**

# **SITUACIÓN DE APRENDIZAJE BASADA EN MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE CONTINUA**

MÁSTER EN PROFESOR DE EDUCACIÓN SECUNDARIA  
OBLIGATORIA Y BACHILLERATO, FORMACIÓN PROFESIONAL Y  
ENSEÑANZA DE IDIOMAS  
- FÍSICA Y QUÍMICA

Autora: Sara Lorenzo Sánchez

Tutora: Ana María Grande Sáez

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es generar una situación de aprendizaje sobre motores de corriente continua a través del uso de metodologías activas, basándonos en un aprendizaje basado en proyectos apoyado en el uso de herramientas TIC, para la asignatura de Física del curso de segundo de bachillerato. Esta situación de aprendizaje se compondrá de diferentes sesiones que apoyen la realización de proyectos prácticos que pretenden facilitar al alumno el entendimiento y la interiorización de los conceptos a través de distintas contextualizaciones de estos. Este tipo de metodologías pretenden generar conflictos cognitivos al alumno de manera que le hagan generar una reestructuración de sus esquemas de conocimiento y con ello un entendimiento significativo. Asimismo, conseguiremos aumentar la confianza en sí mismo, desarrollar su perfil emprendedor y mejorar la autoconciencia de su propio aprendizaje.

## PALABRAS CLAVE

‘Situación Aprendizaje’ - ‘Bachillerato’ - ‘Física’ - ‘Motores Eléctricos’ - ‘Experimentos prácticos’

## ABSTRACT

The objective of this work is to generate a learning situation about DC motors with the help of active methodologies. This learning situation uses project-based learning supported by the use of ICT tools for the physics subject of the second year of high school. The project will consist of different practical projects that aim to help the student to understand and internalize the concepts through different ways of providing the information. This type of methodology intends to generate cognitive conflicts in the student in a way that they generate a restructuring process of the students' knowledge schemes. Likewise, we will be able to increase their self-confidence, develop their entrepreneurial profile and improve self-awareness of their own learning.

## KEY WORDS

‘Learning situation’ - ‘High School’ - ‘Physics’ - ‘DC Electric Motors’ - ‘Practical Experiments’

<b>RESUMEN</b>	<b>2</b>
<b>PALABRAS CLAVE</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>KEY WORDS</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1. JUSTIFICACIÓN	5
1.2. OBJETIVOS GENERALES	5
<b>2. MARCO LEGAL</b>	<b>6</b>
<b>3. SITUACIONES DE APRENDIZAJE</b>	<b>6</b>
3.1. APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DUA	7
<b>4. OBJETIVOS DIDÁCTICOS</b>	<b>7</b>
<b>5. COMPETENCIAS</b>	<b>8</b>
5.1. COMPETENCIAS CLAVE	8
5.2. COMPETENCIAS ESPECÍFICAS	8
<b>6. METODOLOGÍA</b>	<b>9</b>
6.1. TEORÍA O BASE PEDAGÓGICA	9
6.2. ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS	11
<b>7. TEMPORALIZACIÓN</b>	<b>12</b>
<b>8. PROPUESTA DIDÁCTICA</b>	<b>13</b>
8.1. INTRODUCCIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA	13
8.2. COMPETENCIAS ESPECÍFICAS	13
8.3. CONTENIDOS	13
8.4. ACTIVIDADES	13
<b>9. EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN</b>	<b>23</b>
9.1. EVALUACIÓN	23
9.2. CALIFICACIÓN	28
<b>10. CONCLUSIONES</b>	<b>30</b>
<b>11. PROSPECTIVA FUTURA</b>	<b>30</b>
<b>12. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>32</b>
<b>ANEXO A. RELACIONES DIDÁCTICAS OBJETIVOS Y COMPETENCIAS.</b>	<b>35</b>
<b>ANEXO B. GUION ALUMNO - ACTIVIDAD 1.</b>	<b>37</b>
<b>ANEXO C. GUION ALUMNO - ACTIVIDAD 2.</b>	<b>43</b>
<b>ANEXO D. INFORME ALUMNO - ACTIVIDAD 2.</b>	<b>46</b>
<b>ANEXO E. GUION ALUMNO - ACTIVIDAD 3.</b>	<b>51</b>

<b>ANEXO F. INFORME ALUMNO - ACTIVIDAD 3.</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO G. SÍNTESIS TEÓRICA DEL CONTENIDO DE LA ACTIVIDAD 4.</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO H. GUION ALUMNO - ACTIVIDAD 5.</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO I. INFORME ALUMNO - ACTIVIDAD 5.</b>	<b>70</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. JUSTIFICACIÓN

En pleno desarrollo de la sociedad, la enseñanza sigue siendo un área bastante tradicionalista como poco. España, en concreto, tiene un trasfondo cultural en el aula donde no se pone en cuestión, en ningún caso, la palabra del profesor. El alumnado aprende únicamente bajo su criterio, estando fuertemente centrado en la figura del docente en lugar del alumno. Si llevamos este tradicionalismo a un ambiente científico, observamos que es complejo llevar al aula conceptos generalmente abstractos de una manera activa para los alumnos, barata y simple. Si contextualizamos en un ambiente de secundaria o primeros cursos de universidad, el mayor problema es la individualización de los conceptos, al aplicarlo en la vida real, es difícil abstraer una sola idea sin interrelación con otros conceptos quizás aún no estudiados. Asimismo, cuando se pregunta a los profesores por metodologías de aprendizaje más activas, el foco de sus comentarios son esencialmente los mismos, falta de tiempo, falta de recursos y en muchos casos quizás no aceptados, el miedo al fracaso cuando no sabemos explicar por qué un experimento no sale como queremos en el aula.

La simple realización de una situación de aprendizaje es un trabajo arduo que contiene implicaciones a muchos niveles. No se trata de la inspección de libros de texto sobre el tema al cual va a enfrentarse el profesor, sino de entender las implicaciones que tiene el aprendizaje de estos saberes básicos para los alumnos. Hay que tener muchos factores en cuenta, desde la organización y manejo de la clase hasta la selección de estrategias de instrucción, modulación del discurso, identificación de la estrategia de evaluación, así como otros factores, que van a ser cruciales en el éxito de la adquisición de conocimientos.

A través del desarrollo del presente trabajo se pretende generar una secuenciación de actividades que conformen una situación de aprendizaje para los alumnos de segundo de bachillerato de Física que, basada en las técnicas DUA, permita obtener un entendimiento de los saberes básicos que fundamentan el funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continua. Poco a poco mediante el avance del documento podremos ir concretando los diferentes pilares, como si de una edificación se tratara, nuestro proyecto. Incluiríremos las bases normativas que amparan nuestra situación de aprendizaje, los objetivos didácticos a adquirir por los alumnos, así como las competencias clave y específicas sobre los que se apoyan. Esto se llevará a cabo gracias a las distintas actividades desarrolladas, que, tomando como herramienta los saberes básicos y la metodología utilizada durante la misma, intentará obtener un perfil de salida concreto del alumno.

### 1.2. OBJETIVOS GENERALES

Los objetivos generales del trabajo de fin de máster aquí expuesto son los siguientes:

- Diseñar una secuenciación de actividades prácticas incrementales basadas en el funcionamiento del motor eléctrico bajo una visión competencial amparada por el reglamento vigente para el curso de segundo de bachillerato.
- Identificar un marco metodológico activo, adaptado al perfil de salida del alumno que se desea obtener, utilizando métodos deductivos, así como las estrategias del trabajo científico.
- Describir un método de evaluación de cada una de las actividades permitiendo obtener una visión global del desarrollo competencial del alumno y con ello la adquisición de los objetivos didácticos definidos para la situación de aprendizaje.
- Desarrollar el perfil emprendedor del alumno a través del desarrollo de la solvencia en el uso de conceptos teóricos para obtener aplicaciones prácticas.

## 2. MARCO LEGAL

La presente situación de aprendizaje, realizada para la asignatura de Física para el curso segundo de Bachillerato, está diseñada bajo el amparo de la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre (LOMLOE), por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOE), como norma base.

Asimismo, puesto que estamos desarrollando una situación de aprendizaje contextualizada en un curso de segundo de bachillerato para la asignatura de Física, a nivel estatal, toma como referencia el Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato a nivel nacional y el cual deroga el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre.

Por otra parte, el marco específico desarrollado a nivel autonómico sobre el ámbito de bachillerato, que ha sido tomado como base para la programación, se constituye por:

- Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. En él se encuentra establecido el currículo de esta asignatura para el bachillerato. Se establecen los objetivos, contenidos, los criterios de evaluación y las competencias a adquirir para formar el perfil de salida del alumno.
- Orden EDU/624/2022, de 6 de junio, por la que se aprueba el calendario escolar para el curso académico 2022-2023 en los centros docentes que imparten enseñanzas no universitarias en la Comunidad de Castilla y León, y se delega en las direcciones provinciales de educación la competencia para la resolución de las solicitudes de su modificación.

Orden basada en la Orden EDU/385/2017, de 22 de mayo, que en su artículo 2 establece que el titular de la consejería competente en materia de educación, antes del 31 de mayo de cada año, aprobará el calendario escolar para cada uno de los niveles y enseñanzas recogidas en esta orden.

Por último, cabe mencionar el artículo 73.1 del Estatuto de Autonomía de Castilla y León sobre competencias de educación, así como en el Decreto 23/2014, de 12 de junio, que establece el marco del gobierno y autonomía de los centros docentes sostenidos con fondos públicos, que imparten enseñanzas no universitarias en la Comunidad de Castilla y León, y donde se regulan los aspectos necesarios para que los centros puedan desarrollar su autonomía pedagógica y organizativa.

## 3. SITUACIONES DE APRENDIZAJE

Según el artículo 13 del decreto 40/2023 entendemos la situación de aprendizaje como el “*conjunto de momentos, circunstancias, disposiciones y escenarios alineados con las competencias clave, y con las competencias específicas a ellas vinculadas, que requieren por parte del alumnado la resolución de actividades y tareas secuenciadas a través de la movilización de contenidos, y que contribuyen a la adquisición y desarrollo de las competencias*”.

En el proceso de asentamiento de los contenidos y de comprensión de la realidad a través de principios científicos, resulta imprescindible exponer al alumno a situaciones que le permitan afrontar en primera persona las consecuencias que tienen aquello que han estudiado dentro del aula. En este sentido, las situaciones de aprendizaje constituyen dentro de esta programación aquellas actividades que engloban un mayor grado de complejidad y suponen para el alumno un reto intelectual y de ingenio, de manera que al recurrir a distintos conocimientos sean capaces de resolver dichas situaciones complejas. Basándonos en las orientaciones dadas en el anexo II.C del decreto previamente mencionado, estas deben de contener tres fases, ‘que sabemos’, ‘que queremos aprender’ y una última fase de reflexión sobre ‘qué hemos aprendido’. Además, debe existir variedad, contextualizándolas en múltiples ámbitos (profesional, laboral, social...), enfocándose siempre de una manera estimulante y activa para el alumno. Es necesario para su diseño y planificación tener en cuenta los distintos criterios de evaluación e indicadores de logro de las distintas competencias específicas vinculadas a la situación de aprendizaje para un impacto positivo en el perfil de salida.

### 3.1. APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DUA

De una manera general los objetivos de esta nueva legislación están focalizados en una diversidad cada vez mayor y una garantía del éxito estudiantil, fomentando las capacidades individuales de manera diversa en lugar de “modelos-de-talla-única”. Esto es la base del modelo metodológico denominado “Diseño Universal de Aprendizaje” al cual responden nuestras situaciones de aprendizaje. Este se basa en la diversidad de representación de los contenidos, tanto en las actividades y recursos utilizados; tales como diversas contextualizaciones de proyectos, visitas, simulaciones, debates, disertaciones, animaciones o clases invertidas, de manera que potencien distintos modelos de implicación y participación, así como en la diversidad de formas de entrega del trabajo parte de los alumnos, generando en todo momento distintos grados de complejidad. Esto nos permite potenciar sus propias cualidades, adquiriendo así una autonomía, autoestima y autoconocimiento.

## 4. OBJETIVOS DIDÁCTICOS

Los objetivos educativos son los logros que se espera que el alumno haya alcanzado al finalizar la etapa, y cuya consecución está vinculada a la adquisición de las competencias clave, las cuales se materializan para cada una de las asignaturas a través de los descriptores operativos y las competencias específicas (Decreto 40/2022). Se diferencian objetivos de etapa y objetivos específicos de materia.

Los objetivos de etapa, en este caso bachillerato, son comunes a todas las asignaturas y se adquirirán globalmente a través de la simbiosis de las distintas materias, estos están recogidos en el artículo 33 de la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, en el artículo 7 del Real Decreto 243/2022, de 5 de abril y son complementados por los objetivos autonómicos recogidos en el artículo 6 del Decreto 40/2022, de 29 de septiembre.

Posteriormente, amparándonos en los objetivos generales de etapa, se desarrollan unos objetivos de materia para el curso y asignatura correspondiente, Física de segundo de bachillerato, incluidos en la programación que ampara la siguiente situación didáctica aquí detallada.

Por último, particularmente para esta situación de aprendizaje y basándonos en los objetivos previamente descritos (Real Decreto 243/3033, artículo 7), hemos desarrollado unos objetivos tanto curriculares como procedimentales con la finalidad de ser adquiridos en el perfil de salida del alumno una vez finalizada la experiencia. Estos objetivos serán los detallados a continuación, asociando a cada uno de ellos las competencias específicas (CEsp) sobre las que se apoyan para lograrlos. Las competencias específicas aparecen desarrolladas en el quinto apartado del presente documento.

- OB.1 Entender los distintos conceptos electromagnéticos que fundamentan el funcionamiento de un motor eléctrico, (CEsp1, CEsp2).
- OB.2 Controlar y predecir el desempeño de un motor eléctrico a través del análisis y modificación de sus variables, (CEsp1).
- OB.3 Comprender la función de las diferentes partes que componen un motor eléctrico y valorar la importancia cada una de ellas, (CEsp2).
- OB.4 Realizar prototipos reales didácticos, sencillos y contextualizados a partir de la aplicación de conceptos teóricos estudiados, (CEsp2, CEsp5).
- OB.5 Adquirir soltura y seguridad para la aplicación de conceptos teóricos, desarrollando así la actitud emprendedora, (CEsp5).
- OB.6 Dinamizar el trabajo en grupo adquiriendo responsabilidades, comunicándose con respeto, y obteniendo valor de opiniones ajena (CEsp4).
- OB.7 Generar conciencia social en el alumno sobre las consecuencias de los avances tecnológicos, (CEsp6).
- OB.8 Desarrollar ideas propias sobre los conceptos estudiados y no una única yuxtaposición de ideas sin su correspondiente internalización, (CEsp5, CEsp3).

Es decir, buscamos que el alumno comprenda y asimile conceptos físicos relacionados con el funcionamiento de motores eléctricos a través de un contexto escolar aplicado. Asimismo, intentamos que el alumno desarrolle una actitud segura y decidida en la aplicación de los conceptos teóricos que permiten al mismo tiempo una asimilación de los mismos.

## 5. COMPETENCIAS

### 5.1. COMPETENCIAS CLAVE

A efectos del Real Decreto 243/2022, artículo 2, se entenderá por competencias clave “los desempeños que se consideran imprescindibles para que el alumnado pueda progresar con garantías de éxito en su itinerario formativo, y afrontar los principales retos y desafíos globales y locales. Son la adaptación al sistema educativo español de las competencias clave establecidas en la Recomendación del Consejo de la Unión Europea, de 22 de mayo de 2018, relativa a las competencias clave para el aprendizaje permanente”. Siendo, por tanto, las competencias, herramientas vinculadas a la obtención de los objetivos marcados en el perfil de salida del alumno.

Cada competencia clave integra tres dimensiones, la cognitiva, la instrumental y la actitudinal. Los conocimientos constituyen la dimensión cognitiva de las competencias, las destrezas constituyen la dimensión instrumental y las actitudes constituyen la dimensión actitudinal.

Estas competencias clave se establecen en el artículo 16.1 del Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, y serán adquiridas de una manera global a través de todas las asignaturas en la etapa correspondiente, en este caso bachillerato. Las **competencias clave** son:

- a) Competencia en comunicación lingüística (CCL).
- b) Competencia plurilingüe (CP).
- c) Competencia matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería (STEM).
- d) Competencia digital (CD).
- e) Competencia personal, social y de aprender a aprender (CPSAA).
- f) Competencia ciudadana (CC).
- g) Competencia emprendedora (CE).
- h) Competencia en conciencia y expresión culturales (CCEC).

A partir de cada una de las competencias clave se desarrollan los denominados descriptores operativos, elementos que permiten una concreción en el desarrollo competencial del alumno. Estos descriptores operativos se detallan y vinculan con las competencias clave en el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, Anexo I. Tanto los descriptores operativos de cada competencia clave como la relación entre los descriptores operativos y los objetivos de la etapa de bachillerato se adjuntan en el anexo A de este documento.

### 5.2. COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

Con carácter general, debe entenderse que la consecución de los objetivos de bachillerato está vinculada a la adquisición y desarrollo de dichas competencias clave. Estas competencias clave se materializan específicamente por curso y asignatura, los descriptores operativos de cada una de las competencias clave constituyen el marco referencial a partir del cual se concretan las competencias específicas de las diferentes materias (Decreto 40/2022).

Esta vinculación entre descriptores operativos y competencias específicas propicia que, de la evaluación de estas últimas, pueda medirse el grado de adquisición de las competencias clave esperadas en Bachillerato y, por tanto, la consecución de los objetivos previstos para la etapa de una manera integrada con el resto de las asignaturas. En particular para la asignatura de Física de segundo de bachillerato existen seis competencias específicas principales definidas y desarrolladas en el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, Anexo III, las cuales serán aquí

detalladas estando presente la relación con las competencias clave en el anexo A de este documento:

**CEsp1.** Utilizar las teorías, principios y leyes que rigen los procesos físicos más importantes, considerando su base experimental y desarrollo matemático en la resolución de problemas, para reconocer la física como una ciencia relevante implicada en el desarrollo de la tecnología, la economía, la sociedad y de la sostenibilidad ambiental.

**CEsp2.** Adoptar los modelos, teorías y leyes aceptados de la física como base de estudio de los sistemas naturales y predecir su evolución para inferir soluciones generales a los problemas cotidianos relacionados con las aplicaciones prácticas demandadas por la sociedad en el campo tecnológico, industrial y biosanitario.

**CEsp3.** Utilizar el lenguaje de la física con la formulación matemática de sus principios, magnitudes, unidades, ecuaciones, etc., para establecer una comunicación adecuada entre diferentes comunidades científicas y como una herramienta fundamental en la investigación.

**CEsp4.** Utilizar de forma autónoma, eficiente, crítica y responsable recursos en distintos formatos, plataformas digitales de información y de comunicación en el trabajo individual y colectivo para el fomento de la creatividad mediante la producción y el intercambio de materiales científicos y divulgativos que faciliten acercar la física a la sociedad como un campo de conocimientos accesible.

**CEsp5.** Aplicar técnicas de trabajo e indagación propias de la física, así como la experimentación, el razonamiento lógico-matemático y la cooperación, en la resolución de problemas y la interpretación de situaciones relacionadas, para poner en valor el papel de la física en una sociedad basada en valores éticos y sostenibles.

**CEsp6.** Reconocer y analizar el carácter multidisciplinar de la física, considerando su relevante recorrido histórico y sus contribuciones al avance del conocimiento científico como un proceso en continua evolución e innovación, para establecer unas bases de conocimiento y relación con otras disciplinas científicas.

Estas competencias son la base en la cual nos hemos amparado en la realización de nuestra situación de aprendizaje, estando detallada durante todo el desarrollo de la propuesta didáctica la aplicación de cada una de las competencias en función de la actividad.

## 6. METODOLOGÍA

Toda actividad organizada y planificada entraña un método, una metodología si hablamos del proceso educativo. Durante esta situación de aprendizaje para alumnos de Física de segundo de bachillerato, nos basaremos en tres pilares fundamentales para el desarrollo de la metodología: principios pedagógicos, principios metodológicos y características del alumnado. Los principios pedagógicos vienen definidos en el artículo 6 del Real Decreto 243/2022, de 5 de abril y alineados con estos, en el anexo II.A del Decreto 40/2022, de 29 de septiembre vendrán definidos los principios metodológicos. Por último, la concreción de las características del alumnado es una incógnita en el planteamiento de esta situación de aprendizaje por tanto deberá adaptarse al contexto individual de cada aula.

### 6.1. TEORÍA O BASE PEDAGÓGICA

Basaremos la metodología utilizada para la siguiente situación de aprendizaje en la teoría del **constructivismo**, inspirada en el cognitivismo de Jean Piaget y asentada por el pedagogo Lev Vygotsky. Estos autores sugirieron que los procesos principales a través de los cuales los individuos construyen nuevos conocimientos a partir de distintas experiencias eran: procesos de acomodación y de asimilación (Papalia, Wendkos, & Duskin, 2007).

Dentro de la línea del cognitivismo o constructivismo nos basaremos en tres grandes autores, quienes bajo diferentes ideas llegan a generar una coherencia entre ellas siendo motivo de simbiosis más allá que de crítica por sus diferencias:

### 1. Jean Piaget y la teoría genética del aprendizaje

Piaget nos ofrecía un planteamiento del aprendizaje basado en el balance de dos grandes líneas, la organización de la información y la adaptación de esta (Beilin, 1992). El aspecto interno de la organización del conocimiento relacionando e integrando las diferentes ideas que hemos descubierto o nos han transmitido, así como la acomodación de la nueva información. En este último paso defiende la existencia dos maneras, bien integrando la realidad en los esquemas preexistentes en el conocimiento del alumno, la asimilación, bien modificando estos esquemas, reorganización de las estructuras cognitivas, para adaptar a la realidad (Vidal, 1994). Aquí es donde se produce un avance real.

### 2. Bruner y su teoría del aprendizaje por descubrimiento

Posteriormente Bruner (1988) defendía la necesidad de la participación activa en el aprendizaje. Este aprendizaje involucra que el alumno debe reordenar e integrar la información en su estructura cognitiva y reorganizarla o transformarla de manera que se produzca el aprendizaje deseado. Este autor defendía que para que se produzca un aprendizaje por descubrimiento se deben presentar alternativas para que el alumno perciba relaciones y similitudes entre los contenidos a aprender y la experiencia vivida (Bruner, 1988). Este conjunto de ideas se relacionaba simbióticamente con la idea, defendida por Piaget, de cómo el aprendizaje llegaba cuando se incorporaban conflictos cognitivos sobre el aprendizaje previo, es decir, ante una situación que desafíe la inteligencia (Bringuer, 1977).

### 3. Ausubel y la teoría del aprendizaje significativo

Uno de los pilares de esta teoría constructivista es el aprendizaje significativo, propuesto por David Ausubel. Ausubel planteó su Teoría del Aprendizaje Significativo por Recepción, en la que afirma que el aprendizaje ocurre cuando el material se presenta en su forma final y se relaciona con los conocimientos anteriores de los alumnos, estableciendo relaciones entre el nuevo contenido y el esquema de conocimiento previo que tenía desarrollado el alumno, integrados a la estructura cognitiva de manera no arbitraria y sustancial, no como pasaría con el mecánico. Ausubel no limita la existencia del aprendizaje por descubrimiento, todo lo contrario, considera fundamental para cursos inferiores no para cursos universitarios y similares, él lo considera un recurso no una base fundamental del aprendizaje.

A estos autores debemos incorporar el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA), modelo fundamentado en los resultados de la práctica e investigación educativa, que basa su perspectiva en una diversidad educativa, eliminación de la “talla única”, poniendo el foco en potenciar las cualidades individuales de cada alumno. Esto implica una variedad a la hora de mostrar los contenidos, existencia de una diversidad de caminos en el aprendizaje. Es necesario incorporar actividades que impliquen múltiples formas de acción y expresión, así como de implicación y participación.

Las distintas teorías que soportan el constructivismo llevan a Ertmer & Newby (1993) a defender que los fundamentos de esta idea, base de las estrategias y técnicas definidas para esta situación de aprendizaje, son las siguientes:

- Énfasis en la identificación del contexto en el cual las habilidades serán aprendidas y luego aplicadas, así los aprendizajes se darán en contextos significativos.
- Capacidad para que el estudiante manipule la información y realice su propio control, así el estudiante utilizará lo que él realmente aprende.
- La necesidad de que la información se presente en una amplia variedad de formas, en contenidos en distintos momentos, en contextos reestructurados, para propósitos diferentes y desde diferentes perspectivas conceptuales.

