



Universidad de Valladolid

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

Trabajo Fin de Máster

**DISEÑO Y PREPARACIÓN DE PRÁCTICAS DE
LABORATORIO SOBRE INDUCCIÓN
ELECTROMAGNÉTICA PARA LA
ASIGNATURA DE FÍSICA 2º DE
BACHILLERATO.**

Autor: Jorge Cuéllar San Felipe

Tutores: Marco Antonio Gigosos, José María Muñoz y Carlos Torres

Curso 2021/2022

Índice

Resumen	4
Abstract	4
Introducción	5
Contextualización.....	6
Finalidad.....	9
Guion de material: Osciloscopio	16
Introducción teórica.....	16
Funcionamiento	18
Guion de material: Generador de funciones.....	25
Introducción teórica.....	25
Funcionamiento	25
Guiones de laboratorio	27
Fundamento teórico	27
Materiales	29
Montaje.....	29
Práctica 1: Estudio de la dependencia de la fuerza electromotriz inducida con la intensidad aplicada.....	31
Objetivos	31
Procedimiento experimental	31
Práctica 2: Estudio de la dependencia de la fuerza electromotriz inducida con la sección del solenoide.....	33
Objetivos.....	33
Procedimiento experimental	33
Práctica 3: Estudio de la dependencia de la fuerza electromotriz inducida con el número de vueltas de un solenoide.....	35
Objetivos.....	35
Procedimiento experimental	35

Práctica 4: Estudio de la dependencia de la fuerza electromotriz inducida con la frecuencia de la corriente aplicada.	37
Objetivos.....	37
Procedimiento experimental	37
Práctica 5: Estudio de la forma de la onda de la corriente inducida.....	39
Objetivos.....	39
Procedimiento experimental	39
Guía del docente.....	40
Preparación de los materiales	40
Posibles problemas	46
Resultados esperables	47
Resultados para la práctica 1.....	47
Resultados para la práctica 2.....	51
Resultados para la práctica 3.....	53
Resultados para la práctica 4.....	56
Resultados para la práctica 5.....	59
Bibliografía.....	60

Resumen

En este trabajo se presentan una serie de prácticas de laboratorio sobre la inducción electromagnética para complementar los contenidos impartidos en la asignatura de Física de segundo de bachillerato. Las actividades en el laboratorio durante la asignatura de Física de segundo de bachillerato pueden suponer un problema debido a la falta de tiempo y de material necesario para realizar actividades interesantes, motivadoras y que aporten al desarrollo de la asignatura. Por todo esto se han desarrollado una serie de actividades novedosas, que requieren poco material y que son rápidas de realizar, de forma que las prácticas de laboratorio puedan ser un parte central de la asignatura, que permita alcanzar otros objetivos generales de bachillerato a la vez que se trabajan los contenidos propios de la asignatura de Física. Esta serie de actividades contienen 5 prácticas de laboratorio, todas con el mismo montaje y fundamento teórico, pero con un desarrollo experimental propio. En este trabajo también se incluye una guía al docente con el montaje de los materiales, los posibles errores que se pueden encontrar al realizar las prácticas y los resultados esperables.

Palabras clave: prácticas de laboratorio, inducción electromagnética, solenoide.

Abstract

In this work a set of laboratory practices about electromagnetic induction focused in complementing the contents of the subject of Physics in the second course of bachillerato is presented. The laboratory activities during the subject of Physics in the second course of bachillerato may be a problem due to the lack of time and material to prepare interesting, motivating, and productive activities. Because of that, a set of new, fast, and easy activities have been designed, so that laboratory practices could be an essential part of the subject and a way of achieving the general goals of bachillerato meanwhile the contents of the subject of Physics are being treated. This set of activities contain 5 laboratory practices, all of them with the same assembly and theoretical basis, but with its own experimental development. In this work a guide for the teacher is included with the assembly of the needed materials, the possible mistakes, and the expected results.

Key words: laboratory practices, electromagnetic induction, solenoid.

Introducción

En este Trabajo Fin de Máster se van a diseñar y presentar varias prácticas de laboratorio relacionadas con la inducción electromagnética y pensadas para ser realizadas en la asignatura de Física que se cursa en 2º de Bachillerato. Antes de comenzar con el desarrollo completo de las prácticas se hará una pequeña contextualización del marco legislativo actual en España, estudiando que contenidos y competencias se pueden trabajar con las prácticas diseñadas. Posteriormente se presentará el material diseñado para la realización de las prácticas. Este consta de una guía de uso del osciloscopio y del generador de funciones que se usará y de los guiones de laboratorio desarrollados, siendo cada uno de estos totalmente independiente. Por último, se incluye una guía al docente que quiera realizar estas prácticas de laboratorio, detallando el montaje del material necesario, los posibles errores que se pueden encontrar y los resultados esperables en la realización de la práctica.