- Apoyar el uso de las habilidades de solución de problemas que permitan al estudiante ir más allá de la información presentada, a través de diferentes formas de presentar problemas.
- La evaluación debe estar dirigida hacia la transferencia de conocimiento y habilidades, a través de la presentación de problemas que difieran de las condiciones de la instrucción inicial.

Por tanto, siempre que hay aprendizaje hay un cambio, y siempre intentamos que ese cambio sea producto de la autonomía y del conocimiento que el estudiante haya adquirido respecto a su propio aprendizaje. Este cambio es difícil en un ambiente científico, por tanto, el profesor tiene la responsabilidad de crear los contextos adecuados para que ocurra, actuando como mediador, pero quien lo realiza finalmente es el alumno, por lo que debemos generarle un autoconocimiento de su sistema cognitivo, una autonomía de saber qué aprende y cómo.

## 6.2. ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS

Recordamos principalmente que nuestro objetivo no es fomentar un aprendizaje memorístico sino de comprensión, y existe multitud de estrategias para conseguirlo, sin embargo, en este proyecto lo haremos a través del **aprendizaje por experimentación**, un **aprendizaje deductivo e inductivo**, y un **tipo de metodología basada en proyectos**.

Los principios de intervención educativa regularán la labor docente por medio de la alternancia de **estrategias pseudo-expositivas** y **experimentales** en cada una de las actividades desarrolladas en la situación de aprendizaje planteada.

En el estudio de las ciencias es muy importante el aprendizaje correcto de los contenidos, por ello, antes de iniciar cada una de las actividades de esta situación de aprendizaje, el profesor, realizará una revisión de los conceptos que debe conocer el alumno para aprendizajes posteriores. Esto se realizará a través de herramientas como **cuestionarios, corrección** de las actividades desarrolladas en sesiones previas y realización de **sesiones introductorias y sesiones de síntesis** por parte del profesor en cada una de las clases.

Por otra parte, es necesario que el alumno tenga un esquema claro de qué se va a desarrollar durante la sesión, les permitirá organizar las ideas y formar más fácilmente una memoria a largo plazo de los conceptos, por ello se le expondrá inicialmente al comenzar la situación de aprendizaje la estructura completa de la misma, incluyendo una descripción de cada actividad. Asimismo, en cada actividad se expondrán tanto el alcance de la misma como los objetivos y rúbricas sobre los que se les evaluará.

Como hemos dicho la base de nuestra metodología será intercalar estrategias con una mayor carga de contenido teórico con aquellas más experimentales. Estas actividades más experimentales llevarán al alumno a afrontar contextos teórico-prácticos que forzarán una reorganización de sus propios esquemas de conocimiento, así como una reorganización de las estructuras cognitivas, y con ello, de su manera de incorporar nueva información. Este camino que recorren los alumnos hasta las situaciones académicas límites o “fuera de su zona de confort” se realiza mediante incrementos progresivos de la dificultad. Para ello se presentan en cada actividad unos conceptos comunes, trabajados previamente en diversos contextos, donde en cada uno de ellos se permite ampliar su conocimiento un grado más. Además, la reiteración de los conceptos en distintas sesiones permite, además de contextualizar, interiorizar de manera sencilla los conceptos.

Asimismo, durante el aprendizaje del alumno intentaremos facilitar su trabajo autónomo, estimular sus capacidades para el trabajo en equipo, potenciar las técnicas de indagación e investigación, aplicar y transferir lo aprendido a la vida real, promover el diálogo, el debate y la argumentación razonada y consolidar las destrezas comunicativas y las relacionadas con el tratamiento de la información.

Por último, es importante entender que nos encontramos ante una situación de aprendizaje abierta a ser implantada en la programación docente de cualquier centro, por tanto, las estrategias metodológicas deberán tener en cuenta las diferentes capacidades y estilos de aprendizaje del alumnado, y todas ellas estarán enfocadas a impulsar su motivación, comprender la materia y favorecer un ambiente participativo en el aula.

## 7. TEMPORALIZACIÓN

Tras la definición de las competencias a través del Real Decreto 243/2022, del 5 de abril, se han determinado las herramientas para poder desarrollarlas, denominadas saberes básicos. Por el artículo 2 de este Real Decreto se definen como “conocimientos, destrezas y actitudes que constituyen los contenidos propios de una materia y cuyo aprendizaje es necesario para la adquisición de las competencias específicas” (Real Decreto 243/2022). Estos saberes básicos, al igual que los criterios de evaluación, se definen específicamente para cada asignatura y curso.

En el caso de la situación de aprendizaje desarrollada en el presente documento, ha sido contextualizada en un curso de segundo de bachillerato de Física. Durante el mismo, según el anexo III del Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, encontramos cuatro bloques principales:

- I. Campo gravitatorio.
- II. Campo electromagnético.
- III. Vibraciones y ondas.
- IV. Física relativista, cuántica, nuclear y de partículas.

En nuestro caso haremos uso de los saberes básicos contenidos en el segundo bloque de campo electromagnético para soportar los objetivos finales ligados a esta situación de aprendizaje.

La temporalización de esta situación de aprendizaje deberá ser tratada según la programación en la que se integre sin embargo son necesarios los siguientes contenidos previos para poder resolver cada una de las actividades:

- Cálculo integral y diferencial.
- Momento de una fuerza.
- Equilibrio traslacional y rotacional.
- Intensidad del campo eléctrico. Potencial eléctrico.
- Componentes básicos de un circuito.
- Campos magnéticos generados por hilos de corriente eléctrica.
- Acción del campo magnético sobre un hilo de corriente.
- Líneas de campo eléctrico y magnético.

E incluso sería, no tan directamente necesario pero si deseado, el conocimiento de:

- Flujo magnético. Leyes de Faraday-Henry y Lenz. Fuerza electromotriz.

Por ello se aconseja realizar esta situación de aprendizaje una vez finalizado el bloque de electromagnetismo, o al menos, posteriormente a la finalización de la acción de los campos magnéticos sobre cargas eléctricas en movimiento.

Asimismo, la dificultad de la situación de aprendizaje será, como se indicó en la metodología, incremental, existiendo un repaso inicial de los contenidos.

## 8. PROPUESTA DIDÁCTICA

### 8.1. INTRODUCCIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

Tras la contextualización didáctica de la situación de aprendizaje presentaremos durante el siguiente apartado las distintas actividades propuestas en su desarrollo. Esta situación de aprendizaje se centrará en el entendimiento de un motor eléctrico de corriente continua para lo cual se compondrá de distintas actividades principalmente experimentales.

Las competencias específicas trabajadas se detallarán de manera general para todas las actividades, así como los contenidos, sin embargo, los objetivos, ya descritos de manera general en apartados previos, serán detallados individualmente en cada una de las actividades.

### 8.2. COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

Basándonos en el *Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, Anexo III*, hemos detallado las competencias específicas a desarrollar con el alumno a partir de las siguientes actividades:

La principal competencia aquí desarrollada será la quinta competencia específica (CEsp5) ligada a la experimentación física fundamentada por principios, leyes o laboratorios reales o virtuales, obteniendo una visión argumentada sobre los avances de la física en el sector estudiado y la implicación en la sociedad. Vincularemos el desarrollo de esta competencia con el desarrollo paralelo de la tercera (CEsp3) y segunda (CEsp2) competencias específicas, a partir de las cuales aprenderemos a analizar los distintos contextos y aplicaciones prácticas presentes en esta sociedad desde un punto de vista científico para entender la causalidad de los hechos, así como para poder parametrizarlos. De tal manera podemos argumentar con criterio cada uno de los resultados obtenidos de acuerdo con lo observado. Sin embargo, aunque el grueso de estas actividades esté soportado por estas tres competencias es imprescindible apoyarnos en el resto en función de la actividad para poder llevar a cabo el objetivo global.

### 8.3. CONTENIDOS

En el apartado de temporalización se indicó que la propuesta aquí desarrollada se encontraba contextualizada dentro del bloque de electromagnetismo, según el *Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, Anexo III*. Durante las actividades utilizaremos distintos conceptos electromagnéticos que nos permitan lograr un entendimiento global del motor de corriente continua:

- Definición y propiedades de las líneas de campo magnético.
- Campo magnético producido por distribuciones de carga sencillas, imanes e hilos con corriente eléctrica en distintas configuraciones geométricas.
- Interacción del campo magnético con cargas eléctricas libres presentes en su entorno.
- Acción del campo magnético sobre un hilo de corriente rectilíneo.
- Conceptos de momento de una fuerza, inercia y velocidad angular y la relación entre ellos.

### 8.4. ACTIVIDADES

La situación de aprendizaje propuesta se compone de 5 actividades principales basadas en los motores eléctricos de corriente continua cuyos contenidos trabajados en cada una de ellas están interconectados y cuya dificultad se propone de manera incremental. Las actividades comienzan con una actividad de repaso de conceptos centrados en el mecanismo de un motor eléctrico, pasamos por la construcción distintas formas de motores eléctricos simples hasta realizar una inspección de las distintas partes que componen un motor eléctrico y su función en la mecánica de este. La actividad final consistirá en la realización de un motor eléctrico funcional más complejo a partir de materiales sencillos que incorpore una commutación de la corriente en su proceso de rotación.

### **8.4.1. Actividad 1: Fundamento Físico De Un Motor De Corriente Continua**

#### Descripción de la Actividad

La actividad se basa en la resolución por parte de los alumnos de un guion inicial, anexo B, que recoge una serie de preguntas contextualizadas en referencia al funcionamiento de un motor. Para ello será necesario una reflexión propia y la aplicación de los conceptos teóricos que ya han sido vistos previamente en el desarrollo de la unidad didáctica.

#### Objetivos Específicos

Los objetivos específicos a desarrollar en la actividad serán los detallados a continuación, asociando a cada uno de ellos las competencias específicas en que se apoyan para lograrlos:

- Aplicar los conceptos teóricos proporcionados sobre una realidad contextualizada (CEsp1, CEsp3).
- Deducir por sí mismos, de manera guiada, el fundamento teórico básico del funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continua bajo los modelos físicos aceptados y estudiados previamente (CEsp2, CEsp3).

#### Desarrollo de la actividad

Los alumnos se pondrán por parejas para trabajar. Bajo los conceptos previamente estudiados en el desarrollo de la unidad didáctica, los alumnos tendrán que deducir, de manera guiada, el funcionamiento de un motor. Para realizar esto se ha desarrollado un guion de preguntas, a responder por parte de los alumnos, de dificultad progresiva en el cual se van planteando pequeñas reflexiones que permiten al alumno aplicar los conceptos teóricos del electromagnetismo a una situación contextualizada, hasta obtener el entendimiento general del principio básico de los motores eléctricos de corriente continua. El guion indicado se encuentra adjunto en el anexo B, justificando durante el mismo la solución a cada pregunta.

El guion comenzará con una introducción sobre el objetivo principal de los motores eléctricos, tipos de energía consumida y emitida, e identificación de aplicaciones básicas existentes en nuestro día a día.

Posteriormente el guion induce al alumno a analizar el concepto físico de la fuerza magnética ejercida sobre una corriente eléctrica. A continuación, aplicamos este concepto sobre los cuatro lados de una espira rectangular y por último conducimos estratégicamente al alumno hacia la identificación del par de fuerzas aplicado por la fuerza magnética en la espira rectangular. Durante este proceso se realiza un tratamiento vectorial de la fuerza, representado en el anexo B.

Estas deducciones deben de realizarse en clase siguiendo el guion dado y con la ayuda del profesor, el cual, mediante la observación de los alumnos identificará los problemas a los cuales se enfrentan y podrá ayudar a afrontarlos, razonarlos y resolverlos. Esta orientación por parte del profesor es fundamental para el aprendizaje mediante la deducción.

#### Material de ayuda para el profesor

Los objetivos específicos de la actividad, así como su conexión con las competencias y la contextualización de contenidos han sido especificado previamente.

El material a preparar por el profesor será el guion a seguir durante toda la actividad. En el anexo B incluido al final del documento se muestra un ejemplo del guion que el profesor deberá entregar a los alumnos. Este guion ha sido dividido en cuatro partes en función del concepto trabajado. El guion deberá ser entregado en blanco. Sin embargo, como ayuda al profesor se han contestado y justificado debidamente cada una de las preguntas enunciadas.

Por último, se ha propuesto un modelo de evaluación dividido en inicial, continua y sumativa. Sin embargo, específicamente llevamos la atención a la tabla 2, donde atendiendo a los criterios de evaluación se han detallado los aspectos a valorar de la actividad y sus ponderaciones, así como a las tablas 5 y 6 referidas a la calificación global.

*Material aportado a los alumnos*

- Guion de la actividad (Ver anexo B).

*Trabajo a realizar por los alumnos*

Durante la actividad los alumnos deberán entregar correctamente cumplimentado el guion realizado en clase.

*Tiempo y Espacio*

La actividad está planteada para ser realizada en una sesión de clase de una hora con la ayuda del profesor.

*Material para el desarrollo de la actividad*

- Pizarra digital o proyector.
- Guion de la actividad (Ver anexo B).
- Videos necesarios para la explicación.

**8.4.2. Actividad 2: Realización De Un Motor Homopolar***Descripción de la Actividad*

La actividad consiste en el desarrollo de un motor homopolar como el que se muestra en la figura 1, realizado en casa por los alumnos con materiales fácilmente accesible.



Figura 1. Motor homopolar.

*Objetivos Específicos*

Los objetivos específicos a desarrollar en la actividad serán los detallados a continuación, asociando a cada uno de ellos las competencias específicas en que se apoyan para lograrlos:

- Obtener un motor homopolar sencillo y funcional a través de material casero (CEsp2, CEsp5).
- Desarrollar la creatividad y la capacidad de resolución a la hora de la implementación de conceptos teóricos (CEsp1, CEsp5).
- Desarrollar solvencia y claridad en la argumentación de ideas en un ámbito técnico y/o científico (CEsp3).
- Fomentar la motivación por parte del alumno en la aplicación de conceptos teóricos del aula (CEsp5).
- Desarrollar una actitud emprendedora del alumno (CEsp5).

### Desarrollo de la Actividad

A partir de materiales fácilmente accesibles para el alumno y de bajo coste implementaremos una aplicación práctica de un motor eléctrico. En este caso el motor desarrollado será un motor homopolar, el más simple de todos, cuya polaridad no cambia con el paso del tiempo, evidenciando así un claro ejemplo del efecto de las fuerzas magnéticas sobre cargas en movimiento.

Los alumnos recibirán un guion, ver anexo C, en el cual se establece el objetivo de la práctica, el fundamento teórico básico sobre el que se apoya el experimento, los materiales y pasos para realizar el montaje, así como una lista de consejos ante posibles dificultades a la hora de poner en práctica este motor.

La actividad será explicada y contextualizada por el profesor en clase. Se enseñará un ejemplo realizado por el profesor, así como trabajos de otros años o material que pueda servir a los alumnos de guía para poder realizar la actividad, de manera que ayudemos a los alumnos a definir el alcance del presente trabajo experimental.

La actividad se realizará de manera individual en periodo no lectivo, teniendo los alumnos como plazo para la entrega una semana. Se ha adjuntado en el anexo D un ejemplo de informe de la práctica descrita que debe de ser entregada por parte del alumnado

### Material de ayuda para el profesor

Los objetivos específicos de la actividad, así como su conexión con las competencias y la contextualización de contenidos han sido especificado previamente.

Como material de ayuda al profesor, en el anexo C del presente documento se detallan los pasos y dificultades en la realización del motor, incluyendo fotos y posibles variantes de la versión básica. Asimismo, en el anexo D se presenta un ejemplo de informe de la práctica llevada a cabo y con ello un ejemplo de realización del motor propuesto en la práctica.

En cuanto a su evaluación, tomando como base lo indicado previamente, llevamos la atención a la tabla 3, donde atendiendo a los criterios de evaluación se han detallado los aspectos a valorar de la actividad y sus ponderaciones, así como a las tablas 5 y 6 referidas a la calificación global.

### Material aportado a los alumnos

- Guion de la práctica (ver anexo C).
- Ejemplo de motor realizado por el profesor.
- Ejemplos de trabajos de años anteriores, si existieran.

### Trabajo a realizar por los alumnos

- Informe de la práctica incluyendo (ver ejemplo en anexo D):
  - Hipótesis iniciales.
  - Fundamento físico de la rotación.
  - Evidencia paso a paso del montaje propio.
  - Análisis de las modificaciones de posibles parámetros para el aumento de la rotación.
- Video evidencia del funcionamiento del motor.

### Tiempo y Espacio

Esta actividad será íntegramente desarrollada en casa, sin embargo, será necesario una sesión inicial para la explicación del planteamiento del proyecto y la definición del alcance, y parte de una segunda sesión final para la presentación de los motores de cada uno de los alumnos.

**Material para el desarrollo de la actividad**

- Motor creado por el profesor como ejemplo.
- Guion de la práctica (ver anexo C).
- Pizarra digital o proyector.
- Videos necesarios para la explicación.
- Rúbrica de corrección (ver tabla 3 apartado de evaluación).

**8.4.3. Actividad 3: Construcción Un Motor Eléctrico Sencillo****Descripción de la Actividad**

Construcción de un motor de corriente continua a partir de un arrollamiento de cobre, una pila y un imán de neodimio, como el que se muestra en la figura 2.

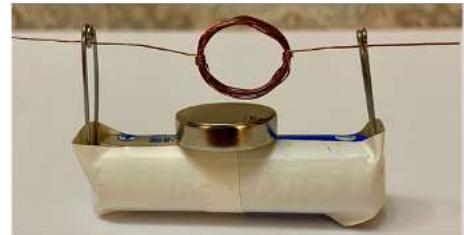


Figura 2. Motor eléctrico sencillo.

**Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos a desarrollar en la actividad serán los detallados a continuación, asociando a cada uno de ellos las competencias específicas en que se apoyan para lograrlos:

- Obtener un motor eléctrico sencillo y funcional a través de materiales caseros (CEsp2, CEsp5).
- Desarrollar la creatividad y la capacidad de resolución a la hora de la implementación de conceptos teóricos (CEsp1, CEsp5).
- Desarrollar solvencia y claridad en la argumentación de ideas en un ámbito técnico o científico (CEsp3).
- Fomentar la motivación por parte del alumno en la aplicación de conceptos teóricos del aula (CEsp5).
- Desarrollar una actitud emprendedora del alumno (CEsp5).

**Desarrollo de la actividad**

En esta actividad, con la ayuda de guion aportado por el profesor, ver anexo E, los alumnos construirán una simplificación de un motor eléctrico a partir de un arrollamiento de cobre, por el que haremos pasar una corriente eléctrica, y un imán de neodimio, causa de la fuerza magnética aplicada sobre el conductor. El arrollamiento será sometido a un torque generado por el par de fuerzas electromagnéticas lo que provocará la rotación de los motores de los alumnos. Para mantener la dirección del torque correspondiente, la corriente no será comutada como ocurre en los motores reales, únicamente se interrumpirá el tránsito de la corriente intermitentemente manteniendo el esmaltado de la mitad de uno o ambos terminales.

De la misma manera que en la actividad anterior esta será explicada y contextualizada por el profesor en clase siendo tarea de los alumnos la construcción del motor y la realización de un informe de la práctica donde se justifique su fundamento físico. Se enseñará un ejemplo realizado por el profesor como guía para poder realizar la actividad, así como los aspectos a valorar detallados en la tabla 3 del presente documento, de manera que ayudemos a los alumnos a definir el alcance del presente trabajo experimental. Como ayuda al profesor se ha realizado un ejemplo del informe de la práctica a entregar por los alumnos incluido en el anexo F del presente documento.

### Material de ayuda para el profesor

Los objetivos específicos de la actividad, así como su conexión con las competencias y la contextualización de contenidos han sido especificado previamente.

Como ayuda al profesor se incluye en el anexo E un ejemplo del guion aportado a los alumnos para la realización de la práctica. En este, de la misma manera que en la práctica anterior, se exponen las especificaciones de los materiales necesarios, pasos y dificultades en la realización del motor correspondiente, detallando aclaraciones mediante fotos.

Asimismo, se ha realizado un ejemplo de informe de la práctica llevada a cabo por el alumno donde se incluye el fundamento físico de la rotación del motor detallando la variación vectorial de las fuerzas en las distintas posiciones adoptadas por la espira en su movimiento, ver anexo F del presente documento.

En cuanto a su evaluación, en este caso llevamos la atención a la tabla 3, donde atendiendo a los criterios de evaluación se han detallado los aspectos a valorar de la actividad y sus ponderaciones, así como a las tablas 5 y 6 referidas a la calificación global.

### Material aportado a los alumnos

- Guion orientativo del montaje del motor (ver anexo E).
- Ejemplo del motor a realizar por los alumnos.

### Trabajo a realizar por los alumnos

- Informe de la práctica donde se deben incluir (ver anexo F):
  - Hipótesis iniciales.
  - Fundamento físico de la rotación.
  - Evidencia paso a paso del montaje propio.
  - Descripción de principales problemas encontrados.
- Video evidencia del funcionamiento del motor.

### Tiempo y Espacio

La explicación de la actividad se realizará al finalizar la sesión previa, mostrando una maqueta ejemplo construida por el profesor. El resto de la actividad será realizada en casa de manera individual por los alumnos hasta la sesión final donde expondrán cada uno el motor realizado en el aula, mientras el profesor les realiza preguntas al azar.

### Material para el desarrollo de la actividad

- Ejemplo de motor realizado por el profesor.
- Pizarra digital o proyector.
- Guion orientativo del montaje del motor, (ver anexo E).
- Rúbrica de corrección (ver tabla 3 del apartado de evaluación).

#### 8.4.4. Actividad 4: Partes De Un Motor De Corriente Continua

##### Descripción de la Actividad

Durante la siguiente actividad se realizará una explicación general, por parte del profesor, del funcionamiento de un motor de corriente continua más complejo, describiendo las diferentes partes que lo componen, así como la función de cada una de ellas. Para ello, el profesor se servirá de un motor real de mayor envergadura, obtenido de pequeños electrodomésticos, mientras de manera paralela se entregará a cada alumno un motor de corriente continua más pequeño, utilizado en distintos juguetes comerciales a partir del cual los alumnos podrán ir reconociendo fácilmente las distintas partes durante la explicación.

##### Objetivos Específicos

Los objetivos específicos a desarrollar en la actividad serán los detallados a continuación, asociando a cada uno de ellos las competencias específicas en que se apoyan para lograrlos:

- Aplicar los conceptos teóricos proporcionados a aplicaciones prácticas de uso diario, (CEsp1, CEsp2).
- Comprender las distintas partes de un motor eléctrico de diferentes complejidades, (CEsp1, CEsp2).
- Identificar las mejoras aplicadas a las máquinas eléctricas y las ventajas ofrecidas, (CEsp6).

##### Desarrollo de la Actividad

Durante la sesión el profesor realizará la explicación de las distintas partes del motor de corriente continua con la ayuda de un motor obtenido de un electrodoméstico pequeño (un microondas, la ventada de una puerta de un coche, un taladro...), ver figura 3. De igual manera a los alumnos se les entregará un motor a cada uno de aquellos utilizados en los juguetes comerciales, con las mismas características pero de menor envergadura. Estos son económicos y se encuentran fácilmente en ferreterías y tiendas online.



Figura 3. Detalle motor eléctrico.



Figura 4. Fuente de alimentación conectada al rotor del motor.

Posteriormente se hará rotar el rotor del motor conectado a una pila, acercando y alejando un imán de neodimio estándar. A partir de esta experiencia el profesor irá justificando la función de cada elemento previamente descrito.

Esta actividad realmente se divide en tres partes de dificultad incremental. Tras la explicación de cada una de las partes comenzamos nos centramos en explicar a detalle el fundamento físico ligado a un motor de corriente continua con conmutación de una sola espira, segunda parte. En tercer y último lugar se extrae este concepto a un motor de tres bobinados, más semejantes a los motores industriales de hoy en día. En todo momento es importante dar importancia al circuito que sigue la corriente, pudiendo así entender las características de cada una de las partes del motor. Como ayuda al profesor se ha realizado un anexo adjunto en el presente documento, anexo G, donde se incluye toda la información necesaria para la explicación. Este anexo podría ser entregado a los alumnos como soporte si fuera necesario.

La sección más difícil de comprender por parte de los alumnos en el funcionamiento de un motor suele ser el cambio de polaridad del motor gracias al commutador. Para ello se ha propuesto el uso de dos tipos de herramientas virtuales que puedan ayudar a la asimilación del concepto del cambio de polaridad. El primero de ellos, ver animación (["Animación 1"](#)) (Bean, 2023), es una pequeña animación que permite al profesor trasladar el concepto de cambio de polaridad con imanes permanentes libres, fijos y con electroimanes. Esto permite ir dando pasos incrementales hasta visualizar la necesidad del commutador, ver figura 5.

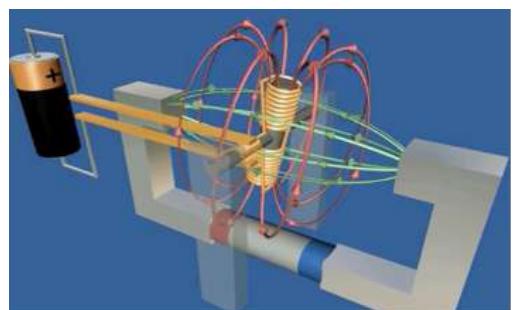


Figura 5. Electroimán en rotación bajo la acción de un imán fijo (Bean, 2023).

Como segunda herramienta de apoyo, una vez entendido la necesidad del commutador, ello se propone el uso de la siguiente animación (["Animación 2"](#)) (Philhour, 2023), la cual nos permite la visualización las diferentes fases del ciclo gracias al commutador, identificando la intensidad, de las fuerzas aplicadas en cada bobina y el torque generado gracias a este elemento, ver figura 6.

A continuación, se propone el uso de un video documental sobre cómo los avances tecnológicos han dado lugar a los motores de corriente continua actualmente utilizados. Ver el siguiente enlace (["Video"](#)) (Virtual Brain, 2023). En este video se hace un recorrido desde el primer motor desarrollado por Peter Barlow en 1822, pasando por el desarrollo del commutador en 1824 por William Sturgeon al visualizar la problemática de utilizar electroimanes en lugar de imanes permanentes y con ello llegar hasta los motores actualmente utilizados.

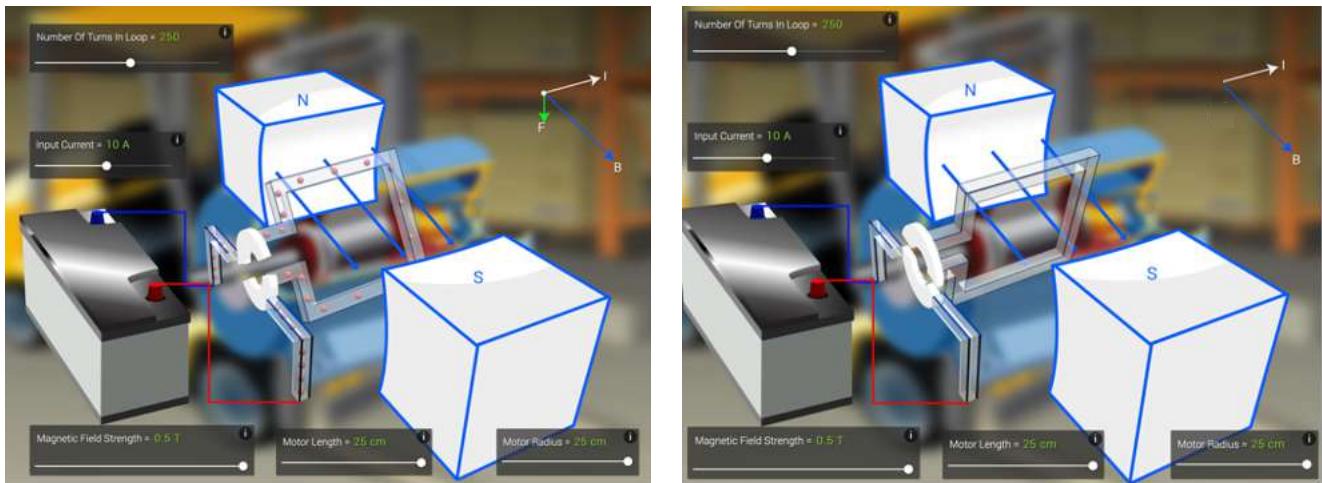


Figura 6. Dos fases de la commutación hasta eliminar el paso de corriente y por tanto las fuerzas (Philhour, 2023)

Esta sesión de la situación de aprendizaje será necesaria principalmente para el desarrollo de sesiones posteriores, sin embargo, para mantener constante la atención de los alumnos al finalizar la actividad se propone la realización de un cuestionario de preguntas basadas en el mecanismo del motor. Ver sistema de preguntas y respuestas (["Test"](#)) (Electric Motor, 2023). El cuestionario indica si la respuesta es correcta o incorrecta. Sin embargo, la gran ventaja de este cuestionario se da en el momento de fallo de una pregunta, aportando un texto orientativo que ayuda a entender el concepto. Por último, la aplicación adjunta un resumen de los resultados de las respuestas, pudiendo ser de utilidad al profesor para la posterior evaluación.

### Material de ayuda para el profesor

Los objetivos específicos de la actividad, así como su conexión con las competencias y la contextualización de contenidos han sido especificado previamente.

Como ayuda al profesor se ha realizado una guía donde se explica minuciosamente el funcionamiento de un motor de corriente continua, ver anexo G, así como las partes que la componen. En este se incluyen fotos reales y didácticas de las distintas partes que componen un motor. Posteriormente se analiza la dirección de las fuerzas en las distintas fases de la rotación en el caso de una sola espira y en el caso de varias bobinas.

Teniendo en cuenta que el objetivo de la actividad va más enfocado a la ejecución de la próxima actividad la evaluación de la misma tiene una menor carga, sin embargo, se ha tenido en cuenta a través del cuestionario realizado. En este caso llevamos la atención a la tabla 4, donde atendiendo a los criterios de evaluación se han detallado los aspectos a valorar de la actividad y sus ponderaciones.

### Material aportado a los alumnos

- Pequeño motor de corriente continua.
- Enlaces a las animaciones, ("Animación 1") (Bean, 2023) y ("Animación 2") (Philhour, 2023).
- Enlace al video, ("Video") (Virtual Brain, 2023).
- Enlace al test, ("Test") (Electric Motor, 2023).
- Soporte teórico incluido en el Anexo G, si considera el profesor.

### Trabajo a realizar por los alumnos

- Resolución del cuestionario, ("Test") (Electric Motor, 2023).

### Tiempo y Espacio

La actividad está planteada para ser realizada en dos sesiones de clase de una hora con la ayuda del profesor.

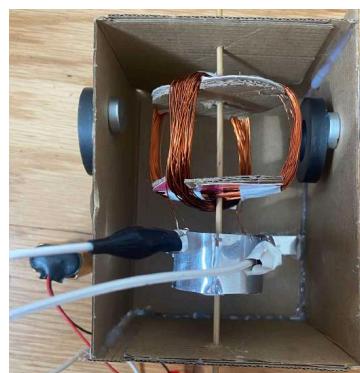
### Material para el desarrollo de la actividad

- Motores de corriente continua de diferente complejidad.
- Pizarra digital o proyector.
- Videos y animaciones necesarias para la explicación.
- Soporte teórico incluido en el Anexo G, si considera el profesor.

## 8.4.5. Actividad 5: Construcción De Un Motor Eléctrico Funcional

### Descripción de la Actividad

A través de los conceptos desarrollados en las actividades anteriores se propone la realización de una maqueta de un motor eléctrico funcional realizado a través de materiales fácilmente obtenibles y modelables por los alumnos. En el caso aquí expuesto el motor consta de dos bobinados y un conmutador de cuatro delgas conectado a una pila como fuente de diferencia de potencial, como se muestra en la figura 7.



### Objetivos Específicos

Los objetivos específicos a desarrollar en la actividad serán los detallados a continuación, asociando a cada uno de ellos las competencias específicas en que se apoyan para lograrlos:

- Obtener una maqueta de motor funcional compuesto de las distintas partes que conforman un motor real a través de instrumentos caseros (CEsp2, CEsp5).
- Desarrollar la creatividad y el carácter resolutivo del alumno a la hora de la implementación de conceptos teóricos (CEsp1, CEsp5).
- Desarrollar solvencia y claridad en la argumentación de ideas en un ámbito técnico o científico (CEsp3).
- Fomentar la motivación por parte del alumno en la aplicación de conceptos teóricos del aula (CEsp5).
- Desarrollar una actitud emprendedora del alumno (CEsp5).

### Desarrollo de la actividad

A partir de las actividades uno, dos y tres hemos obtenido un entendimiento global de cómo actúa la fuerza magnética sobre corrientes de cargas, el momento que genera en función de la posición de la espira y cómo controlar ambas magnitudes a través de la modificación de las variables implicadas. En la actividad cuatro se trabajó el funcionamiento de un motor eléctrico, desde su versión más simple hasta aquellas utilizadas a nivel industrial hoy en día. Se definieron cada una de las partes que componen el motor y la función de cada una de ellas en el conjunto global, así como la acción de las fuerzas en caso de diversas bobinas y presencia del conmutador. Durante la actividad aquí desarrollada aplicaremos todos estos conocimientos hasta llegar a obtener un ejemplo un motor eléctrico real a pequeña escala incluyendo cada una de las partes que lo componen.

Al alumno se le entregará un guion, ver anexo H, en el cual se especificarán detalladamente cada uno de los pasos necesarios para su construcción, así como consejos para su correcto funcionamiento. Los alumnos deberán realizar el montaje del motor con la ayuda de este guion aportando un video final evidenciando su correcto funcionamiento así como un informe de la práctica donde se explica de manera cualitativa el fundamento físico de la rotación del motor. A modo de ejemplo se ha realizado un informe tipo para la práctica incluido en el anexo I.

Los alumnos están abiertos a construir versionados más complejos del motor propuesto, promoviendo la creatividad de estos, siendo posible la realización de la práctica individualmente o en parejas para mayor facilidad.

Finalmente, los alumnos deberán llevar las maquetas a una sesión de aula de donde se escogerán 3 grupos al azar para realizar una explicación del funcionamiento del motor creado, siendo obligatoria la exposición de todos los motores que hayan sido versionados respecto de la muestra inicial.

### Material de ayuda para el profesor

El profesor encontrará los objetivos específicos de la actividad así como su conexión con las competencias y la contextualización de contenidos especificados previamente.

Como ayuda al profesor se encuentra adjunto en el anexo H un modelo de guion aportado a los alumnos para la realización de la práctica. En este, de la misma manera que las actividades 2 y 3, se exponen las especificaciones de los materiales necesarios, pasos y dificultades en la realización del motor correspondiente, detallando aclaraciones mediante fotos. En este caso el detalle del guion cobra mayor importancia por la dificultad que conlleva este motor.

Asimismo se ha realizado un ejemplo de informe de la práctica llevada a cabo por los alumnos, ver anexo I, donde se incluye el fundamento físico de la rotación del motor. En esta justificación se detalla la variación vectorial de las fuerzas en las distintas posiciones adoptadas por ambas espiras en su movimiento, considerando la commutación que tiene lugar en esta rotación.

En cuanto a su evaluación, en este caso llevamos la atención a la tabla 3, donde atendiendo a los criterios de evaluación se han detallado los aspectos a valorar de la actividad y sus ponderaciones, así como a las tablas 5 y 6 referidas a la calificación global.

#### Material aportado a los alumnos

- Guion orientativo del montaje del motor (ver anexo H).
- Motor de muestra realizado por el profesor.

#### Trabajo a realizar por los alumnos

- Video que evidencie el funcionamiento del motor.
- Informe de la práctica donde se deben incluir (ver anexo I):
  - Hipótesis iniciales.
  - Fundamento físico de la rotación.
  - Evidencia paso a paso del montaje propio.
  - Descripción de principales problemas encontrados.

#### Tiempo y Espacio

A la finalización de la actividad previa se explicará la actividad aquí presente mostrando una maqueta ejemplo generada por el profesor y si fuera posible maquetas de versionados del mismo de años previos. El resto de la actividad será realizada en casa con diversas sesiones de tutoría que los alumnos pueden aprovechar para solicitar ayuda en caso de complicaciones en su montaje. Si las dudas son generalizadas se podrá permitir una sesión grupal de dudas durante una sesión de clase o parte de esta. Será necesario destinar una sesión o parte de la misma para mostrar los motores generados por los alumnos así como su explicación.

#### Material para el desarrollo de la actividad

- Maqueta(s) de ejemplo.
- Videos de demostración diferentes opciones de versionados del motor.
- Guion orientativo del montaje del motor (ver anexo H).
- Rúbrica de corrección (ver tabla 3 del apartado de evaluación).

## 9. EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN

### 9.1. EVALUACIÓN

La evaluación es un elemento fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que nos permite valorar los diversos aspectos que conforman el proceso educativo. Como referente principal para esta evaluación tenemos los denominados criterios de evaluación.

Basándonos tanto en el Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, como en el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, definimos los criterios de evaluación como “**los referentes que indican los niveles de desempeño esperados en el alumnado en las situaciones o actividades a las que se refieren las competencias específicas de cada materia** en un momento determinado de su proceso de aprendizaje”. Es decir, tras la definición de las competencias a alcanzar por los alumnos, así como las herramientas para poder alcanzar estas competencias, los saberes básicos, es necesario definir los procedimientos para medir si estos objetivos definidos para la etapa han sido alcanzados a final de la situación de aprendizaje y estos son los criterios de evaluación.

Basándonos en los criterios de evaluación adjuntos en el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, anexo III, se han desarrollado unos indicadores de logro ligados a la adquisición de competencias para esta situación de aprendizaje.

Tabla 1. Relación indicadores de logro generados con las competencias a desarrollar

	Indicadores de Logro	Criterios Evaluación	CEsp
1	Formula hipótesis de forma contextualizada bajo un pensamiento científico para entender y justificar las decisiones tomadas sobre los fenómenos dados.	2.1	CEsp2
2	Utiliza los conocimientos técnicos para la correcta aplicación de las leyes y teoremas.	1.2	CEsp1
3	Razona matemáticamente de una manera correcta y solvente, analizando y dando soluciones.	1.2	CEsp1
4	Identifica oportunidades bajo un sentido crítico optimizando la resolución.	2.2	CEsp2
5	Se expresa con fluidez y coherencia bajo el contexto académico de un lenguaje científico-técnico.	3.1 3.2	CEsp3
6	Desarrolla una personalidad autónoma y resolutiva durante los experimentos.	5.1 5.2	CEsp5
7	Aporta unas conclusiones/justificaciones coherentes a los resultados obtenidos.	3.3	CEsp3
8	Utiliza el pensamiento científico para entender los fenómenos contextualizados.	2.1 2.2 5.1 5.2 5.3	CEsp2 CEsp5
9	Identifica las aplicaciones prácticas de los motores eléctricos, así como su avance científico, contenido un pensamiento social sobre las consecuencias que tienen lugar a partir de ellas.	2.3 3.1 6.1	CEsp2 CEsp3 CEsp6

Debemos entender que el proceso de evaluación tiene unas características principales que son

- **Formativa**, ya que propiciará la mejora constante del proceso de enseñanza-aprendizaje.
- **Crítica**, por tomar como referentes los criterios de evaluación de las diferentes materias curriculares.
- **Integradora**, por tener en consideración la totalidad de los elementos que constituyen el currículo y la aportación de cada una de las materias a la consecución de los objetivos establecidos para la etapa.
- **Continuada**, por estar integrada en el propio proceso de enseñanza y aprendizaje y por tener en cuenta el progreso del alumnado durante el proceso educativo.

La evaluación se llevará a cabo mediante la observación continuada de la evolución del proceso de aprendizaje de cada alumno o alumna y de su maduración personal. Para ello, se definirá los procedimientos de evaluación.

Los **procedimientos de evaluación** indican cómo, quién, cuándo y mediante qué técnicas y con qué instrumentos se obtendrá la información. Son los procedimientos los que determinan el modo de proceder en la evaluación y fijan las técnicas y los instrumentos que se utilizan en el proceso evaluador de acuerdo a las características del alumnado y a los objetivos a conseguir. En

nuestro caso los procedimientos de evaluación, expuestos posteriormente, se ayudan de las siguientes técnicas en distintos momentos de la evaluación:

- Observación sistemática de clase
- Análisis de las producciones de los alumnos
- Intercambios orales con los alumnos
- Proyectos específicos
- Participación y actitud

Es importante que prevalezcan las técnicas de análisis del desempeño, así como la observación, antes que las técnicas de rendimiento. Estas técnicas harán uso de distintos **instrumentos de evaluación** para poder adquirir la información. Se definen como herramientas para poder valorar la consecución de esos criterios de evaluación y, por ende, las competencias específicas.

En nuestro caso estas técnicas e instrumentos de evaluación se han utilizado en el procedimiento global de evaluación el cual lo hemos dividido en tres fases: evaluación inicial, continua y final, que se irán exponiendo a través de este apartado.

### **9.1.1. Evaluación Inicial**

Las sesiones tienen un carácter progresivo, sin embargo, como ya se indicó en la metodología, por parte del profesor se realizarán intercambios orales con los alumnos en formato de debate a modo de **acciones de síntesis**, de manera que el profesor, a través de la observación, pueda ir teniendo una referencia del avance de la clase.

De la misma manera, se realizará en la primera sesión un **cuestionario inicial de aplicación de conceptos teóricos**. Esta actividad no será considerada una parte de la evaluación inicial puesto que será objeto de evaluación en la evaluación continua, sin embargo, al ser un conjunto de actividades incrementales tendrá una función recordatoria para los alumnos siguiendo la metodología Ausubeliana previamente descrita. Este cuestionario inicial no es más que un repaso de las nociones ya vistas con anterioridad, consideradas necesarias para la compresión de la actividad, sin embargo nos permitirá introducir las sesiones siguientes así como tener una visión general del nivel global de la clase y las necesidades de los alumnos.

Esta evaluación inicial se realiza de manera individual por materia en bachillerato sin conllevar una sesión de evaluación como sucede en ESO, puesto que tiene un carácter voluntario.

Es importante entender que la calificación existente, en caso de aportar una calificación a esta revisión inicial, no será tenida en consideración en la calificación final, ni por parte de la continua ni por parte de la final.

### **9.1.2. Evaluación Continua**

Durante cada una de las sesiones se evaluará al alumnado a través de diferentes aspectos que permitan seguir su evolución. Para ello, en lugar de elaborar una ficha individual que registre un carácter más actitudinal o de progreso, se han solicitado a los alumnos diferentes tipos de entregables en cada sesión, ver sección propuesta educativa, de manera que en cada actividad realizada los alumnos finalicen con un ejercicio de síntesis y podamos visualizar las carencias en cuanto a los objetivos marcados para la sesión. Estas actividades serán corregidas por el profesor previamente al inicio de la sesión siguiente, si fuera posible, puesto que los contenidos serán utilizados incrementalmente expuestos en distintos contextos. Este modo de evaluación nos permite asumir un papel de orientador del profesor.

Para cada uno de los entregables que se han solicitado a los alumnos se ha desarrollado unas rúbricas de corrección donde se asocian unos aspectos a valorar específicos de los objetivos de las actividades. Estos objetivos están basados en los indicadores de logro previos (ver tabla 1), de manera que obtengamos el progreso en cada una de las competencias específicas (ver apartado 4.2). A la calificación (entre uno y diez) de cada uno de estos aspectos a valorar se le

dará una ponderación de manera que posteriormente se pueda realizar una suma ponderada para adquirir la calificación final.

### Actividad 1:

Tabla 2. Rúbrica de la actividad 1.

	<b>Aspecto a Valorar (AV)</b>	<b>Ind. Logro</b>	<b>CEsp</b>	<b>Calificación (1-10)</b>	<b>Ponderación</b>
AV1	Formula hipótesis coherentes sobre las causas del movimiento del motor	1	CEsp2		2
AV2	Razona las consecuencias correctamente sobre las distintas hipótesis formuladas	1	CEsp2		2
AV3	Identifica los efectos de un campo magnético sobre cargas en movimiento	2	CEsp1		3
AV4	Identifica la aplicación del momento de una fuerza	2	CEsp1		3
AV5	Aplica las leyes físicas con criterio al caso contextualizado	3	CEsp1		3
AV6	Es capaz de predecir coherentemente el comportamiento de la espira a partir de razonamientos físicos	4	CEsp2		3
AV7	Entiende el concepto de campo magnético y la aplicación de la polaridad al comportamiento del motor	4	CEsp2		3
AV8	Usa un lenguaje científico-técnico adecuado y contextualizado	5	CEsp3		2
AV9	Realiza un correcto uso de las unidades	5	CEsp3		2
AV10	Muestra un adecuado orden y limpieza del entregable	5	CEsp3		1
	CALIFICACIÓN FINAL			(AV1*2 + AV2*2 + AV3*3 +...) / SUM(2+2+3...)	

**Actividad 2, 3 y 5:**

Tabla 3. Rúbrica de la actividad 2, 3 y 5.

	<b>Aspecto a Valorar</b>	<b>Ind. Logro</b>	<b>CEsp</b>	<b>Calificación (1-10)</b>	<b>Ponderación</b>
AV1	Desarrolla una personalidad autónoma y resolutiva durante la construcción del prototipo	6	CEsp5		2
AV2	Aplica los conceptos teóricos para la modelación inicial del motor y su funcionamiento	3	CEsp1		3
AV3	Es capaz de modificar coherentemente el movimiento del motor a partir de razonamientos físicos	4	CEsp2		3
AV4	Formula hipótesis coherentes a partir de conceptos teóricos	1	CEsp1		3
AV5	Extrapola correctamente conceptos teóricos a la situación práctica contextualizada	2	CEsp2		3
AV6	Se expresa de forma oral y escrita con fluidez bajo un lenguaje científico-técnico.	5	CEsp3		2
AV7	Justifica el comportamiento final del motor y los problemas surgidos	7	CEsp3		3
AV8	Aplica el método científico hasta su desarrollo final.	8	CEsp2 CEsp5		2
AV9	Identifica cada una de las partes del motor generado, entiende su uso y lo contextualiza en los motores reales usados en la industria	9	CEsp2 CEsp3 CEsp6		3
AV10	Entiende y justifica la función del conmutador y ha sido incorporado en el prototipo desarrollado	4, 8	CEsp2 CEsp5		3
AV11	Identifica los estados de estabilidad de cada bobina y el efecto de tener varios bobinados	1,2,7	CEsp2 CEsp3 CEsp5		3
AV12	El prototipo muestra un grado de creatividad y dificultad	6	CEsp5		2
	CALIFICACIÓN FINAL				$(AV1*2 + AV2*3 + AV3*3 + \dots) / \text{SUM}(2+3+3\dots)$

**Actividad 4:**

La actividad cuatro se trata de una actividad más orientada a la interiorización de conceptos que serán necesarios aplicar en la actividad consecutiva. Esto supone que la actividad será principalmente evaluada a través de la aplicación de estos conceptos conjuntamente a la actividad 5. No obstante, para mantener la atención de los alumnos, se realizará una evaluación simbólica a través de un cuestionario realizado al finalizar la clase. Este cuestionario aportará un resultado final por cada alumno lo cual utilizaremos como instrumento de evaluación para la actividad correspondiente. Puesto que el cuestionario da un resultado detallado por cada respuesta, se ha establecido una pequeña rúbrica de corrección para evaluar el desarrollo de competencias.

Tabla 4. Rúbrica de la actividad 4.

	<b>Aspecto a Valorar (AV)</b>	<b>Ind. Logro</b>	<b>CEsp</b>	<b>Calificación (1-10)</b>	<b>Ponderación</b>
AV1	Identifica cada una de las partes del motor generado, entiende su uso y lo contextualiza en los motores reales usados en la industria	9	CEsp2 CEsp3 CEsp6		3
AV2	Entiende y justifica la función del conmutador y ha sido incorporado en el prototipo desarrollado	4, 8	CEsp2 CEsp5		3
AV3	Es capaz, a partir de los conceptos teóricos, de comprender los distintos tipos de modelos de corriente continua	8	CEsp2 CEsp5		2
AV4	Predice correctamente el sentido de giro de la bobina	1,2	CEsp1 CEsp2		2
AV5	Identifica los distintos estados del momento de las fuerzas y por tanto los estados de estabilidad	1,2	CEsp1 CEsp2		3
AV6	Entiende el efecto de las distintas variables sobre el motor	4, 8	CEsp2 CEsp5		2
	CALIFICACIÓN FINAL			(AV1*3 + AV2*3 + AV3*2 +...) / SUM(3+3+2...)	

### 9.1.3. Evaluación Final

Finalmente, alcanzamos la evaluación final, que tiene como función determinar el grado de consecución que un alumno ha obtenido en relación con los objetivos fijados. En nuestro caso, dado el carácter incremental de las actividades, nuestra principal fuente de evaluación será la evaluación continua, entendiendo esta evaluación final en un concepto de análisis del aprendizaje en la totalidad de las sesiones. Esta evaluación tendrá como objetivo la comunicación al alumno de los puntos fuertes y débiles durante toda la sesión con una función reguladora, comunicativa y formadora.

Por ello, la evaluación final se ha orientado bajo un carácter sumativo sobre cada una de las competencias específicas a nivel final, analizando las carencias observadas en el alumno de manera paralela a su calificación de cada una de ellas, desarrollada en el apartado siguiente. Asimismo nos sirve como evaluación de la situación de aprendizaje.

## 9.2. CALIFICACIÓN

Según el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, las calificaciones de cada materia serán decididas por el profesor correspondiente, a partir de la valoración y calificación de los criterios de evaluación establecidos, y en nuestro caso de los indicadores de logro, teniendo presente, en su caso, las medidas adoptadas en materia de atención a la diversidad. Es decir, tras la evaluación es necesario una calificación, una nota ponderal final que resuma los avances del alumno en cada asignatura.

Según el decreto mencionado, las calificaciones de las competencias clave deben de ser decididas por el **equipo docente** a partir de la valoración y calificación de los criterios de evaluación establecidos y determinados en el apartado anterior. Este proceso de valoración y calificación debe de ser único, y debe permitir obtener de forma simultánea la calificación de cada materia y de cada competencia a alcanzar por los alumnos.

Es por ello que, para la obtención de la calificación final de cada una de las competencias específicas, así como de la situación de aprendizaje, **se realizará una suma ponderada en función de los pesos atribuidos en las rúbricas anteriores.**

Las actividades tendrán igualmente diferentes pesos para la calificación final que serán necesarios adjuntar a la suma ponderada. Inferiormente adjuntamos los pesos por cada una de las actividades desarrolladas.

*Tabla 5. Tabla ponderaciones de cada actividad.*

		Ponderación General
<b>Actividad 1</b>		15 %
<b>Actividad 2</b>		15 %
<b>Actividad 3</b>		20 %
<b>Actividad 4</b>		20 %
<b>Actividad 5</b>		30 %

Para la calificación final de la situación de aprendizaje se realizará una suma ponderada de las notas finales de cada actividad a través de los pesos indicados en la tabla 5. Para la obtención de la calificación de cada una de las competencias específicas es necesario aplicar la ponderación de cada aspecto a valorar (ver tablas 2, 3 y 4) así como la ponderación general por actividad (ver tabla 5). El procedimiento se resume en una rúbrica similar a la siguiente:

*Tabla 6. Tabla resumen de la calificación final por competencias.*

		CEsp1	CEsp2	CEsp3	CEsp4	CEsp5	CEsp6
A1	<b>Actividad 1</b>	(AV3*3 + AV4*3 + AV5*3)/Sum(3+3+3)			-		
A2	<b>Actividad 2</b>				-		
A3	<b>Actividad 3</b>				-		
A4	<b>Actividad 4</b>				-		
A5	<b>Actividad 5</b>						
	<b>FINAL</b>	A1*0'15 + A2*0'15...	A1*0'15 + A2*0'15...	A1*0'15 + A2*0'15...	-	A1*0'15 + A2*0'15 ...	A1*0'15 + A2*0'15 ...

Siendo An (n=1,2...,5) la nota obtenida en la actividad correspondiente para esa competencia específica y AVn (n=1,2...,11) la calificación obtenida para la actividad en el aspecto a valorar correspondiente, ver tablas 2, 3 y 4.

## 10. CONCLUSIONES

Como indicábamos en la justificación, la enseñanza de las ciencias es un proceso complejo dado la necesidad de abstracción para su comprensión y razonamiento. Física no es una asignatura que pueda ser simplemente adoctrinada y memorizada por los alumnos, sino que conlleva una visualización interna de los conceptos instruidos. Este proyecto llega como una herramienta para la interiorización de un conjunto de saberes básicos muy comunes en nuestro entorno diario. Imponiendo al alumno como elemento activo de su propio aprendizaje, generando sobre el alumno un conjunto de incertidumbres que llevarán a la articulación de preguntas, la formulación de hipótesis y la necesidad de exploración e incluso la revisión teórica de la causa de esa incertidumbre (Rutten et al., 2015).

De manera progresiva inducimos al alumno a justificar los efectos del electromagnetismo en las bobinas de una espira, comenzamos realizando preguntas al alumno para que por si mismo desarrolle el fundamento físico e incitamos a materializarlo a través del motor homopolar, experimento que les permitirá identificar la relación matemática existente en diferentes fenómenos físicos así como contextualizarla a través distintas variables que intervienen. Estos conceptos se amplían con un segundo motor eléctrico, ya con una necesidad de la interrupción de la corriente para su funcionamiento, el cual nos inducirá posteriormente a explicar la conmutación existente en los motores eléctricos de corriente continua y con ello todas las funciones de cada una de las partes que lo componen.

El carácter incremental de las actividades, presentando los mismos conceptos previos con nuevas preguntas por responder, así como el carácter activo que presentan las mismas pudiendo interaccionar con las distintas variables que entran en juego, genera un conocimiento más significativo hacia los alumnos, permitiendo que sean capaces de relacionar conceptos y modelos científicos simplificados con su entorno diario. Además, esta manera de trabajar permite a los alumnos generar estrategias a la hora de aplicar los conceptos teóricos conocidos en el aula, la principal barrera no material existente en el emprendimiento del sector tecnológico/industrial.

Esta metodología más activa, que inevitablemente requiere una mayor dedicación de tiempo, es necesario resaltar su función motivacional, lo que permitirá a los alumnos una mayor concentración y dedicación a la actividad y por tanto una mayor consecución de los objetivos marcados. Ya lo dijeron una vez Gómez y Oyola “es necesario implementar nuevas estrategias didácticas que apoyen la labor del profesor y motiven de manera efectiva al estudiante”, (Gómez y Oyola, 2012, p.22). Aunque el compromiso y la motivación no es más que un constructo educativo que fomenta, en base el estado emocional derivado del desempeño, la presencia e involucración en su entorno de aprendizaje, (Pelletier et al., 2016), tiene una correlación lineal directa con el logro de los resultados educacionales deseados.

Con esto concluimos nuestro proyecto aludiendo al enfoque pragmático del proyecto sobre el sistema de aprendizaje, permitiendo a los alumnos descubrir una vocación, si existe, en el uso del conocimiento, incluso una inspiración y colaboración con otras materias y compañeros, esto hace el proceso de aprendizaje mucho más interesante.

## 11. PROSPECTIVA FUTURA

Este proyecto ha sido un camino de ida hacia una metodología activa cuya efectividad sobre metodologías tradicionales ha sido considerada en varias ocasiones en otros contextos. Sin embargo, una de las posibles acciones futuras sería la constatación que producen la aplicación de esta secuenciación de aprendizaje sobre los alumnos a través de la realización de un estudio comparativo sobre los contenidos estudiados bajo una perspectiva tradicional y a través de estas actividades presentadas. Para ello pueden existir diversidad de modalidades a la hora de realizarla pero una propuesta sería a través de un grupo de control y un grupo comparativo, de manera que los alumnos se encuentren bajo condiciones iniciales similares en cuanto a aptitudes y los resultados estén lo menos sesgados posibles. Asimismo, el método de evaluación debe de dividirse en las distintas etapas del conocimiento (ej. capacidad de asimilar conceptos abstractos, capacidad de predecir, planificar, mejorar los modelos,...) de manera que se pueda establecer un DAFO de la propia propuesta. Otra línea de acción posible para la continuación del

proyecto es la posibilidad de ampliar los distintos tipos de motores de corriente continua realizando estos a partir de núcleos ferromagnéticos o distintas versiones.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Bean, J. C. (5 de Mayo de 2023). Obtenido de Virtual Lab: AC & DC Electric Motors: <https://www.wecanfigurethisout.org/VL/Motors.htm/state/2>
- Bringier, J. C. (1977). *Conversaciones con Piaget*. Barcelona: Gedisa.
- Bruner, J. (1988). *Realidad mental y mundos posibles*. Barcelona: Gedisa.
- Beilin, H. (1992). Piaget's enduring contribution to Developmental Psychology. *Developmental Psychology*, 28, 191-204 <https://doi.org/10.1037/0012-1649.28.2.191>
- Papalia, D., Wendkos, S., & Duskin, R. (2007). *Desarrollo humano*. México D.F: McGraw-Hill Interamericana.
- Philhour, D. B. (5 de Mayo de 2023). Obtenido de Physics Simulation: <https://interactives.ck12.org/simulations/physics/electric-motor/app/index.html?screen=sandbox>
- Vidal, F. (1994). *Piaget before Piaget*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Ertmer, P. A., & Newby, T. J. (1993). Behaviorism, cognitivism, constructivism: Comparing critical features from an instructional design perspective. *Performance Improvement Quarterly*, 6(4), 50–72. <https://doi.org/10.1111/j.1937-8327.1993.tb00605.x>
- Mantuano, Marcel & Caviedes, Evelyn & Ladines, Karla & Rogel, Danny & Yuqui, Carlos. (2021). *Análisis del conductismo, cognitivismo, constructivismo y su interrelación con el conectivismo en la educación postpandemia: Analysis of behaviorism, cognitivism, constructivism and their interrelation with connectivism in post-pandemic education*. South Florida Journal of Development. 2. 6850-6863. [doi:10.46932/sfjdv2n5-038](https://doi.org/10.46932/sfjdv2n5-038).
- Méndez-Mantuano, M.O., Egüez Caviedes, E.C., Ochoa Ladines, K.V., Plúas Rogel, D.R. Paredes Yuqui, C.E. (2021) *Análisis del conductismo, cognitivismo, constructivismo y su interrelación con el conectivismo en la educación postpandemia*. South Florida Journal of Development
- Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato. *Boletín Oficial del Estado*. Núm. 82, de 6 de abril de 2022, pp. 46047 a 46408 (cve: BOE-A-2022-5521)
- Decreto 40/2022, de 29 de septiembre. [Consejería de Educación]. Por el que se establece la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León*. Núm. 190/2022. (cv: BOCYL-D-30092022-4)
- Orden Edu/624/2022, de 6 de junio. [Consejería de Educación]. Por la que se aprueba el calendario escolar para el curso académico 2022-2023 en los centros docentes que imparten enseñanzas no universitarias en la Comunidad de Castilla y León, y se delega en las direcciones provinciales de educación la competencia para la resolución de las solicitudes de su modificación. *Boletín Oficial de Castilla y León*. Núm. 111/2022. (cv: BOCYL-D-10062022-26)
- Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. *Boletín Oficial del Estado*. Núm. 340, de 30 de diciembre de 2020, pp. 122868 a 122953. (cve: BOE-A-2020-17264).
- Instrucción de 22 de febrero de 2023, de la Secretaría General, por la que se establecen orientaciones para la evaluación y promoción en la Educación Primaria, así como la evaluación, la promoción y la titulación en la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato, así como los documentos oficiales de evaluación para el curso académico 2022-2023. *Boletín Oficial de Castilla y León*.
- Ley Orgánica 14/2007, de 30 de noviembre, de reforma del Estatuto de Autonomía de Castilla y León. *Boletín Oficial del Estado*. Núm. 288, de 01/12/2007.

Decreto 23/2014, de 12 de junio, por el que se establece el marco del gobierno y autonomía de los centros docentes sostenidos con fondos públicos, que imparten enseñanzas no universitarias en la Comunidad de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León*. Núm. 112/2014. (cv: BOCYL-D-13062014-2).

Melero, J.F. (2023, 1 Mayo) Obtenido en Regla de la mano izquierda [Fotografía]: <https://es.wikipedia.org/wiki/>

Wayne Schmidt (2023, 1 Mayo) Obtenido en *How to Build a Homopolar Motor*, [Archivo de Video] <https://www.youtube.com/watch?v=LcyqJWvZioM>

Fraile Mora, J. (2008) *Máquinas eléctricas* / Jesús Fraile Mora. 6<sup>a</sup> ed. Madrid. McGraw-Hill.

Mentalidad de Ingeniería (2023, 1 Mayo) *¿Cómo funciona un motor eléctrico? - Motor de CD Explicado*. [Archivo de Video]: [https://www.youtube.com/watch?v=A\\_VGpRxFzXQ](https://www.youtube.com/watch?v=A_VGpRxFzXQ)

Zurek, S. (2023, 22 Mayo) *Carbon brushes of small universal electric motor (circular saw)* [Fotografía] :[https://es.wikipedia.org/wiki/Escobilla\\_\(electricidad\)#/media/Archivo:Carbon\\_brushes.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Escobilla_(electricidad)#/media/Archivo:Carbon_brushes.jpg)

Martín Blas, T.; Serrano Fernandez A., (2023, 20 Mayo) [Fotografía]: <https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/generador.html>

Fendt, W. (2023, 20 Mayo) Direct Current Electrical Motor [Fotografía] [https://www.walter-fendt.de/html5/phen/electricmotor\\_en.htm](https://www.walter-fendt.de/html5/phen/electricmotor_en.htm)

Walsh. T. (2023, 20 Mayo) oPhysics: Interactive Physics Simulations [Fotografía] <https://ophysics.com/em10.html>

Philbour, B. (2023, 20 Mayo) Electric Motor Walkthrough <https://interactives.ck12.org/simulations/physics/electric-motor/app/index.html?screen=sandbox>

Wayne Schmidt (2023, 1 Mayo) *How to Build a Homopolar Motor* [Archivo de Video] <https://www.youtube.com/watch?v=LcyqJWvZioM>

The Organic Chemistry Tutor (2023, 1 Mayo) *Physics - Homopolar Motor Explained* [Archivo de Video] <https://www.youtube.com/watch?v=6Oj4qvCR6ow>

Virtual Brain (2023, Mayo 23) *Como Funciona un Motor Eléctrico de Corriente Continua (DC) ⚡ | Animación 3D*. [Archivo de Video] <https://www.youtube.com/watch?v=Zxdc1egljl>

Electric Motor (2023, Mayo 23) ck12.org [https://www.ck12.org/physics/electric-motor/a-s-m-t-practice/electric-motor-Practice/?referrer=featured\\_content%3Preferrer%3Dconcept\\_details](https://www.ck12.org/physics/electric-motor/a-s-m-t-practice/electric-motor-Practice/?referrer=featured_content%3Preferrer%3Dconcept_details)

Young, Hugh D et al. (2009) Física universitaria con física moderna. 2 / Hugh D. Young, Roger A. Freedman ; con la colaboración de A. Lewis Ford. 12a ed. en español. México: Addison Wesley Iberoamericana. Print.

Young, Hugh D et al. Física universitaria. (2009). 1 / Hugh D. Young, Roger A. Freedman ; con la colaboración de A. Lewis Ford. 12 ed. en español. México: Addison Wesley Iberoamericana, Print.

Tipler, Paul A. (1998). Física. 1 / Paul A. Tipler. 3a ed. Barcelona: Reverté,. Print.

Tipler, Paul A. (1998). Física. 2 / Paul A. Tipler. Barcelona: Reverté, 1983. Print.

Science Buddies Staff. (2023, April 29). *Build a Simple Electric Motor!* Retrieved [Archivo de Video] [https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/Elec\\_p051/electricity-electronics/build-a-simple-electric-motor](https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/Elec_p051/electricity-electronics/build-a-simple-electric-motor)

Nico Rutten, Jan T. van der Veen & Wouter R. van Joolingen (2015) Inquiry-Based Whole-Class Teaching with Computer Simulations in Physics, International Journal of Science Education, 37:8, 1225-1245, [DOI: 10.1080/09500693.2015.1029033](https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1029033)

Pelletier, J. E., Lytle, L. A., & Laska, M. N. (2016). Stress, health risk behaviors, and weight status among community college students. *Health Education & Behavior: The Official Publication of the Society for Public Health Education*, 43(2), 139–144. <https://doi.org/10.1177/1090198115598983>

Docplayer (15 Mayo 2023) Magnetismo y electricidad. Motores eléctricos. [Archivo PDF] [https://docplayer.es/9310085-Magnetismo-y-electricidad-motores-electricos-el-magnetismo-aunque-es-un-efecto-espontaneo-de-la-naturaleza-el-campo-magnetico-terrestre-y.html#show\\_full\\_text](https://docplayer.es/9310085-Magnetismo-y-electricidad-motores-electricos-el-magnetismo-aunque-es-un-efecto-espontaneo-de-la-naturaleza-el-campo-magnetico-terrestre-y.html#show_full_text)

## ANEXO A. RELACIONES DIDÁCTICAS OBJETIVOS Y COMPETENCIAS.

### i. TABLA RELACIONAL ENTRE LAS COMPETENCIAS ESPECÍFICAS Y COMPETENCIAS CLAVE PARA LA ASIGNATURA DE FÍSICA DE SEGUNDO DE BACHILLERATO.

	<b>Física</b>																					
	CCL1	CCL2	CCL3	CCL4	CCL5	CP1	CP2	CP3	STEM1	STEM2	STEM3	STEM4	STEM5	CD1	CD2	CD3	CD4	CD5	CPSAA1	CC1	CE	CCEC
Competencia Específica 1									✓	✓	✓											
Competencia Específica 2										✓		✓							✓			
Competencia Específica 3	✓	✓		✓					✓		✓							✓				
Competencia Específica 4		✓		✓						✓		✓	✓	✓	✓				✓			
Competencia Específica 5	✓								✓		✓							✓		✓	✓	
Competencia Específica 6									✓		✓								✓		✓	

### ii. VINCULACIÓN DE LOS OBJETIVOS CON LOS DESCRIPTORES OPERATIVOS DE LAS COMPETENCIAS CLAVE

	<b>Física</b>																				
	CCL	CP	STEM	CD	CPSAA	CC	CE	CCEC													
Afianzar actitudes de respeto y prevención en el ámbito de la movilidad segura y saludable.																					
Fomentar una actitud responsable y comprometida en la lucha contra el cambio climático y en la defensa del desarrollo sostenible.									✓	✓	✓										
Investigar y valorar los aspectos de la cultura, tradiciones y valores de la sociedad de Castilla y León.																					
Reconocer el patrimonio natural de la Comunidad de Castilla y León como fuente de riqueza y oportunidad de desarrollo para el medio rural, protegiéndolo y mejorándolo, y apreciando su valor y diversidad.																					
Reconocer y valorar el desarrollo de la cultura científica en la Comunidad de Castilla y León indagando sobre los avances en matemáticas, ciencia, ingeniería y tecnología y su valor en la transformación, mejora y evolución de su sociedad, de manera que fomente la investigación, eficiencia, responsabilidad, cuidado y respeto por el entorno.									✓	✓	✓										

	CCL 1	CCL 2	CCL 3	CCL 4	CCL 5	CP 1	CP 2	CP 3	STEM 1	STEM 2	STEM 3	STEM 4	STEM 5	CD 1	CD 2	CD 3	CD 4	CD 5	CPSAA 1.1	CPSAA 1.2	CPSAA 2	CC 1	CC 2	CC 3	CC 4	CE 1	CE 2	CE 3	CCEC 1	CCEC 2	CCEC 3.1	CCEC 3.2	CCEC 4.1	CCEC 4.2
Ejercer la ciudadanía democrática, desde una perspectiva global, y adquirir una conciencia cívica responsable, inspirada por los valores de la Constitución Española, así como por los derechos humanos, que fomente la corresponsabilidad en la construcción de una sociedad justa y equitativa.	✓				✓																													
Consolidar una madurez personal, afectivo-sexual y social que les permita actuar de forma respetuosa, responsable y autónoma y desarrollar su espíritu crítico. Prever, detectar y resolver pacíficamente los conflictos personales, familiares y sociales, así como las posibles situaciones de violencia.					✓	✓																												
Fomentar la igualdad efectiva de derechos y oportunidades de mujeres y hombres, analizar y valorar críticamente las desigualdades existentes, así como el reconocimiento y enseñanza del papel de las mujeres en la historia e impulsar la igualdad real y la no discriminación por razón de nacimiento, sexo, origen racial o étnico, discapacidad, edad, enfermedad, religión o creencias, orientación sexual o identidad de género o cualquier otra condición o circunstancia personal o social.	✓				✓																													
Afianzar los hábitos de lectura, estudio y disciplina, como condiciones necesarias para el eficaz aprovechamiento del aprendizaje, y como medio de desarrollo personal.			✓	✓																														
Dominar, tanto en su expresión oral como escrita, la lengua castellana y, en su caso, la lengua cooficial de su comunidad autónoma.	✓	✓	✓						✓																									
Expresarse con fluidez y corrección en una o más lenguas extranjeras						✓	✓	✓				✓																						

	CCL 1	CCL 2	CCL 3	CCL 4	CCL 5	CP 1	CP 2	CP 3	STEM 1	STEM 2	STEM 3	STEM 4	STEM 5	CD 1	CD 2	CD 3	CD 4	CD 5	CPSAA 1.1	CPSAA 1.2	CPSAA 2	CC 1	CC 2	CC 3	CC 4	CE 1	CE 2	CE 3	CCEC 1	CCEC 2	CCEC 3.1	CCEC 3.2	CCEC 4.1	CCEC 4.2
Utilizar con solvencia y responsabilidad las tecnologías de la información y la comunicación.																																		
Conocer y valorar críticamente las realidades del mundo contemporáneo, sus antecedentes históricos y los principales factores de su evolución. Participar de forma solidaria en el desarrollo y mejora de su entorno social.	✓	✓						✓		✓	✓																							
Acceder a los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales y dominar las habilidades básicas propias de la modalidad elegida.	✓	✓							✓	✓	✓	✓																						
Comprender los elementos y procedimientos fundamentales de la investigación y de los métodos científicos. Conocer y valorar de forma crítica la contribución de la ciencia y la tecnología en el cambio de las condiciones de vida, así como afianzar la sensibilidad y el respeto hacia el medio ambiente.										✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																	
Afianzar el espíritu emprendedor con actitudes de creatividad, flexibilidad, iniciativa, trabajo en equipo, confianza en uno mismo y sentido crítico.										✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																	
Desarrollar la sensibilidad artística y literaria, así como el criterio estético, como fuentes de formación y enriquecimiento cultural.	✓		✓																															
Utilizar la educación física y el deporte para favorecer el desarrollo personal y social. Afianzar los hábitos de actividades físico-deportivas para favorecer el bienestar físico y mental, así como medio de desarrollo personal y social.											✓	✓							✓	✓	✓													

## ANEXO B. GUION ALUMNO - ACTIVIDAD 1.

# FUNDAMENTO FÍSICO DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

### 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Define con tus propias palabras que es un motor eléctrico.

Máquina destinada a producir energía mecánica a través de energía eléctrica.

1.2. ¿Consumen o aportan energía? ¿Qué tipo de energía?

Los motores son máquinas eléctricas que consumen energía eléctrica para aportar otros tipos de energía, en general energía mecánica. Sin embargo, los motores no tienen un rendimiento del 100%, es decir, no convierten toda la energía eléctrica en energía mecánica sino que tienen ciertas pérdidas. En el seno de los motores existe una parte móvil destinada a girar y a aportar el movimiento mecánico deseado, sin embargo, esto hace que exista un flujo de campo magnético variable sobre el conductor y se obtengan fuerzas electromotrices inducidas sobre el interior del mismo que dan lugar a corrientes parásitas o de Foucault. Teniendo en cuenta que todo conductor ejerce cierta resistencia al paso de corriente existirá una potencia disipada a causa del efecto Joule. Asimismo, unido a estas pérdidas, esta excitación variable se traducirá igualmente en pérdidas caloríficas causadas por el fenómeno denominado histéresis, dependientes, entre otras cosas, de la frecuencia de la variación de la excitación magnética.

1.3. ¿A qué máquinas sustituyeron estos motores y cuál era su ventaja?

A los motores de combustión y la ventaja fue la limpieza de esta nueva fuente de energía.

1.4. Di tres ejemplos de tu vida diaria donde se utilicen motores de corriente continua.

Mecanismo de subida de las ventanillas de los coches, muchos taladros, drones y componentes de ordenadores.

### 2. DESARROLLO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE CC

A través de las siguientes preguntas vamos a ir guiando tu entendimiento de estos conceptos hasta el desarrollo del funcionamiento de un motor.

#### 2.1. FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UNA CORRIENTE ELÉCTRICA

2.1.1. ¿Qué es lo que ocurre a una corriente eléctrica circulando por un conductor en el seno de un campo magnético?

En el seno de un campo magnético un conductor por el que circula una corriente eléctrica experimentará una fuerza magnética medida en Newtons, en unidades del sistema internacional, perpendicular al campo magnético y a la dirección de la corriente.

2.1.2. ¿Cuál es la expresión matemática que representa este fenómeno? En caso de ser una magnitud vectorial describe su módulo, dirección y sentido.

La relación que nos indica cual es la fuerza ejercida sobre una corriente eléctrica circulando por un conductor en el seno de un campo magnético  $\vec{B}$  es la siguiente:

$$\vec{F} = \int I d\vec{l} \times \vec{B}.$$

En el caso de que el campo sea uniforme, dicha expresión se reduce a

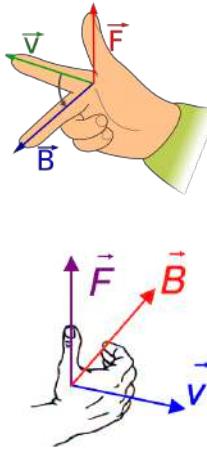
$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}.$$

Donde el módulo de la fuerza vendría dado por  $F = ILB \operatorname{sen}\beta$ , siendo  $\beta$  el ángulo que forman el vector  $\vec{L}$ , cuya dirección y sentido coincide con aquella de la corriente, y el vector campo magnético  $\vec{B}$ .

La dirección de la fuerza será perpendicular a ambos vectores y el sentido obedece a la regla de la mano derecha, ver figura 1.

Regla Mano Derecha o del Sacacorchos

La regla de la mano derecha consiste en imponer los dedos (salvo el pulgar) en el sentido en el cual el primer vector del producto vectorial superpone al segundo vector, de manera que el pulgar se dirigirá hacia el sentido de la fuerza aplicada a una carga positiva.



Regla Mano Izquierda

La regla de la mano izquierda consiste en imponer con cada dedo la dirección y sentido de un vector componente del producto vectorial. Más concretamente el índice indicará la dirección del vector campo magnético, el anular representará el vector velocidad, o en casos de corrientes el vector L, y por último el dedo anular nos dará el resultado del producto vectorial representando la dirección y sentido de la fuerza aplicada sobre una carga positiva.

Es igualmente factible aplicar esta regla con la mano derecha invirtiendo los vectores velocidad o vector L, en función del caso, con el vector campo magnético.

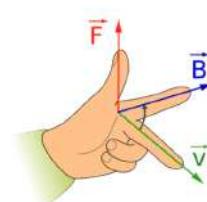


Figura 1. Explicación del uso de la regla de la mano derecha e izquierda para la obtención de productos vectoriales (Melero, J.F., 2023)

Adicionalmente podemos calcular la fuerza matemáticamente realizando el determinante correspondiente al producto vectorial para obtener el módulo, dirección y sentido. La fuerza en el sistema internacional será medida en Newtons.

En caso de necesitar una explicación adicional por parte de los alumnos, se ha incluido el siguiente video <https://www.youtube.com/watch?v=ImGho3JdPuU>.

## 2.2. FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UNA ESPIRA RECTANGULAR RECORRIDO POR CORRIENTE ELÉCTRICA.

2.2.1. Considere una espira rectangular de lados  $a$  y  $b$ , recorrida por una corriente  $I$ , e inmersa en un campo magnético uniforme  $\vec{B}$ , ver figura 2. Determine la fuerza que ejerce el campo  $\vec{B}$  sobre cada uno de los lados de la espira.

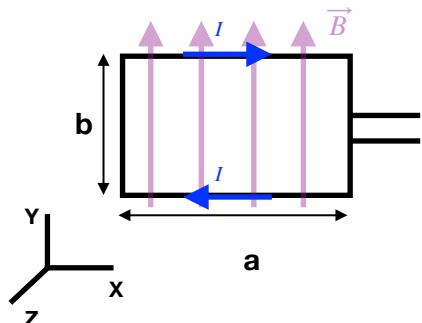


Figura 2. Espira en el seno de un campo magnético

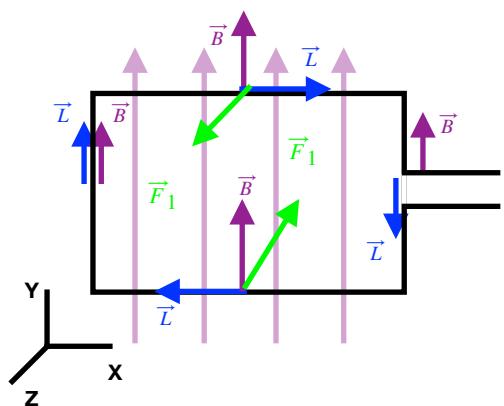


Figura 3. Espira en el seno de un campo magnético con la dirección de los vectores principales señalados

Magnitud de la fuerza magnética sobre los lados  $b$  :  
 $F_2 = IbB \operatorname{sen}(0^\circ) = IbB \operatorname{sen}(180^\circ) = 0$

Magnitud de la fuerza magnética sobre los lados  $a$  :  
 $F_1 = IaB \operatorname{sen}(90^\circ) = Ib$

Dirección y sentido se indican en la figura 3.

2.2.2. ¿Qué es lo que pasa en el estudio anterior? ¿Sobre los lados de longitud  $a$  hay fuerzas? ¿Y sobre los lados de longitud  $b$ ? ¿Cuál es la resultante de las fuerzas sobre la espira?

Sobre los lados  $b$  no existen fuerzas ejercidas puesto que los vectores campo magnético  $\vec{B}$  y vector  $\vec{L}$  forman un ángulo de  $0^\circ$  o  $180^\circ$ .

En el caso de los lados  $a$  las fuerzas son iguales y opuestas en el eje Z, por tanto estas fuerzas se anulan y la resultante de las fuerzas es cero.

2.2.3. Vamos a suponer ahora que la espira se encuentra en rotación formando un ángulo arbitrario con el campo  $\vec{B}$ . ¿Qué deberíamos modificar en la ecuación  $\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$  en función de la posición de la espira?

Escribe la ecuación matemática y analiza para cada una de las variables ( $\vec{L}$ ,  $\vec{B}$ ,  $I$ ) si cambiaría el módulo, dirección y sentido. Evidencia la influencia de estos cambios en el módulo dirección y sentido del vector fuerza,  $\vec{F}$  y ayúdate de la figura 4 para identificarlas.

Forma vectorial :  $\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$

Módulo de la fuerza :  $F = ILB\text{sen}(\beta)$

El **vector campo magnético** no cambiará al igual que la **intensidad de corriente**, sin embargo la dirección del **vector  $\vec{L}$**  sí cambiará en función de la posición de la espira en los segmentos de longitud  $b$ . Esta variación del vector  $\vec{L}$  nos produce una variación del ángulo que forma con el vector campo magnético, y en consecuencia, de la fuerza resultante sobre el lado  $b$ . De tal manera que la fuerza  $\vec{F}_2$  será máxima cuando  $\vec{L}$  sea perpendicular a  $\vec{B}$  y mínima cuando sea paralelo a  $\vec{B}$ .

En la figura 3 podemos observar como el módulo de la fuerza  $F_2$  variará con el ángulo:  $F_2 = IbB\text{sen}\beta$

Donde  $\beta$  es el ángulo que forman el vector  $\vec{L}$  y el vector de campo magnético  $\vec{B}$ . Por tanto el vector fuerza, en los lados donde la longitud vale  $b$ , variará la magnitud, no de dirección ni de sentido. Sin embargo, siguen anulándose entre sí puesto que la variación para ambas es la misma.

Por otra parte para la fuerza  $\vec{F}_1$ , el ángulo entre el vector  $\vec{L}$  y el vector  $\vec{B}$  será siempre  $90^\circ$ , por tanto  $F_1 = IaB$ , por lo que no variará en magnitud, dirección ni sentido durante la rotación de la espira.

2.2.4. Vamos a analizar las fuerzas identificadas en una espira en rotación ¿Existe alguna fuerza resultante sobre la espira?

Como hemos visto, realmente las fuerzas ejercidas en cada uno de los lados de la espira se anulan constantemente dos a dos, esté en reposo o en giro, por tanto:

$$\vec{F} = \sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0$$

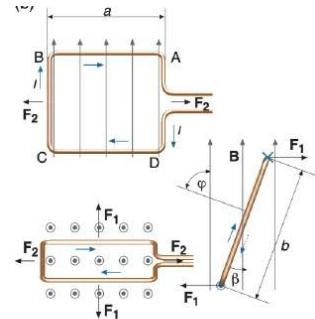


Figura 4. Esquema de una espira en rotación en el seno de un campo magnético  
(Docplayer, 15 Mayo 2023)

### 2.3. MOMENTO RESULTANTE APLICADO SOBRE UNA ESPIRA CONDUCTORA DE CORRIENTE ELÉCTRICA

2.3.1. Como se ha visto en el apartado anterior sobre la espira actúan fuerzas paralelas de igual magnitud y sentidos contrarios separadas una distancia. ¿Qué efecto provocará sobre nuestra espira esas fuerzas? ¿Qué nombre recibe el sistema formado por dos fuerzas con esas características?

Ese conjunto de fuerzas se denomina ‘Par de Fuerzas’, el cual proporcionaría al cuerpo una rotación respecto de un eje.

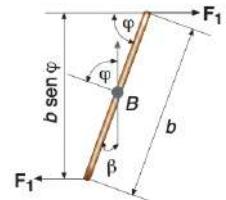


Figura 5. Determinación de ángulos en una espira en rotación. (Docplayer, 15 Mayo 2023)

2.3.2. ¿En qué magnitud física caracteriza este efecto? Defínelo matemáticamente y explica un ejemplo de uso diario en el cual se ponga en uso

Un par de fuerzas viene caracterizado por el ‘Momento de cada una de las fuerzas del sistema’. Expresándose matemáticamente el momento de una fuerza como  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$ .

Siendo  $\vec{F}$  el vector fuerza y  $\vec{r}$  el vector director que va del punto de referencia del eje de rotación hasta el punto de aplicación de la fuerza, en esta dirección señalada. Esto ocurría a la hora de abrir una puerta o a la hora utilizar una llave inglesa.

2.3.3. ¿Ejercerán los pares de fuerzas  $\vec{F}_1$  y  $\vec{F}_2$  este efecto sobre la espira?

Nota: Revisa la figura 5 e identifica que fuerzas pasan por el eje de giro de la espira.

Se ejercerá este fenómeno únicamente por parte de las fuerzas  $\vec{F}_1$ . Estas no pasan por el eje de giro, por tanto nos generan momento, al contrario que  $\vec{F}_2$  cuya distancia hasta el eje donde se genera un momento de rotación será 0.

2.3.4. ¿Cuál es el momento de cada una de las fuerzas ejercidas por el vector campo magnético sobre cada uno de los lados de la espira respecto del eje de giro supuesto en la ilustración?

NOTA: Ayúdate de la figura 5 donde se definen ángulos y distancias.

Si consideramos el cálculo del momento respecto del eje central de la espira sobre su punto de conexión.

Las fuerzas resultantes que hemos denominado  $\vec{F}_2$ , en sintonía con la ilustración, el vector de la fuerza pasa por el eje de giro por tanto no ejercen ningún momento.

Sin embargo, las fuerzas  $\vec{F}_1$  ( $F_1 = IaB$  en módulo) están separadas una distancia, por tanto el momento que va a generar cada una de las fuerzas en módulo es  $\tau = F_1 \frac{b}{2} \operatorname{sen} \varphi$ , siendo  $\varphi$  el

ángulo que forma el vector director  $\vec{r}$  y el vector  $\vec{F}$  así como el vector normal de la espira  $\vec{n}$  y el campo magnético  $\vec{B}$ .

Para obtener la dirección y sentido del momento aplicamos la regla de la mano derecha o regla del destornillador, mencionada previamente, observaremos que los momentos se suman y harán girar en ambos casos a la espira en sentido de las agujas del reloj.

### 2.3.5. ¿Cuál es el momento resultante?

Si realizamos el sumatorio del módulo del momento ejercido por ambas dos será

$$\tau = F_1 \frac{b}{2} \operatorname{sen} \varphi + F_1 \frac{b}{2} \operatorname{sen} \varphi = F_1 b \operatorname{sen} \varphi = (IaB) b \operatorname{sen} \varphi = IBS \operatorname{sen} \varphi$$

Siendo S la superficie de la espira  $S = ab$ .

El producto  $IS$  se denomina momento dipolar magnético o momento magnético de la espira, el cual se denota con el símbolo  $\mu$ , que en forma vectorial se define como  $\vec{\mu} = IS \vec{n}$ , donde la dirección se define como la perpendicular al plano de la espira con sentido definido por la regla de la mano derecha. Por tanto el momento de la fuerza se expresa en forma vectorial como  $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ , por tanto será máximo cuando sean perpendiculares los vectores  $\vec{\mu}$  y  $\vec{B}$  y mínimos cuando sean paralelos. (Young, Hugh D. et al., 2009).

### 2.3.6. ¿En qué instantes el momento de giro se anulará?

NOTA: Atender a la función senoidal del momento.

Cuando el vector normal de la espira forme un ángulo recto ( $90^\circ$ ) con el vector campo magnético, el momento será máximo, siendo la espira coplanaria con el plano que contiene el vector campo magnético. Sin embargo cuando el vector normal de la espira es paralelo al vector campo magnético, el momento será nulo, siendo el plano que forma la espira perpendicular al vector campo magnético.

### 2.3.7. ¿Estará en constante giro la espira? ¿Qué ocurrirá cuando el momento se haga mínimo?

La espira no se detendrá mientras no se corte la intensidad de corriente o se elimine el campo magnético. En el instante en el que el momento se anula, la espira continúa rotando por inercia lo que la sacará de la situación de equilibrio y se volverá a producir un momento sobre ella.

### 2.3.8. ¿Podemos decir que la espira se encuentra en equilibrio al introducirla en el seno de un campo magnético?

NOTA: considerar la dualidad del equilibrio, rotacional y translacional.

Existen dos condiciones de equilibrio principales estudiadas hasta ahora durante el curso y es el equilibrio translacional y rotacional

El equilibrio translacional se caracteriza por un sumatorio de fuerzas (magnitud vectorial) igual a cero mientras que el equilibrio rotacional se caracteriza por un sumatorio de momentos (magnitud vectorial) igual a cero.

$$\vec{F} = \sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 \quad \vec{\tau} = \sum_{i=0}^n \vec{\tau}_i = 0$$

Por lo tanto la espira no se encuentra en equilibrio ya que en nuestro caso  $\vec{\tau} \neq 0$ .

## ANEXO C. GUION ALUMNO - ACTIVIDAD 2.

# CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR HOMOPOLAR.

### 1. DESCRIPCIÓN

La actividad consiste en la construcción de un motor eléctrico simple utilizando el principio físico de la **fuerza ejercida por un campo magnético sobre cargas en movimiento**, en este caso corrientes eléctricas circulando por un conductor filiforme.

### 2. IMAGEN DEL MONTAJE DE UN MOTOR HOMOPOLAR



*Figura 1. Motor Homopolar  
(Schmidt, W., 2023)*



*Figura 2. Motor  
Homopolar  
(Schmidt, W., 2023)*

### 3. FUNDAMENTO TEÓRICO

En un contexto donde un conductor por el que circula por una corriente eléctrica se encuentra en el seno de un campo magnético, este conductor experimenta una fuerza que se expresa matemáticamente por :

$$\vec{F} = I \int d\vec{l} \times \vec{B}$$

En el caso práctico aquí presente utilizaremos esta fuerza para mover una pequeña estructura de cobre, por la que circula una corriente eléctrica, a partir del campo magnético generado por un imán de neodimio N35.

El imán se adhiere en el terminal negativo de la pila y utilizamos un hilo de cobre, formando una pequeña armadura con disponibilidad para girar, para cerrar el circuito entre el terminal positivo y negativo.

La fuerza será perpendicular en cada momento a los lados de la armadura y la resultante del momento de las fuerzas no se anula, dando lugar a una rotación de la armadura hasta que la batería se agote y deje de circular corriente eléctrica por el conductor.

Se trata del motor más sencillo que es posible montar y que nos ayudará al entendimiento posterior de aquellos más complejos. Se denomina motor homopolar por la existencia de un solo

imán permanente donde no existe una variación del campo magnético ni existe una conmutación de la corriente eléctrica. Este motor utiliza el mismo principio que utilizó uno de los primeros motores desarrollados, la Rueda de Barlow.

#### 4. MATERIALES

- Imanes de neodimio N35 (1, 2 o 3).
- Pila AA de 1,5V.
- Conductor de cobre 18 AWG (0,75 mm<sup>2</sup>).

#### 5. MONTAJE

Describiremos una serie de pasos y consejos para llevar a cabo el montaje de la pila:

1. Utilizando el cable de cobre desarrollamos una estructura sencilla como la indicada en la figura 1. Esta debe de ser simétrica, para que la distribución del peso no nos afecte en la rotación, con los laterales cercanos al set del motor, para agilizar la rotación, y con una estructura sencilla que nos permita una fácil comprensión del giro del conductor. Ver Figura 1.
2. Adjuntamos a la pila el imán de neodimio en la parte inferior.
3. Para permitir la circulación de corriente por el conductor eliminamos el esmalte del conductor de cobre en las partes de contacto entre la armadura y la pila.
4. Colocamos la armadura sobre la pila, utilizando esta como eje de giro, y le damos un impulso inicial. Ver Figura 2.
5. De manera general, la conexión entre el polo positivo tiende a realizarse de la manera indicada en la figura 3 lado izquierdo si embargo, esta situación es algo inestable, puesto que el alambre tiende a deslizarse adoptando la posición de la figura 3 lado derecho. Esta transición provocará en muchas situaciones la parada del motor por tanto, es recomendable comenzar inicialmente con la segunda posición. Esta posición, además de permitir una mayor estabilidad, dará a la armadura un ángulo de inclinación respecto del eje de la pila permitiendo una mayor conexión en el terminal negativo de la estructura con los imanes de neodimio.
6. Por último, es posible realizar distintas formas a partir del mismo conductor de cobre cuya distribución de peso y contacto con la pila hará funcionar mejor o peor nuestro motor en distintas situaciones. Ver en la figura 4 otros ejemplos de aplicación.



Figura 3. Conexión Terminal Positivo del Motor Homopolar.  
(Schmidt, W., 2023)

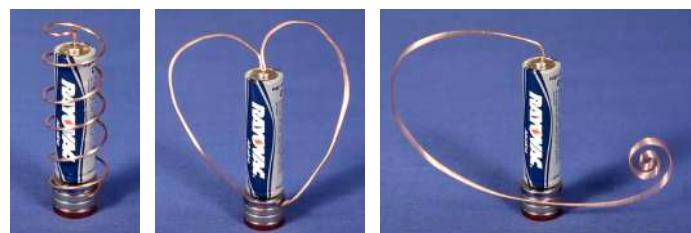


Figura 4. Ejemplos de Estructuras De Motores Homopolares.  
(Schmidt, W., 2023)

## 6. OBSERVACIONES

En este apartado daremos distintos consejos con la intención de prevenir las dificultades que se podrán encontrar los alumnos en la construcción del set mostrado:

1. Imponer un ángulo a la espira construida para adoptar un correcto contacto con el imán inferior.
2. El uso de varios imanes crea surcos inferiores que generan una mayor resistencia al avance de la rotación y que puede causar su parada, por ello si es posible es mejor el uso de un solo imán más alargado.
3. Cuanto más compacta y simétrica sea la armadura más rápido girará.
4. Si el contacto inferior con el imán se hace más ligero o inestable, el giro de la espira/armadura formada será más lento.
5. Intentar mantener la forma lo más simétrica posible, si el peso está descompensado puede generar la parada de la rotación. Si no es simétrico, al menos tener el peso compensado en ambas partes y asegurar que existe un buen contacto, en la parte inferior, de la armadura con los imanes.
6. Comprobar que el alambre de cobre tenga correctamente eliminado el esmalte en las zonas de contacto para eliminar resistencia a la circulación de corriente.
7. La pila trabaja en un modo de ‘corto-circuito’, es decir, a causa de la poca resistencia eléctrica que aporta el circuito la intensidad de corriente será máxima, por tanto la pila durará apenas unos 5 minutos, por tanto es importante utilizar pilas recargables e intentar no dejar puesta la armadura sobre el imán salvo en los momentos de prueba del sistema.

## 7. TRABAJO A REALIZAR POR EL ALUMNO

Tras la realización de la actividad se solicita la entrega de un informe del desarrollo de la actividad donde se muestre:

- Informe de la actividad incluyendo:
  - Hipótesis inicial.
  - Fundamento físico de la rotación.
  - Evidencia paso a paso del montaje propio.
  - Análisis de las modificaciones de posibles parámetros para el aumento de la rotación.
- Video evidencia del funcionamiento del motor.

**ANEXO D. INFORME ALUMNO - ACTIVIDAD 2.****MOTOR HOMOPOLAR DE CORRIENTE CONTINUA.****1. INTRODUCCIÓN**

A través de materiales sencillos, adquiribles en el seno de cualquier casa, realizaremos el motor más simple existente.

La actividad consiste en la generación de un circuito eléctrico cerrado a través de la composición de una pila, un conductor de cobre y un imán permanente. El circuito cerrado permitirá que la corriente eléctrica fluya por el conductor de cobre dispuesto de forma que exista el menor rozamiento posible, sin eliminar el contacto. El campo magnético, generado por el imán permanente, ejercerá la fuerza necesaria para que la armadura de cobre, situada sobre el mismo eje de la pila, rote alrededor de su eje longitudinal.

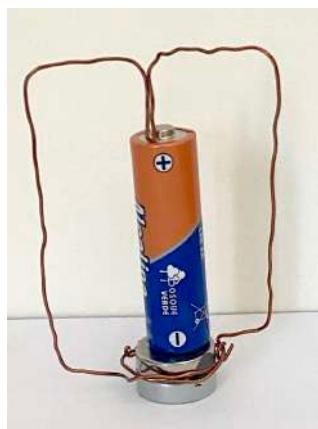
**2. IMAGEN DEL MOTOR HOMOPOLAR A CONSTRUIR**

Figura 1. Motor homopolar

**3. MATERIALES UTILIZADOS**

- Imanes de neodimio (1, 2 o 3)
- Pila AA de 1,5V
- Conductor de cobre 20 AWG

#### 4. MONTAJE

Se adjuntan diferentes imágenes del montaje del motor homopolar desarrollado en la actividad siguiendo los pasos descritas en el guion aportado para su realización:

1. Realizamos la estructura a partir del conductor de cobre (Ver figura 2)
2. Situamos los imanes en la parte inferior de la pila (Ver figura 3)
3. Eliminamos la capa esmaltada que recubre el conductor de cobre en las zonas de contacto con la pila y el imán para poder conducir la electricidad (Ver figura 4)
4. Situamos la estructura sobre la pila de una manera inclinada para que haga un mayor contacto con la zona inferior. (Ver figura 5)

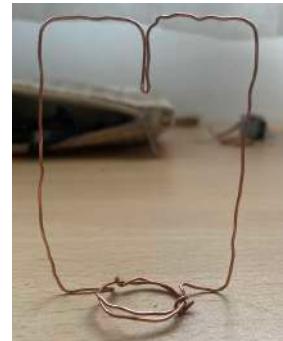


Figura 2. Armadura



Figura 3 Pila con los imanes de neodimio en el polo negativo



Figura 4. Retirada del esmalte del motor homopolar.

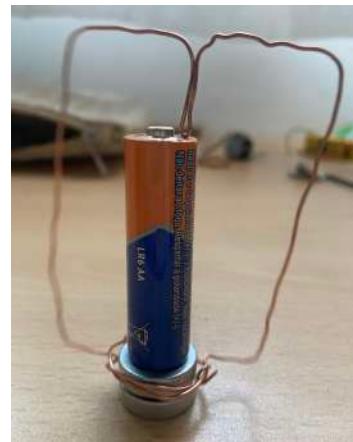


Figura 5. Inserción de la armadura en el eje de la pila

#### 5. FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR HOMOPOLAR

##### 5.1. FUNDAMENTO FÍSICO DE LA ROTACIÓN

En el momento en el que un conductor, por el cual circula una corriente eléctrica, se encuentra inmerso en el seno de un campo magnético, sobre este conductor se ejerce una fuerza expresada matemáticamente como:

$$\vec{F} = \int I d\vec{l} \times \vec{B}$$

En este experimento esta fuerza generará un torque que desencadenará la rotación de la armadura construida con el conductor de cobre.

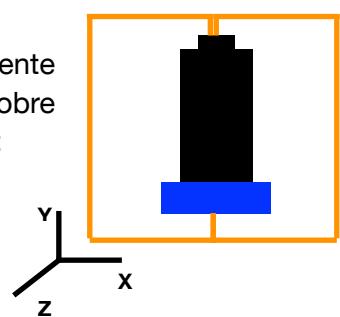


Figura 6. Esquema del Motor homopolar

A través del siguiente esquema podremos observar las líneas de campo magnético así como la dirección de cada uno de los vectores previamente mostrados en la expresión matemática expuesta. El esquema del set desarrollado es el siguiente, siendo la pila la figura de color negro,

el imán representado bajo un color azul y el conductor filiforme bajo un color naranja.

Suponiendo que el polo norte se encuentra en la cara superior del imán las líneas de campo se representarían de la manera mostrada en el esquema adjunto, con una dirección norte - sur.

El vector  $d\vec{l}$  tendrá la misma dirección y sentido que la corriente eléctrica. Definimos el sentido de la corriente, denotada por  $I$ , como el sentido en la que existe un flujo de carga *positiva*. Por ello, las corrientes se describen como si consistieran por completo en un flujo de cargas positivas, aun en los casos en que se sabe que la corriente real se debe a electrones, como es el caso aquí presentado de un conductor metálico. Esta convención sobre el sentido de la corriente se llama **corriente convencional** (Young, Hugh D et al., 2009). Ver imagen 8.

A partir de la definición de la dirección y sentido de los vectores previamente descritos, podemos observar la dirección y sentido del vector fuerza en cada uno de los lados de la armadura de cobre, ver imagen 9.

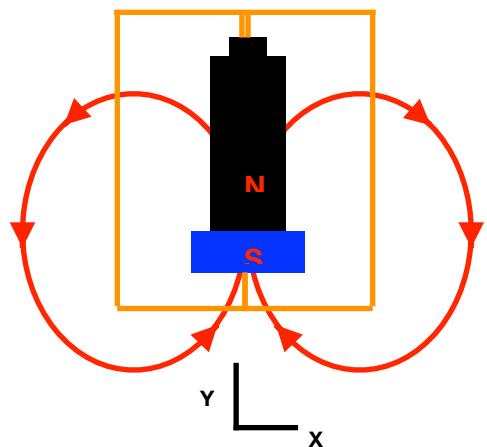


Figura 7. Líneas de campo del motor homopolar

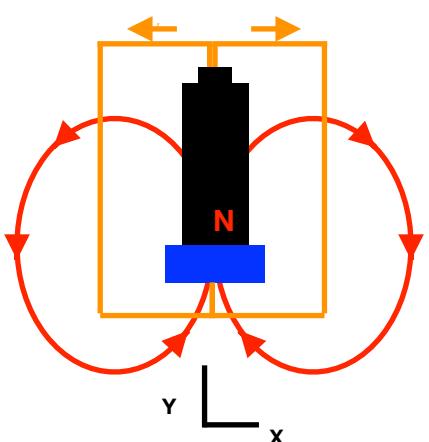


Figura 8. Motor Homopolar con la dirección de la corriente y de las líneas del campo magnético

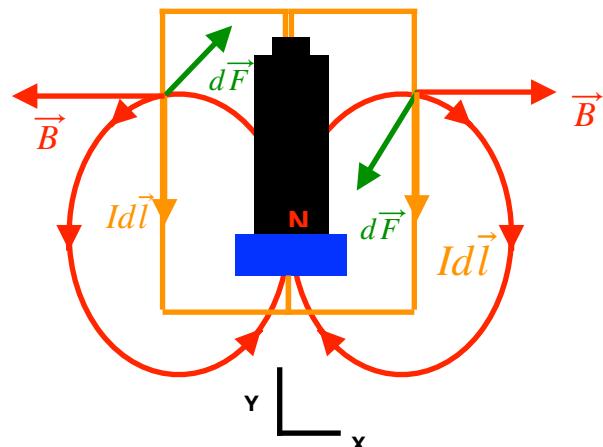


Figura 9. Motor homopolar con los vectores principales señalados

El módulo de la fuerza magnética sobre el elemento diferencial de corriente  $Id\vec{l}$  será  $dF = IdlB \sin\varphi$  siendo  $\varphi$  el ángulo que forman el vector  $Id\vec{l}$  y el vector de campo de inducción magnética  $\vec{B}$  en ese punto. La fuerza resultante sería el resultado de la integral de los diferenciales de fuerza sobre todos los diferenciales de corriente a lo largo de toda la armadura.

La figura muestra dos fuerzas  $\vec{F}$  actuando sobre la armadura, las cuales individualmente obligarían al conjunto a girar sobre el eje longitudinal de la pila salvo que sus momentos se anulen entre sí.

El momento de una fuerza se expresa matemáticamente como  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$ , siendo  $\vec{r}$  un vector director que va del punto de referencia del eje de rotación hasta el punto de aplicación de la fuerza.

Aplicando esta relación obtendremos que en módulo el momento de cada una de las fuerzas será  $\tau = Fd$ , siendo  $d$  la distancia perpendicular entre la línea de acción de la fuerza y el eje de rotación.

En cuanto a la dirección y sentido del momento de cada fuerza utilizaremos la regla de la mano derecha para concretarlo. En ambos casos obtenemos un sentido de giro contrario a las agujas del reloj.

Por tanto observamos que el momento que van a generar cada una de las fuerzas tiene la misma dirección y sentido, obteniendo un momento total que no se anula sino que se suma, produciendo un giro sobre la armadura en sentido contrario a las agujas del reloj.

En el caso invertir la polaridad del campo magnético invertiríamos el sentido del vector campo magnético y con ello el sentido de las fuerzas magnéticas ejercidas sobre la corriente eléctrica, por tanto el torque sería en sentido inverso al descrito previamente.

## 5.2. AUMENTO DE LA VELOCIDAD DE GIRO

En función de lo descrito previamente es posible aumentar la velocidad de giro del motor en función de la modificación de las diferentes piezas del set.

Recordamos que el módulo del vector fuerza se representa matemáticamente como

$$dF = IdlB \sin\varphi$$

### 1. Aumentar la intensidad de corriente.

Aumentando el voltaje de la pila podremos aumentar la intensidad de corriente que recorre el conductor de cobre. Asimismo, disminuyendo la resistencia del cable conductor aumentamos de nuevo la intensidad que recorre el conductor. Recordemos que cuanto más fino es el cable conductor que atraviesa la intensidad de corriente, mayor resistencia ofrece al paso de la misma. Tenemos que tener en cuenta que estamos trabajando prácticamente en cortocircuito por lo que la influencia de la intensidad será mínima.

### 2. Aumentar la longitud del cable conductor

Si hacemos una armadura más alargada aumentaremos la fuerza sobre el lado de la espira correspondiente y con ello aumentaremos el torque de giro, por tanto obtendremos una mayor velocidad angular de la armadura. Es importante tener en cuenta que también aumentaremos la resistencia sin embargo al estar trabajando prácticamente en cortocircuito será despreciable.

### 3. Aumentamos el campo magnético

Otro parámetro a aumentar es la magnitud del campo magnético aumentando el número de imanes en la base de la pila, esto aumentará la fuerza ejercida sobre la armadura y con ello la velocidad de giro.

#### 4. Disminuir la distancia entre la pila y la armadura

Por último, si disminuimos la distancia entre los lados de la espira sobre los que se va a ejercer el par de fuerzas obtendremos una magnitud del campo magnético mayor y con ello un mayor torque sobre la armadura, aumentando así la velocidad angular.

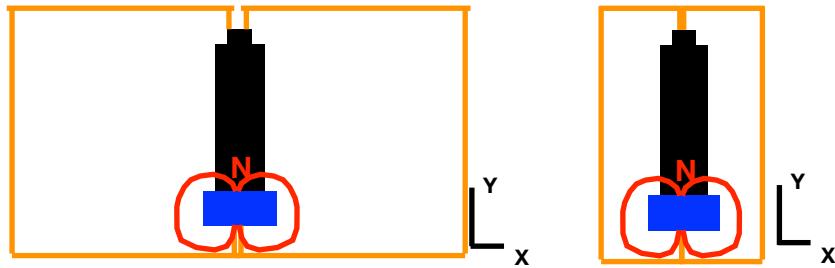


Figura 10. Disminución del radio de la pila y la armadura para aumentar la velocidad del giro reduciendo la inercia.

Pero más allá de la magnitud del campo magnético, está relacionado con el concepto de momento de inercia que caracteriza las propiedades iniciales de un cuerpo en rotación respecto de un eje de giro.

En cinemática rotacional, el torque o momento resultante toma el lugar de la fuerza en la cinemática lineal, siendo el momento de inercia del cuerpo respecto al eje de giro quien representará las propiedades del cuerpo de mantener su posición en oposición al giro. Esto matemáticamente se representa como  $\vec{\tau} = I \vec{\alpha}$ .

En este caso, las propiedades iniciales del cuerpo respecto del eje de rotación, momento de inercia, dependerán cuadráticamente del radio de la estructura que hayamos conformado, teniendo mayor resistencia a la rotación a mayor radio, y por tanto una menor velocidad angular.

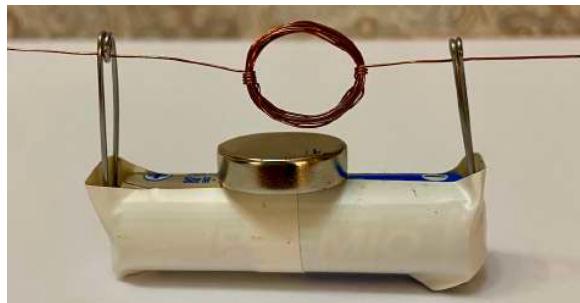
## **ANEXO E. GUION ALUMNO - ACTIVIDAD 3.**

# **CONSTRUCCIÓN UN MOTOR ELÉCTRICO SENCILLO**

### **1. DESCRIPCIÓN**

En la presente actividad realizaremos una simplificación de un motor eléctrico a partir de un arrollamiento de cobre, por el que haremos pasar una corriente eléctrica, y un imán de neodimio, causa de la fuerza magnética aplicada sobre el conductor. Para que el arrollamiento se mantenga girando constantemente en la misma dirección sin entrar en una situación de equilibrio la corriente será cortada intermitentemente en su giro, manteniendo constantemente la dirección del torque.

### **2. IMAGEN DEL MOTOR ELÉCTRICO A CONSTRUIR**



*Figura 1. Implementación de un motor eléctrico sencillo*

### **3. MATERIALES**

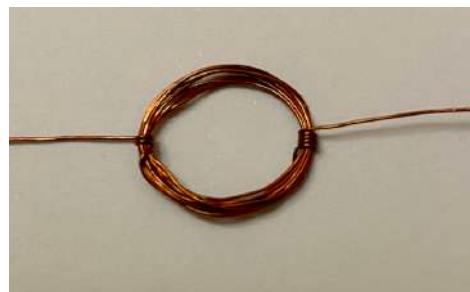
- Hilo de cobre 0,3mm de diámetro de sección circular.
- Alicates.
- 2 Clips/Imperdibles.
- Pilas AA.
- Cinta aislante.

### **4. CONSTRUCCIÓN**

1. Adherimos a través de cinta adhesiva dos clips a los terminales de la pila de la manera mostrada en la figura 2.
2. Cortamos un fragmento de 0,5m de longitud del alambre de cobre.
3. A partir del alambre realizamos un enrollamiento circular de 10 o 15 vueltas dejando dos extremos libres. Es recomendable realizarlo alrededor de un material cilíndrico como soporte (una pila, un pegamento...) de manera que facilite la acción.
4. Posteriormente pasamos cada extremo libre alrededor de cada lado del arrollamiento de manera simétrica para atar el arrollamiento e impedir que se mueva, ver figura 3.



*Figura 2. Soporte del arrollamiento conformado por la pila y dos imperdibles*

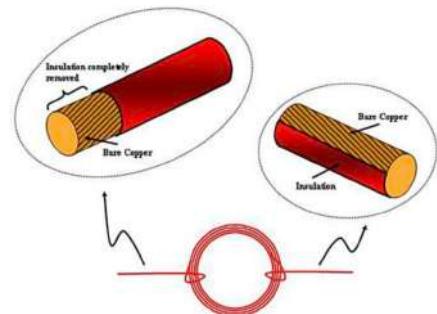


*Figura 3. Arrollamiento realizada a partir del alambre de cobre*

5. Cortamos los extremos del hilo hasta una longitud que permita introducirlos sobre los clips de manera estable sin que sobre excesivo material.
6. Dejamos el arrollamiento sobre una superficie plana, de manera que la espira repose completamente sobre la superficie, y lijamos los extremos visibles de los terminales. La superficie de los terminales que están de cara a la superficie plana se quedarán sin lijar. Bien en un terminal bien en ambos debe de permanecer esmalte en la mitad de la superficie del terminal del alambre para cortar el paso de la corriente.



*Figura 4. Lijamos la superficie visible de los terminales.*



*Figura 5. Dejamos en uno o ambos terminales la mitad con el esmalte que impide el paso de corriente. (Science Buddies Staff., 2023)*

7. Incorporamos los extremos del arrollamiento sobre los clips y le damos cierto impulso a cada lado hasta que comienza rotar.
8. Si no se pone en movimiento quizás es necesario limar algo más el cable e ir probando varias veces el arrollamiento
9. Si igualmente no se pone en movimiento comprobad:
  - Que el extremo del arrollamiento no tenga surcos donde pueda anclarse e impedir el movimiento.
  - Que el peso del arrollamiento no esté descompensado, esto ocurre si el origen de los extremos del alambre sobre el que reposa no se encuentra cada uno simétricamente en el eje central del arrollamiento.
  - Que el alambre utilizado está esmaltado.

## ANEXO F. INFORME ALUMNO - ACTIVIDAD 3.

# CONSTRUCCIÓN UN MOTOR ELÉCTRICO SENCILLO

### 1. INTRODUCCIÓN

La actividad realizada se basa en la construcción de un motor eléctrico simplificado a través de un arrollamiento de cobre y un imán de neodimio donde exista una intermitencia en el paso de corriente.

### 2. IMAGEN DEL MOTOR ELÉCTRICO CONSTRUIDO

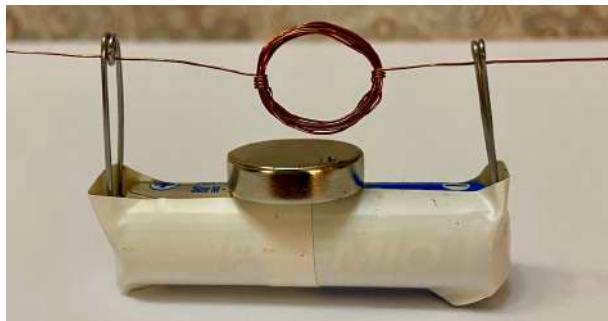


Figura 1. Simplificación motor eléctrico

### 3. FUNCIONAMIENTO

#### 3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Nos encontrarnos con un conductor por el que circula una corriente eléctrica que se encuentra en el seno de un campo magnético, este conductor experimenta una fuerza que se expresa matemáticamente por:

$$\vec{F} = I \int d\vec{l} \times \vec{B}$$

El campo magnético será generado por el imán de neodimio y la intensidad será provista por la pila.

Si utilizamos un esquema del montaje para desarrollar su funcionamiento, considerando sur la parte superior del imán y norte la parte inferior, así como el sentido de la corriente indicado en la figura 2, tendríamos el siguiente esquema de fuerzas mostrado en la figura 2 tomando como ejemplo dos puntos opuestos de la espira.

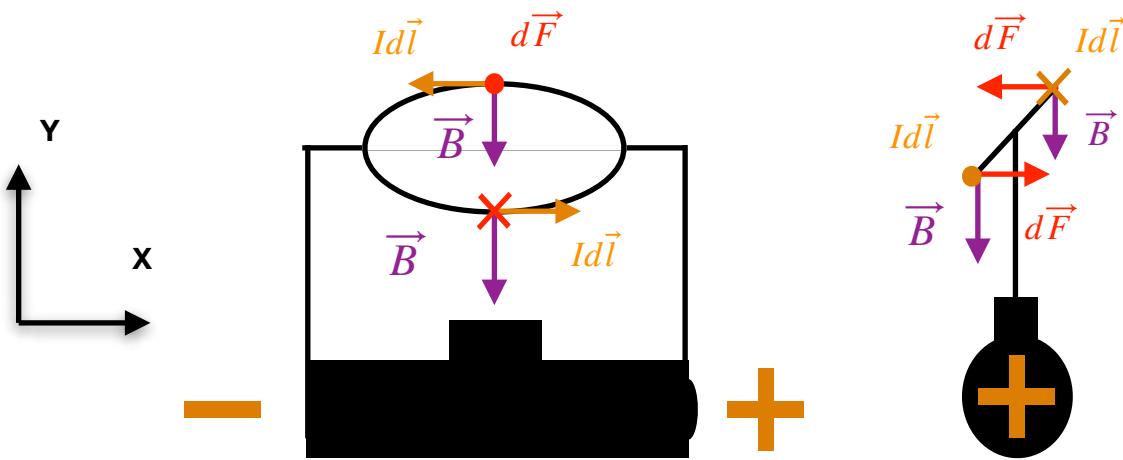


Figura 2. Esquema de fuerzas del sistema. Izq: Alzado Dcha: Perfil derecho

Cada fuerza generará un momento sobre el eje de rotación de manera que hemos descrito en actividades previas,  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$ , el cual se anulará durante la rotación del arrollamiento en los momentos en los que el vector  $\vec{F}$  y el vector  $\vec{r}$  sean paralelos.

Introducimos los conceptos de momento magnético o momento dipolar magnético, que no es más que la relación matemática de  $\vec{\mu} = (N)IA\vec{n}$ , siendo  $N$  el número de espiras,  $I$  la intensidad de corriente que recorre el conductor,  $A$  el área de la espira y  $\vec{n}$  el vector normal unitario de la superficie. La dirección de  $\vec{\mu}$  se define como la perpendicular al plano de la espira con sentido determinado por la regla de la mano derecha, como se observa en la figura 3. Ésta es también la dirección del vector de área  $\vec{A} = A\vec{n}$  (Young, Hugh D et al., 2009).

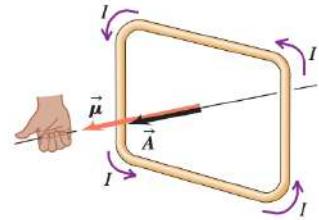


Figura 3. Dirección del vector momento magnético de una espira (Young, Hugh D et al., 2009).

A partir de este concepto podemos definir el torque del motor como  $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ , siendo  $\vec{B}$  el campo de inducción magnética generado por el imán permanente. Esta definición cobra especial utilidad en situaciones donde las espiras no son rectangulares. El momento será nulo en las situaciones en las que el vector  $\vec{B}$  y el vector  $\vec{\mu}$  sean paralelos y máximo en los que sean perpendiculares. Este torque generado impulsará el arrollamiento a una posición de estabilidad donde este momento sea anulado. Sin embargo, para poder realizar un motor de corriente continua necesitamos que el arrollamiento lleve un giro completo, estando la clave de la rotación del motor en la intermitencia del paso de la corriente. Para conseguir una rotación completa es necesario interrumpir el paso de la corriente en el momento de mayor estabilidad anulando consigo el par de fuerzas. La espira sigue girando por inercia hasta que la corriente vuelve a circular por el conductor y llegamos a una situación inicial de nuevo.

Imponiendo los vectores sobre la propia espira para estudiar su giro tendremos:

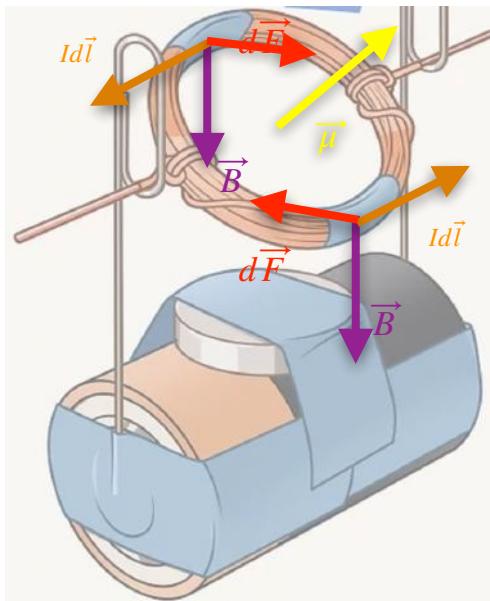


Figura 4. Posición en transición entre el momento máximo y mínimo

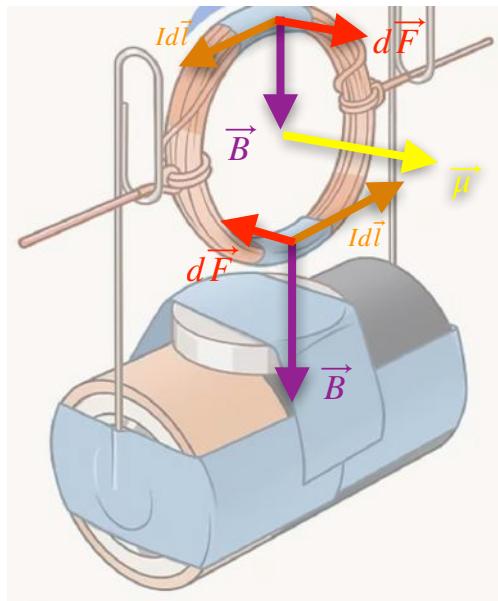


Figura 5. Posición de momento máximo de la espira.

El motor sigue girando en sentido horario hasta alinear el vector campo magnético y el vector momento magnético anulando el momento de las fuerzas electromagnéticas.

## ANEXO G. SÍNTESIS TEÓRICA DEL CONTENIDO DE LA ACTIVIDAD 4.

# PARTES DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Un **motor eléctrico** es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas.

Existen dos tipos principales de motores, los motores de corriente continua y corriente alterna, sin embargo, ambos se basan en el mismo principio. En nuestro caso nos vamos a centrar en los motores de corriente continua y comenzaremos previamente a desarrollar su funcionamiento definiendo las distintas partes que conforman el motor.

### PARTES DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA:

La máquina de corriente continua está constituida por una parte fija o estátor, encargada de generar el campo magnético permanente, una parte móvil o rotor y la parte intermedia denominada entrehierro. Este espacio permite que exista el movimiento conectando el sistema eléctrico y mecánico y debe de ser lo más pequeño posible, ver figura 1. Esto será importante a tener en cuenta al desarrollar nosotros nuestro propio motor.

Para seguir la explicación de las partes de un motor nos apoyamos en la figura 2 donde se detallan las partes del motor de corriente continua que emplearemos como modelo.

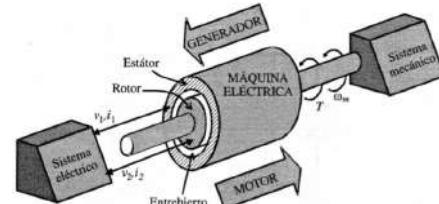


Figura 1. La máquina eléctrica como convertidor de energía.  
(Fraile Mora, J., 2008)



Figura 2. Partes de un motor de corriente continua: 1. Carcasa 2. Imanes permanentes 3. Eje 4. Rotor + Bobinado 5. Conmutador 6. Escobillas 7. Terminales

El **estátor** está formado por una **culata metálica y dos núcleos polares** que generarán nuestro campo magnético en el entrehierro. **La culata**, que pertenece al circuito magnético inductor o estátor, ejerce la función de soporte mecánico del conjunto.

Adherido a esta culata encontramos los dos **núcleos polares**, ver figura 2, los cuales se encuentran confrontados polo norte y sur, encargados de generar el campo magnético en el interior del motor. Existe la posibilidad de que estos núcleos polares no estén formados por imanes permanentes sino electroimanes, conjunto de adhesiones de chapas de acero donde se incluye un devanado inductor por el que circula una corriente eléctrica.

Posteriormente podremos observar la parte dinámica del motor, formado por el eje, el rotor o inducido, el bobinado enrollado sobre él y el colector de delgas o conmutador.

El **inducido**, ver figura 3 y 4, se construye con láminas de chapa de acero al silicio convenientemente ranurado para alojar en él el correspondiente devanado. Estas láminas se encuentran aisladas unas de otras a través de una capa de lacado limitando la formación de corrientes parásitas o de Foucault y disminuyendo así las pérdidas del motor. Las corrientes parásitas o de Foucault se forman en la superficie del propio conductor debidas a la variación del flujo magnético a causa de su propia rotación. Teniendo en cuenta que el conductor ejerce cierta resistencia al paso de corriente eléctrica, estas corrientes generarán una disipación de energía en forma de calor a causa del efecto Joule. Su disposición en láminas reducirá la sección recorrida por la intensidad reduciendo así las corrientes parásitas y por tanto el efecto Joule debido a las mismas. Esto se puede observar en los detalles de la figura 4.



Figura 3. Conmutador y rotor en detalle

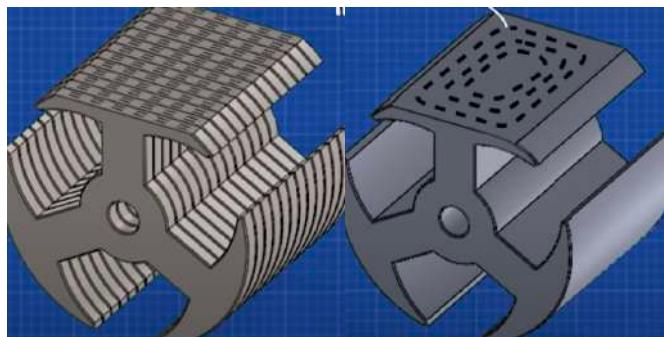


Figura 4. Izq: Rotor formado bajo una configuración laminada, Dcha: Rotor construido como una pieza sólida, mostrando las corrientes eléctricas inducidas en ambos casos

En el caso de nuestro motor mostrado en la figura 2, contamos con 3 devanados o bobinas separadas  $120^\circ$  una de la otra, ver figura 6. Esto nos permitirá una rotación suave sin que el vector superficie de la espira adquiera una alineación con el campo magnético generando una situación de equilibrio que la obligue a parar. Ver figuras 5 y 6.



Figura 5. Imagen a detalle del rotor de un motor de corriente continua (Mentalidad de Ingeniería, 2023, 8'38").



Figura 6. Detalle del rotor de tres polos del motor de corriente continua mostrado en la figura 2.

Entre cada dos bobinas encontramos una placa comutadora, como se aprecia en la figura 7. Cada bobina está conectada a dos placas comutadoras, ver figura 7 y figura 8. De esta manera las placas estarán conectadas eléctricamente entre sí a través de las bobinas de manera que, si conectamos una fuente, ver figura 9, la corriente entra por una placa comutadora, recorre la bobina completa y sale por la placa comutadora contigua.

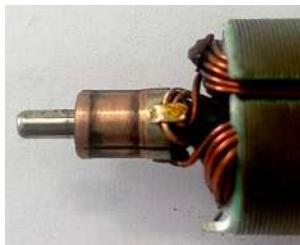


Figura 7. Detalle de la conexión de las delgas al bobinado del motor mostrado en la figura 2.

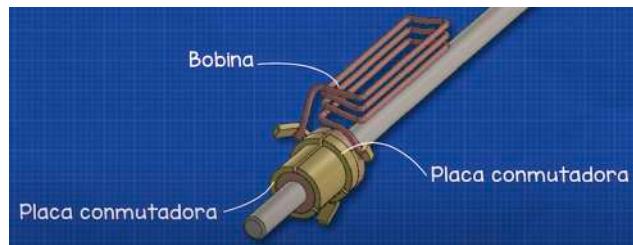


Figura 8. Conexión de la bobina a placas conmutadoras. (Mentalidad de Ingeniería, 2023, 7'35").

Las placas conmutadores se encuentran montadas sobre un eje de giro y su función es transmitir al bobinado la corriente eléctrica. Cada una de las placas se denomina delgas y el conjunto de delgas montadas sobre el eje de giro se denominaba **conmutador**. Estas delgas son fabricadas en cobre de alta pureza aisladas entre sí y aisladas del eje de giro. Esta pieza nos permitirá variar la polaridad constante del campo magnético generado por la bobina giratoria. Ver figura 10.



Figura 9. Flujo de corriente por una bobina aislada del rotor de un motor de corriente continua. (Mentalidad de Ingeniería, 2023, 7'35").



Figura 10. Conmutador de un motor de corriente continua contenido en el rotor.

Para poder transmitir la electricidad hasta este conmutador contamos con dos escobillas, ver figura 11, una para permitir la entrada de corriente al motor y otra para permitir la salida generando un circuito cerrado. Estas escobillas, fabricadas generalmente de carbón o grafito, se encuentran en contacto directo con el conmutador permitiendo la transferencia de corriente desde la fuente hasta el devanado del motor, ver figura 12.

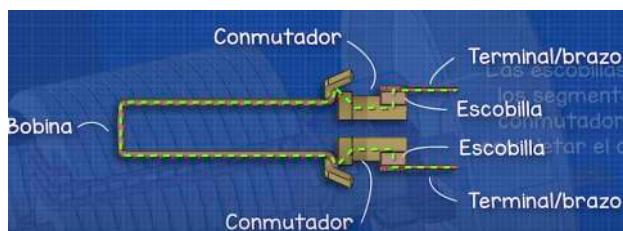


Figura 11. Esquema del traspaso de corriente desde las escobillas hasta la bobina. (Mentalidad de Ingeniería, 2023, 2'27")



Figura 12. Esquema definitorio de la localización del conmutador y la escobillas. (Mentalidad de Ingeniería, 2023, 8'52")

En un motor de corriente continua de uso industrial las escobillas tienen el aspecto mostrado en la figura 13. El cable eléctrico permitirá llevar la electricidad hasta el bloque de grafito, conductor eléctrico, que a través del resorte le dará la suficiente fuerza como para establecer un contacto eléctrico con el conmutador. En muchas ocasiones el desgaste de estas por abrasión es motivo



Figura 13. Escobillas de un motor de corriente continua de uso industrial. (Zurek, S., 2023)

de fallo, por ello se están desarrollando nuevos motores eléctricos de corriente continua sin escobillas.

Estas escobillas aportarán un flujo de corriente, en función de su posición con el conmutador, a una o dos bobinas simultáneamente. Si consideramos que la corriente entra por el terminal izquierdo, ver figura 14, este aportará corriente a ambos bobinados cerrando el circuito con el terminal derecho. Pero esto será desarrollado más adelante.

En el caso de nuestro motor, mostrado en la figura 2, podremos ver unas **escobillas** mucho más sencillas, realizadas de cobre de manera que transmita la electricidad desde los **terminales** donde se conecta la pila hasta las escobillas, y por ende, al rotor de nuestro motor, ver figura 15.

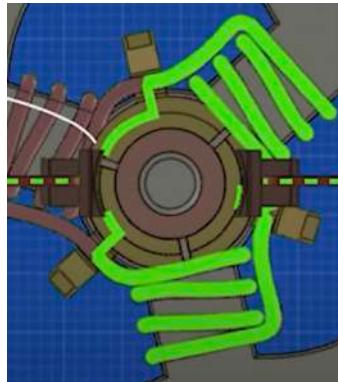


Figura 14. Conexión simultánea de la escobilla de entrada de corriente a dos delgadas.  
(Mentalidad de Ingeniería, 2023, 9m07)

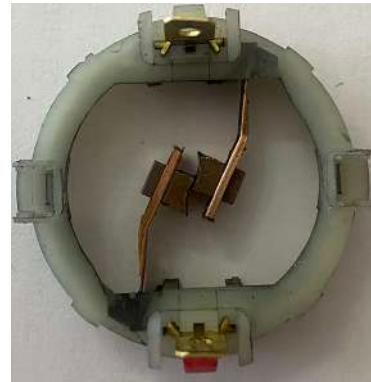


Figura 15. Detalle de las escobillas y terminales

## ESQUEMA MOTOR CORRIENTE CONTINUA:

Existen muchos tipos de motores eléctricos, pero en el caso de aquellos de corriente continua la parte estática será el estator, quien generará el campo magnético, y el rotor la parte móvil quien recibirá la fuerza del campo magnético generado. Esto se define en la figura 16.



Figura 16. Esquema básico de las partes de un motor

## FUNCIONAMIENTO GENERAL DE UN MOTOR CON UNA ESPIRA

Vamos a plantear inicialmente el fundamento físico de un motor a partir de una espira en el interior de un campo magnético.

Haciendo pasar una corriente eléctrica por la espira conductora en el seno de un campo magnético, este campo magnético ejercerá una fuerza en cada uno de los lados de la espira, siendo la fuerza total ejercida igual a cero. Sin embargo, el momento que ejercerá cada una de las fuerzas respecto del eje de rotación se sumarán, como vimos en la actividad uno de la presente situación de aprendizaje, otorgándole a la bobina una rotación horaria, si nos fijamos en la figura 18, en función del campo magnético. Controlando el tiempo y la polaridad podremos controlar el giro del motor. Esto con una bobina tiene poco interés pero a medida que avancemos lo iremos desarrollando sobre bobinados completos.

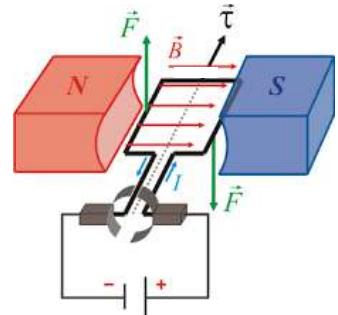


Figura 17. Esquema base de un motor de corriente continua  
(Martín Blas, T.; Serrano Fernandez A., 2023)

Al situar una espira de corriente en el seno del campo magnético utilizaremos la regla de la mano derecha para observar la dirección de las fuerzas ejercidas sobre cada lado de la espira y con ello del torque generado por el par de fuerzas, pudiendo predecir así el sentido de giro del motor.

Como podemos ver al variar la polaridad de la corriente de entrada las fuerzas invierten su sentido, no así su dirección ni magnitud, variando el sentido de giro de la espira. Ver figura 18. Esto ocurriría de igual manera variando la dirección del campo magnético.

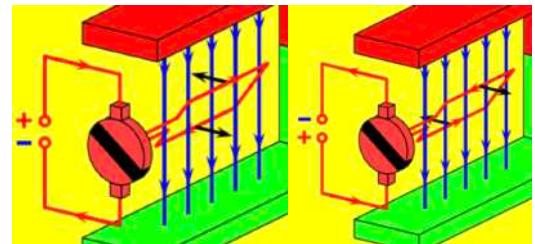


Figura 18. Variación de la polaridad de la fem varía la dirección de las fuerzas y por tanto la dirección del giro de la espira (Fendt, W., 2023)

La magnitud, módulo, de las fuerzas no cambia a causa de la rotación, es decir, la fuerza en todas las posiciones de giro de la espira será la misma como demostramos en la primera actividad de esta situación de aprendizaje.

Esto es debido a la no variación del ángulo entre el campo magnético y la dirección de la corriente eléctrica basandonos en la fórmula de la fuerza ejercida por un campo magnético uniforme sobre una corriente eléctrica,  $\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$ .

Sin embargo, para poder mantener la dirección de las fuerzas en todo el giro completo de la bobina debemos cambiar la polaridad del campo cada  $180^\circ$ , de manera que cada  $180^\circ$  podamos volver a una situación inicial. Esto hará que, sobre un mismo lado, una vez pasada una rotación de  $180^\circ$  se invierta el sentido de la fuerza para mantener la dirección del torque y conseguir una rotación completa. Si estas fuerzas no se invirtieran la espira se encontraría en una situación de estabilidad donde el vector campo magnético sería paralelo al vector superficie del plano que contiene la espira generando la parada del motor. Esta es la función del conmutador.

La función del conmutador se ilustra de forma más clara en las figuras 19, 20 y 21. Concretamente en la figura 19, y teniendo en cuenta que la fuerza representada en el producto vectorial (esquina superior derecha de la imagen) se está aplicando al lado de la espira más cercano al polo sur, podemos ver como sobre la corriente entrante por el terminal rojo se ejerce una fuerza hacia abajo dando lugar a una rotación horaria.

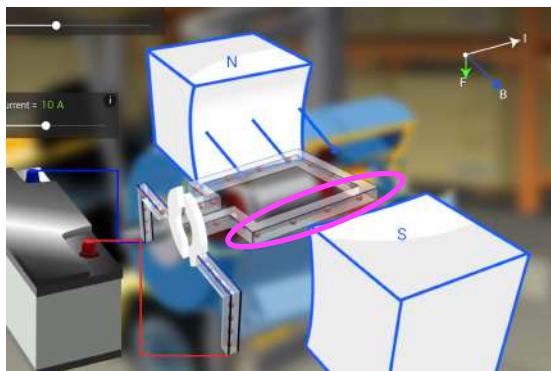


Figura 19. Imagen explicativa de las fases de la interacción entre la bobina y el conmutador (Philbour, B., 2023)

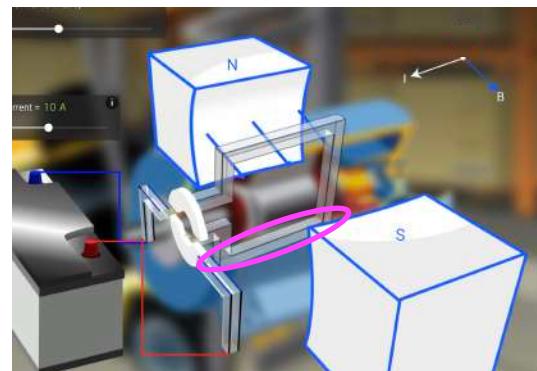


Figura 20. Imagen explicativa de las fases de la interacción entre la bobina y el conmutador (Philbour, B., 2023)

En la siguiente posición del conmutador (figura 20) las escobillas coinciden con las ranuras de aislamiento de las delgas por tanto no transmitirán la electricidad a ninguno de los lados de la bobina. En este momento las fuerzas serán nulas y la bobina seguirá girando por inercia.

En la siguiente posición la bobina habrá girado 180 grados respecto de la posición mostrada en la figura 19. Ahora la corriente entra por el lado contrario, figura 21. Las escobillas se encuentran alineadas de nuevo con los segmentos del conmutador, sin embargo, esta vez la corriente entra por el lado verde de la bobina y sale por el lado magenta, por tanto la fuerza sobre el lado magenta ahora mismo será hacia arriba y seguirán ocasionando que la bobina gire en sentido horario.

Si continuamos rotando sin invertir el sentido de la corriente, y con ello la dirección de las fuerzas, la espira no completaría su rotación.

Sin embargo, aún siendo constante la magnitud de la fuerza durante la rotación, hay muchas variables de construcción del motor que van a ayudarnos a regular la magnitud de esta fuerza así como la velocidad de rotación del motor. La animación ("Animación 2") (Philhour, 2023), de la cual se han extraído las imágenes anteriores, permite la modificación de estas variables observando su variación en el producto vectorial mostrado en la esquina superior derecha. Estas variables atienden la justificación matemática desarrollada tanto en la actividad 1 como en la explicación de la actividad 2.

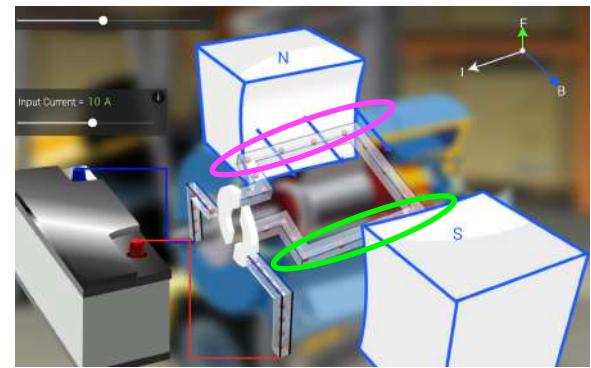


Figura 21. Imagen explicativa de las fases de la interacción entre la bobina y el conmutador (Philbour, B., 2023)

## FUNCIONAMIENTO GENERAL DE UN MOTOR CON VARIOS BOBINADOS

En el apartado anterior hemos estudiado la situación más sencilla sin embargo este tipo de aplicaciones únicamente aportarán un giro más lento. Poco a poco, en el avance de los motores eléctricos, se fueron incluyendo conjuntos de bobinados para obtener varios torques, uno por cada bobina que conforma el rotor, pudiendo eliminar el periodo en el cual la bobina se encuentra sin fuerzas aplicadas y continúa girando por inercia, periodos de pseudoestabilidad.

Tras los apartados anteriores podemos observar como el motor, nombrando únicamente las partes principales, se compone de unos núcleos polares que concentran el campo magnético. Rotando en el centro encontramos el rotor sobre un eje central al cual se le adhiere alrededor

unas bobinas. Por último, conectando las bobinas con la fuente tendremos el commutador y las escobillas.

En base a estas partes vamos a desarrollar el funcionamiento de un motor eléctrico de tres bobinas. Denominaremos 1, 2 y 3 a las bobinas y A, B y C a las placas del commutador. Ver figura 22.

En la primera posición, teniendo en cuenta que la corriente entra por la placa A del commutador, recorrerá las bobinas 1 y 3, ver figura 23, con las que está en contacto la delga correspondiente, y saldrá por las placas contiguas B y C, ambas en contacto con la escobilla que permite que salga la corriente de nuevo a la fuente.

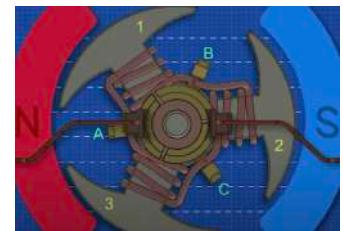


Figura 22. Motor eléctrico CC de tres bobinados. (Mentalidad de Ingeniería, 2023, 12'55")

Si calculamos la fuerza que aplica el campo magnético en cada lado de cada una de las bobinas, puesto que la corriente cambia de sentido en cada lado del devanado, nos encontramos lo representado en la figura 23. Para ello se aplica la regla de la mano izquierda teniendo en cuenta que en el sentido de enrollamiento del bobinado para calcular el sentido de la intensidad.

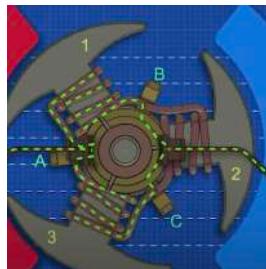


Figura 23. Flujo de corriente en la posición 1. (Mentalidad de Ingeniería, 2023, 12'59")



Figura 23. Esquema de fuerzas aplicadas a cada bobina en la posición 1. (Mentalidad de Ingeniería, 2023, 13'19")

Si observamos  
a plicadas

aportarán un sentido horario a la bobina de manera que la bobina girará y se encontrará por tanto en una nueva posición, posición 2. En esta posición la corriente entra por la placa comutadora A y recorriendo el devanado de la bobina 1 saldrá por la placa B de nuevo a la fuente, ver figura 24. Las fuerzas por tanto en este caso serán aquellas representadas en la figura 25, con una fuerza descendente en el lado derecho y ascendente en el izquierdo volvemos a tener un sentido de giro horario en la bobina 1.

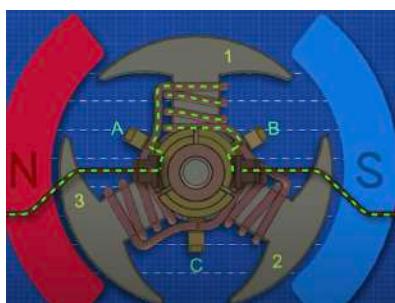


Figura 24. Esquema del flujo de corriente por las bobinas en la posición fija 2. (Mentalidad de Ingeniería, 2023, 13'24")



Figura 25. Esquema de fuerzas aplicadas a cada bobina en la posición 2. (Mentalidad de Ingeniería, 2023, 13'32")

Volvemos a adoptar una tercera posición de giro similar a las anteriores que vuelve a conferir al sistema un giro horario. Vemos lo mismo con la posición cuatro. Ver figura 26.

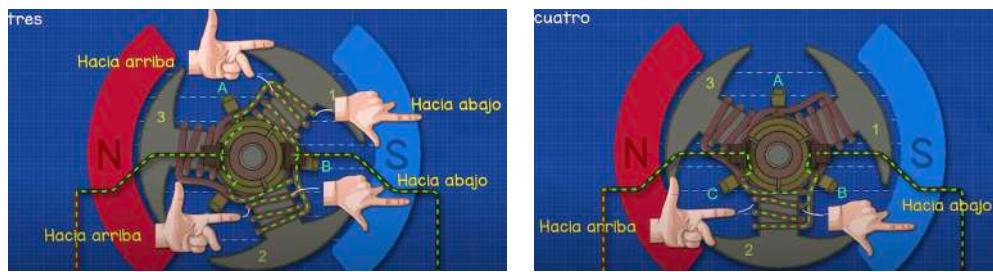


Figura 26. Esquema de fuerzas aplicadas a cada bobina en la posición 3 y 4.  
(Mentalidad de Ingeniería, 2023, 13'37"-12'49")

Posteriormente podremos ver que las posiciones se repiten para cada una de las bobinas, obteniendo en todas un sentido de giro horario, ver figura 27.

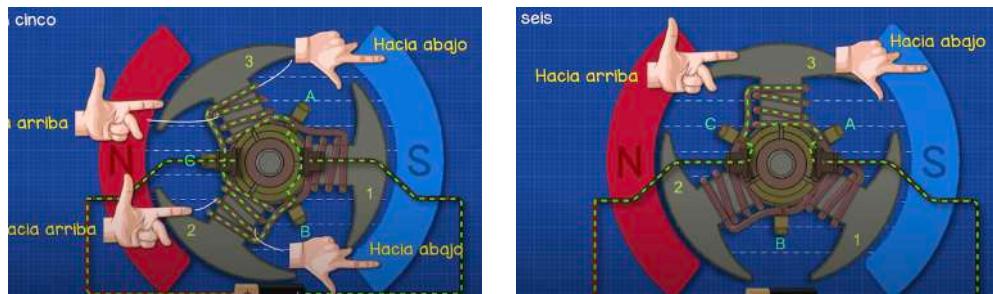


Figura 27. Esquema de fuerzas aplicadas a cada bobina en la posición 5 y 6.  
(Mentalidad de Ingeniería, 2023, 13'50"-14').

**ANEXO H. GUION ALUMNO - ACTIVIDAD 5.****CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO FUNCIONAL****1. DESCRIPCIÓN**

A través de los conceptos desarrollados en las actividades anteriores se propone durante la presente actividad la realización de un motor eléctrico con sus correspondientes partes funcionales. El motor se realizará a través de materiales fácilmente obtenibles y modelables por los alumnos. En el caso aquí expuesto el motor consta de dos bobinados y un conmutador de cuatro delgas conectado a una pila que actúa como fuente de voltaje. Al incorporar varias bobinas el par de fuerzas se irá desplazando en cada momento a una de las bobinas anulando constantemente la situación de estabilidad, momentos de pseudoreposo que pueden existir al utilizar únicamente una bobina, lo que conferirá al motor de un giro constante.

**2. IMAGEN DEL MOTOR ELÉCTRICO CONSTRUIDO**

Figura 1. Maqueta de motor eléctrico

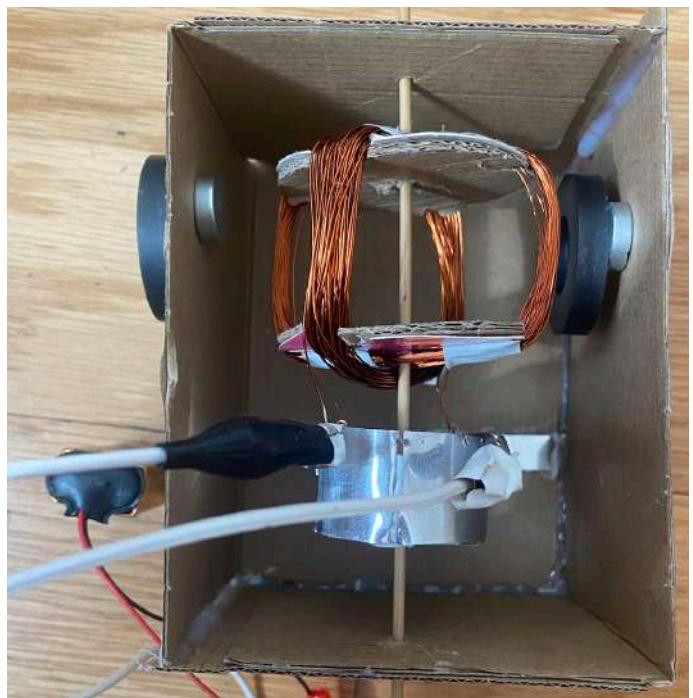


Figura 2. Maqueta del motor eléctrico conectada a la fuente

### 3. MATERIALES

- Cartón, cuanto más grosor más estabilidad obtendremos.
- Varilla de madera.
- Alambre de cobre esmaltado 0,3 mm de diámetro de sección circular.
- Placa de aluminio 0,5 mm de grosor.
- Imanes permanentes.
- Cable de cobre.
- 3 Pilas 9V.
- Porta pilas.
- Pinzas de cocodrilo.
- Cinta aislante.
- Cúter, tijeras, destornillador y martillo.
- Regla.
- Pistola termofusible.
- Polímetro (opcional).

### 4. CONSTRUCCIÓN

#### 4.1. BOBINADO

Comenzamos realizando la estructura móvil del motor, iniciando con el bobinado:

1. Realizamos cuatro círculos de 4,5 cm de diámetro utilizando las láminas de cartón.
2. Con la ayuda de una tijera o cúter realizamos cuatro incisiones simétricas en los círculos que soportarán las dos bobinas. Ver figura 3.
3. Pegamos los círculos dos a dos para que tengan mayor consistencia con ayuda de la pistola termofusible.
4. Realizamos una pequeña incisión en el centro de los círculos de manera que podamos pasar una varilla de madera como eje conductor del movimiento. Ver figura 4.



Figura 3. Discos de cartón



Figura 4. Base del bobinado

5. Dejando en un extremo 6 cm de eje libre, separamos los círculos 3 cm, ver figura 5, aplicamos cola caliente en las juntas con la varilla para fijarlos. Las medidas serán todas orientativas en función de la longitud de la varilla utilizada.
6. Empleando el hilo de cobre de 0,3 mm de diámetro de sección realizamos el primer bobinado aprovechando las incisiones realizadas en los soportes de cartón y dejando libre un poco de alambre en los extremos. Es recomendable fijar la primera vuelta con cinta aislante, ayudará a tensar más fácilmente el resto de las vueltas del bobinado.
7. Realizamos de la misma manera el segundo bobinado sobre las incisiones simétricas a las previas de manera que el vector superficie de los dos bobinados sean perpendiculares uno a otro. Ver figura 6.

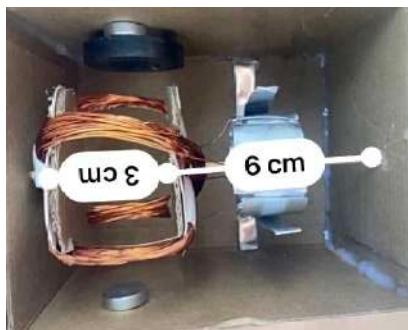


Figura 5. Posición de los discos



Figura 6. Doble bobinado del motor

#### 4.2. CONMUTADOR

Una de las partes más sensibles a la hora de realizar el montaje es el conmutador, pues su estructura determinará la conexión con la fuente de alimentación, para ello seguimos los siguientes pasos:

8. Para la realización del conmutador aprovecharemos bien un elemento de poliespan cilíndrico bien un conjunto de 4 o 5 círculos de 2,5 cm de diámetro de cartón adheridos uno sobre otro conformando una forma cilíndrica.
9. Con unas tijeras cortamos la lámina de aluminio para obtener un segmento rectangular que utilizaremos como material de base del conmutador. La longitud y anchura debe de cubrir todo el cilindro previamente generado, es decir,  $2\pi r$  de longitud y una anchura algo superior a la altura del cilindro, de manera que dejemos un espacio de la lámina de aluminio al aire que nos permita posteriormente realizar la conexión de las delgas a los bobinados.
10. Dividimos, con unas tijeras, esta lámina en cuatro partes iguales conformando las cuatro delgas necesarias para cerrar cada uno de los circuitos generados con las dos bobinas.
11. Limamos tanto los terminales de cada bobinado, así como las láminas de aluminio, para eliminar cualquier tipo de elementos aislantes que no permitieran el paso de corriente.
12. Realizamos con la ayuda de un destornillador y un martillo una incisión en cada una de las delgas en uno de los extremos y pasamos una aguja de gran grosor para darle un diámetro que nos permita pasar al menos tres veces cada alambre.
13. Pegamos cada una de las delgas de aluminio al elemento cilíndrico con ayuda de la cola caliente sin tocarse entre si.

14. Pasamos la pieza completa por el eje de madera y lo fijamos con cola rápida para evitar que se mueva en la rotación del motor teniendo en cuenta que las delgas deben de estar situadas simétricamente de cada lado del bobinado.
15. Conectamos las delgas a cada uno de los extremos de la bobina de la manera que se enseña en la imagen 8. Los alambres deben de estar entrelazados con las delgas pasando el alambre por el agujero con el máximo contacto posible. Recomendamos apretar el hilo contra las delgas con la ayuda de unos alicates para mayor contacto con la placa de aluminio. Ver imagen 7.



Figura 7. Comutador del motor con las conexiones a las bobinas

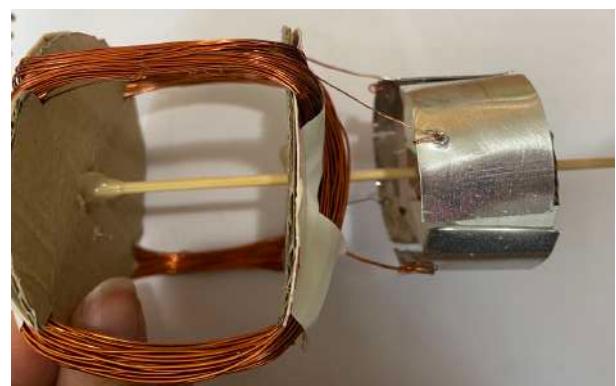


Figura 8. Parte móvil del motor

#### 4.3. ESTRUCTURA EXTERIOR

La estructura exterior es posible realizarla de muchas maneras y materiales, en este caso vamos a explicar aquella que se ha realizado por nuestra parte.

16. Empleando una caja de zapatos realizamos un prisma rectangular sin superficie superior de 13 cm de largo y 10 cm de ancho, ver figura 9 y 10. El objetivo, en caso de realizarlo a partir de otros materiales, es tener el mínimo espacio entre los imanes y el bobinado, el espacio del ‘entrehierro’.
17. Adherimos a través de la cola caliente los imanes de neodimio en los extremos de la estructura paralelos a los bobinados, ver figura 9. Los polos enfrentados se deben atraer, es decir, debe corresponder a un polo norte y un polo sur. Una vez tengamos adherido uno de los imanes con cola sobre la pared podemos añadir más imanes sobre el mismo para aumentar la potencia aprovechando la atracción entre los mismos.
18. Realizamos dos incisiones en el centro de los laterales del prisma rectangular para poder introducir el eje, ver figura 9 y 10. Importante que sean simétricos de manera que el eje del rotor se encuentre alineado sin que la diferencia de peso influya en su rotación.
19. Para las escobillas cortamos dos segmentos rectangulares de la lámina de aluminio de un ancho de 0,5 cm y con una longitud suficiente como para mantener un contacto con el comutador. Las limamos por si llevan algún material aislante.  
Es importante no realizar unas escobillas excesivamente anchas puesto que ejercerán un rozamiento muy alto que frenará el movimiento del motor y no permitirá la rotación.
20. Posicionamos la parte móvil del motor en las incisiones hechas para el eje, visualizamos en qué posición se situará el comutador y marcamos sobre la base de la estructura

externa la posición que deberán tener las escobillas para que realicen un contacto adecuado.

21. Pegamos a la base de la caja las escobillas doblando estrictamente 90°, ver figura 9 y 10, y posteriormente acomodamos de manera que realicen el contacto constante con el conmutador. Esta conexión es la más sensible por lo que no debe de ejercer mucho rozamiento ni ser muy endeble que deje de realizar la conexión.
22. Posicionamos el rotor en la estructura y comprobamos que esté nivelado y que exista el menor rozamiento posible al rotar.

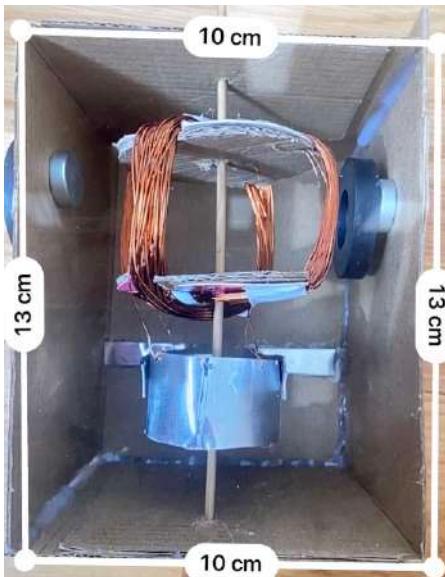


Figura 9. Medidas de la estructura exterior



Figura 10. Estructura exterior sin el conmutador.

#### 4.4. CONEXIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Una vez tengamos la estructura montada únicamente nos falta realizar la conexión. Para ello realizamos los siguientes pasos:

23. Cortamos dos trozos de cable de cobre con una longitud que nos permita tener flexibilidad a la hora de conectar el motor y pelamos los extremos con la ayuda de un cíter.
24. Pelamos los extremos del portapilas y los empalmamos uno a uno de los extremos de los cables de cobre. Para realizar los empalmes simplemente anudamos los extremos pelados de los cables entre sí y rodeamos con cinta aislante alrededor.
25. Los otros dos extremos del cable de cobre los empalmamos a las pinzas de cocodrilo.
26. Para poder hacer la conexión unimos cada pinza de cocodrilo a los extremos de las escobillas de la manera mostrada en la imagen 11 y 12 y la pila la conectamos al portapilas para comenzar a aportar energía al motor.
27. Si el motor no ha comenzado a girar, lo cual es lo más habitual, comenzad a darle cierto impulso en sentido horario y antihorario puesto que su rotación dependerá, además del sentido de la intensidad, del sentido del campo magnético y eso no lo podemos saber hasta que no experimentemos la rotación del motor.

NOTA: De manera general es posible que no funcione, comprobad con el polímetro, ver imagen 13, si las conexiones están bien realizadas.



Figura 11. Conexión del motor a la fuente a través de las pinzas de cocodrilo conectadas a las escobillas



Figura 12. Evidencia de la conexión a la fuente de diferencia de potencial.



Figura 13. Polímetro básico

Si tenéis la función de continuidad el polímetro pitará si identifica un circuito cerrado, es decir, las conexiones están bien realizadas y la intensidad puede circular sin problema. En caso de no tener función de continuidad, simplemente colocad la escala sobre una fuente de voltaje de corriente continua que pueda medir entre 0 y 10 voltios y conectad la pila, si el circuito está cerrado existirá una diferencia de potencial entre los distintos puntos entre los que estéis posicionando los terminales del polímetro. Los principales puntos que deberéis comprobar, y por tanto donde se deberán posicionar los terminales del polímetro, serán:

- Las dos delgas del conmutador que aportarán la intensidad a los bobinados, el voltaje no será 9 voltios pero si debería de estar entre 6 y 7 voltios.
- Los terminales de los bobinados, se deben encontrar limados sin aislante exterior, de manera que el conmutador esté aportando correctamente intensidad al bobinado. El voltaje no serán los 6 o 7 voltios que llegan al conmutador pero al menos deberían ser entre 1,2 y 1,5 voltios, cuanto más alto mejor pero inferior a un voltio quizás no aportará la fuerza suficiente como para mover la parte móvil y habrá que revisar las conexiones.
- Los terminales de la pila, de manera que podamos comprobar que la pila no se ha agotado, si el voltaje baja mucho de los 9 voltios quizás no se ha gastado completamente pero no nos aporta un voltaje suficiente como para hacer mover el motor.

Realizad varias pruebas con el conmutador en diferentes posiciones, en caso de existir un voltaje excesivamente bajo en cualquiera de estas posiciones revisar las conexiones realizadas puesto que en algunas posiciones deja de existir el par motor y por tanto se detiene la rotación.

## **ANEXO I. INFORME ALUMNO - ACTIVIDAD 5.**

# **CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO FUNCIONAL**

### **1. INTRODUCCIÓN**

Descripción de la realización de un motor eléctrico con doble bobinado en el rotor. La actividad consiste en generar un motor a través de la conexión a una fuente de voltaje. En el informe se describe su funcionamiento incorporando las fuerzas ejercidas en cada posición durante su movimiento.

### **2. IMAGEN DEL MOTOR ELÉCTRICO CONSTRUIDO**



Figura 1. Maqueta de motor eléctrico

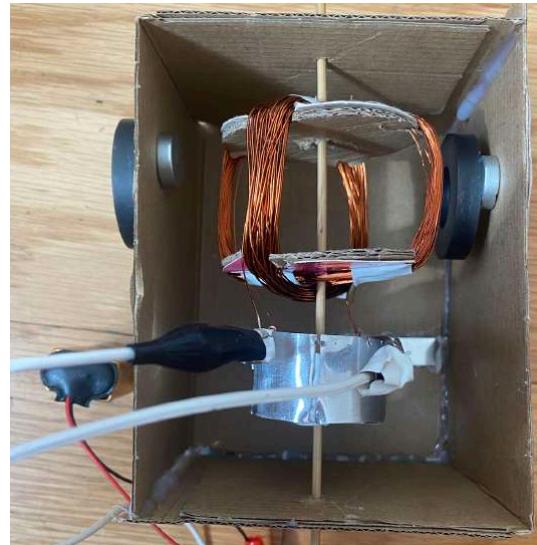


Figura 2. Maqueta del motor eléctrico conectada a la fuente

### **3. FUNCIONAMIENTO**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL**

El motor mostrado funciona de manera similar a lo explicado en las actividades previas. En las imágenes 1 y 2, podemos observar la estructura del motor identificando cada una de las partes que otorgarán un funcionamiento al motor. Si volvemos a la teoría dada en la actividad anterior tenemos el siguiente esquema de funcionamiento.

1. Utilizamos la pila de 9V como fuente de voltaje que suministrará intensidad al circuito
2. Por medio de las conexiones realizadas desde la fuente hasta las pinzas de cocodrilo colocadas sobre las láminas de aluminio haremos llegar la intensidad a través del cable de cobre desde la pila hasta los bobinados.
3. Las dos láminas de aluminio que se encuentran en contacto con el commutador hacen función de escobillas, permitiendo el paso de la corriente hasta el commutador y por ende al bobinado.

4. Cada lámina del conmutador es una delga individual en contacto directo con una de las bobinas a través del enhebrado realizado en el montaje. Esta separación entre ellas nos permitirá ir alternando la entrada de intensidad a cada uno de los cuatro lados de la bobina y con ello mantener constante el torque del conjunto.
5. Al introducir la intensidad en una de las bobinas (bobina A) se ejercerá una fuerza electromagnética de módulo  $F = ILB \sin \phi$ , siendo  $I$  la intensidad,  $B$  la magnitud del campo de inducción magnética,  $L$ , en este caso de aplicación, la longitud de cada lado de la bobina A correspondiente y  $\phi$  el ángulo formado por los vectores de  $\vec{B}$  y  $\vec{L}$ .
6. Asumiendo que la dirección del vector campo  $\vec{B}$  será en el eje X, considerando la base ortonormal XYZ representada en la figura 3, y la dirección de la intensidad siempre será en el eje Z sin importar el movimiento del bobinado, la dirección de esta fuerza será perpendicular a ambos vectores y por tanto se aplicará en la dirección del eje Y (perpendicular al plano del papel).
7. En función del sentido de la corriente, así como de la orientación de los imanes, la dirección de ambos vectores fuerza aplicados sobre los lados de la bobina serán vertical y hacia arriba o vertical y hacia abajo, dando un giro horario o antihorario al rotor gracias al momento que ejercen sobre el eje del motor.
8. Si consideramos la bobina que en un instante determinado tiene corriente eléctrica circulando por ella y por tanto un par de fuerzas ejerciendo una rotación, bobina A, una vez el vector normal del plano que contiene la bobina sea paralelo al vector campo magnético la bobina se encontrará en una situación de pseudoestabilidad. Sin embargo el conmutador también ha rotado con el bobinado y las delgas de la bobina inspeccionada A ya no se encuentran en contacto con las escobillas, las cuales han pasado a transmitir la intensidad a la bobina contraria, bobina B.
9. Esta bobina no está en una situación de equilibrio sino que se encuentra en la situación inicial en la que se encontraba A, por tanto reproducirá sus movimiento de manera que el rotor se encontrará en una rotación constante hasta que se retire la fuente de alimentación.

## 3.2. DESCRIPCIÓN POR ETAPAS

### 3.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN GENERAL:

Al realizar las pruebas con el motor el sentido de giro observado fue en sentido horario. Dado que la corriente  $I$  entra por el lado derecho al circuito, obtenemos que el campo de inducción magnética  $\vec{B}$  tiene la dirección del eje de las X en sentido positivo según el sistema de referencia de la figura 3. Por tanto la fuerza magnética resultante,  $\vec{F}$ , ejercida sobre ambos lados de cada bobina, entra al plano en el lado derecho y sale del plano en el lado izquierdo de la figura 3.

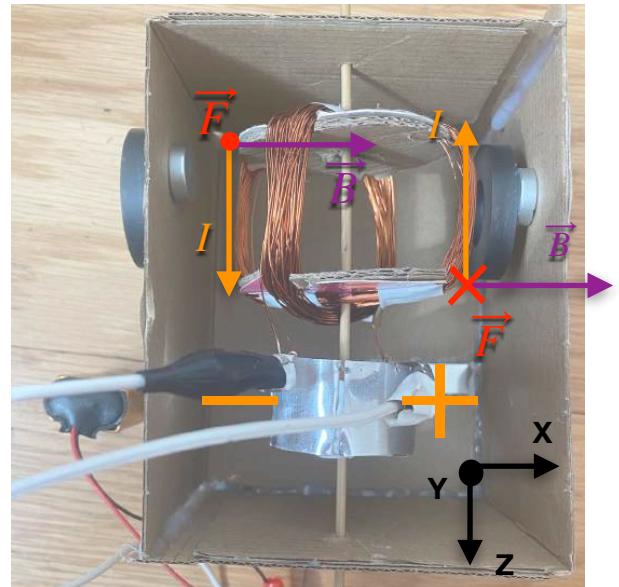


Figura 3. Esquema de fuerzas inicial

### 3.2.2. SITUACIÓN 1:

Cambiamos el plano de visualización y mostramos ahora la bobina bajo un plano XY de manera que nos permita ver más fácilmente la variación de las fuerzas ejercidas. Marcamos una bobina de referencia que denominaremos bobinado A, que se visualiza en la figura 4.

Consideramos una situación inicial en la cual el conmutador permite el paso de corriente a la bobina A, ver figura 5.

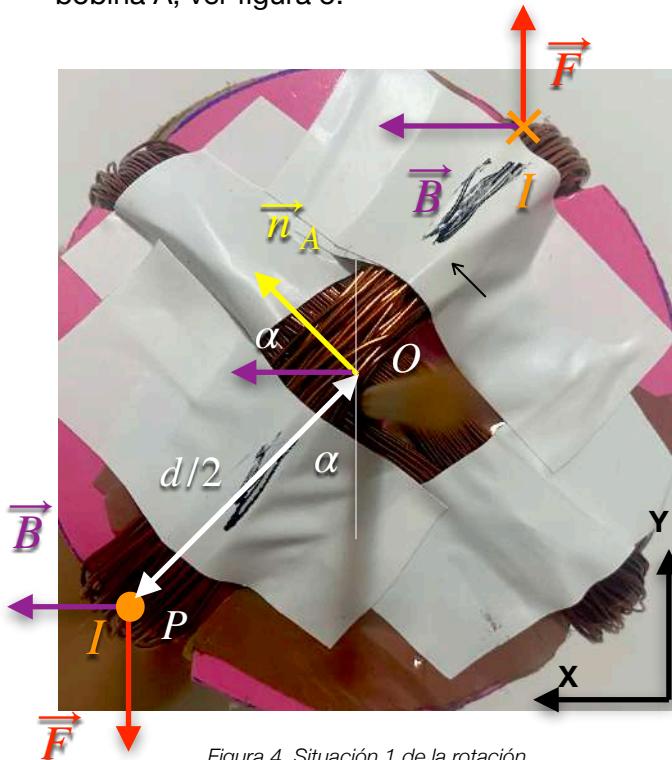


Figura 4. Situación 1 de la rotación



Figura 5. Posición conmutador en la situación 1

Con un campo de inducción magnética  $\vec{B}$  en el sentido positivo del eje de las X y teniendo en cuenta la dirección de la corriente, determinamos la dirección y sentido de las fuerzas aplicando la regla de la mano derecha, ver figura 4. La magnitud de estas ha sido previamente dada en la descripción general,  $F = ILB \sin \phi$ . Como los vectores  $\vec{B}$  y  $\vec{L}$  forman un ángulo de  $90^\circ$  lo simplificaremos a  $F = ILB$ .

Cada una de las fuerzas generará un momento respecto del eje central de la bobina,  $\vec{\tau} = \vec{F} \times \overrightarrow{PO}$ , siendo  $\vec{F}$  el vector fuerza y  $\overrightarrow{PO}$  el vector desde P, punto de aplicación de la fuerza, hasta O, punto de aplicación del momento, en este caso el eje del bobinado.

El módulo de cada momento será  $\tau_{F_i} = F_i \frac{d}{2} \sin \alpha$ , siendo  $\alpha$  el ángulo formado por ambos

vectores y  $d$  el diámetro de la bobina, como se muestra en la figura 4. Aplicando la regla de la mano derecha podemos observar que ambos momentos se suman, resultando un momento final de módulo  $\tau = Fd \sin \alpha$  que da lugar a una rotación horaria del motor hasta la situación de estabilidad donde el seno del ángulo  $\alpha$  valga 0 y anule el momento.

Por geometría, el ángulo que forman  $\vec{F}$  y  $\overrightarrow{PO}$  es el mismo que forman el vector normal al plano que contiene a la bobina A,  $\vec{n}_A$ , y el vector campo magnético  $\vec{B}$ . Por tanto la rotación aportada por el momento impulsará al vector normal  $\vec{n}_A$  a alinearse con el vector campo magnético  $\vec{B}$  para eliminar el momento generado.

### 3.2.3. SITUACIÓN 2:

Evaluamos la bobina A en la situación dos, donde el vector normal  $\vec{n}_A$  y el vector campo magnético  $\vec{B}$  se encuentran alineados y el momento del par de fuerzas es nulo, ver figura 6.

Sin embargo, aludiendo a la posición del commutador durante la rotación, la conexión se ha comenzado a realizar sobre la bobina B y en la posición aquí inspeccionada no existe corriente circulando por la bobina A.

**Bobina A**

Esto implica que la rotación nunca se para puesto que el momento ejercido al motor se va alterando durante la rotación del eje, y por tanto del commutador que realiza el contacto con las escobillas y por ende con la fuente de alimentación.

Esta situación vuelve a darse hasta que el bobinado B se encuentre en la posición que se encuentra ahora el bobinado A, situación de equilibrio instantánea para el bobinado B.

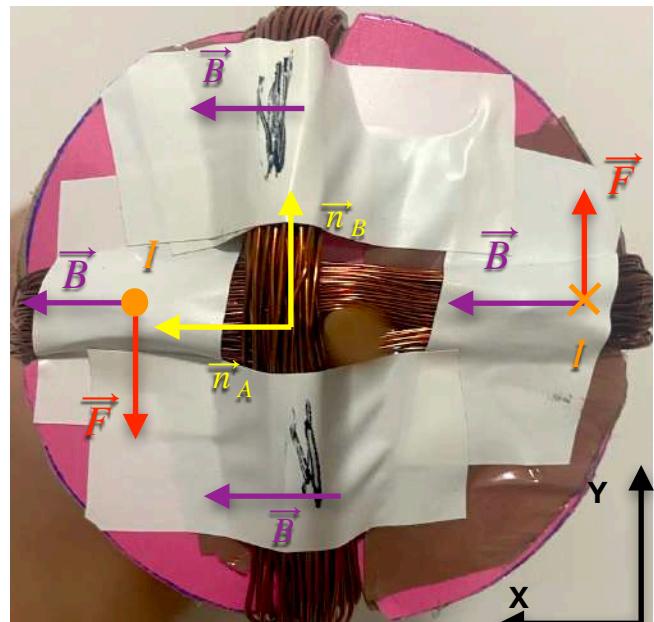


Figura 6. Situación 2 de la rotación, vector  $\vec{n}_A$  y  $\vec{B}$  alineados, vector  $\vec{n}_B$  y  $\vec{B}$  formando un ángulo  $\alpha$ .

### **3.2.4. SITUACIÓN 3 Y 4:**

Posteriormente volvemos a obtener una situación análoga a la situación inicial sin embargo el lado del bobinado A por el cual se ha introducido la intensidad es el inverso de antes. Esto permite que el momento sobre el bobinado siga aplicando un giro horario al motor. Pasará lo mismo en la situación 4 con el bobinado B, de esta manera estaremos constantemente repitiendo las mismas posiciones durante la rotación hasta que desconectemos la fuente de alimentación.