Contextualización

Estas prácticas de laboratorio están diseñadas para ser realizadas e implantadas de acuerdo con el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato y con la ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. Esta es la normativa que está en vigor a fecha de redacción de este Trabajo Fin de Máster y es con la que se ha trabajado en todas las asignaturas de este Máster.

Dentro de esta legislación educativa, las prácticas de laboratorio que se desarrollarán han sido pensadas para ser realizadas en la asignatura de Física, materia de opción del bloque de asignaturas troncales de la modalidad de Ciencias en el segundo curso de bachillerato. Intentar plantear las experiencias de laboratorio aquí propuestas en otra asignatura o en la asignatura de Física y Química que se desarrolla durante la educación secundaria obligatoria y el primer curso de bachillerato sería impensable, ya que los alumnos no tendrían los conocimientos mínimos científicos y matemáticos para la correcta comprensión de los fenómenos que se producen en el laboratorio. Aun así, la finalidad de este Trabajo de Fin de Máster es ofrecer los materiales para la realización de las prácticas, por lo que la realización de las prácticas en uno u otro curso queda bajo la libertad académica de cada docente.

Dentro de la asignatura de Física del segundo curso de bachillerato, los contenidos que se trabajarán con las experiencias de laboratorio desarrolladas son los correspondientes al bloque I “La actividad científica” y el bloque III “Interacción electromagnética”. El bloque I se trabajará de manera transversal durante toda la asignatura, pero al estar relacionado muy estrechamente con el trabajo en el laboratorio, estas prácticas suponen una gran oportunidad para tratarlo más en profundidad y afianzar algunos contenidos de este bloque. Por otra parte, el bloque III es mucho más amplio, ya que en él se trata el campo eléctrico, el campo magnético y la inducción electromagnética. Las prácticas de laboratorio diseñadas están planteadas para trabajar principalmente la inducción electromagnética y, de manera menos extensa, el campo magnético. Para visualizar mejor los contenidos que se trabajarán se incluye a continuación una tabla donde se aúnan los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables a los que se les dará más importancia durante las prácticas de laboratorio desarrolladas. Estos datos están extraídos de la ORDEN EDU/363/2015 del Boletín Oficial de Castilla y León.

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque I: La actividad científica		
<p>-Estrategias propias de la actividad científica: etapas fundamentales en la investigación científica.</p> <p>-Magnitudes físicas y análisis dimensional.</p> <p>-El proceso de medida. Características de los instrumentos de medida adecuados.</p> <p>-Incertidumbre y error en las mediciones: Exactitud y precisión. Uso correcto de cifras significativas. La consistencia de los resultados.</p> <p>-Incertidumbres de los resultados. Propagación de las incertidumbres.</p> <p>-Representación gráfica de datos experimentales. Línea de ajuste de una representación gráfica. Calidad del ajuste.</p>	<p>1. Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica.</p> <p>2. Conocer, utilizar y aplicar las Tecnologías de la Información y la Comunicación en el estudio de los fenómenos físicos</p>	<p>1.1. Aplica habilidades necesarias para la investigación científica, planteando preguntas, identificando y analizando problemas, emitiendo hipótesis fundamentadas, recogiendo datos, analizando tendencias a partir de modelos, diseñando y proponiendo estrategias de actuación.</p> <p>1.2. Efectúa el análisis dimensional de las ecuaciones que relacionan las diferentes magnitudes en un proceso físico</p> <p>1.3. Resuelve ejercicios en los que la información debe deducirse a partir de los datos proporcionados y de las ecuaciones que rigen el fenómeno y contextualiza los resultados.</p> <p>1.4. Elabora e interpreta representaciones gráficas de dos y tres variables a partir de datos experimentales y las relaciona con las ecuaciones matemáticas que representan las leyes y los principios físicos subyacentes.</p> <p>2.2. Analiza la validez de los resultados obtenidos y elabora un informe final haciendo uso de las TIC comunicando tanto el proceso como las conclusiones obtenidas.</p>
Bloque III: Interacción electromagnética		
<p>-Inducción electromagnética.</p> <p>-Flujo magnético.</p> <p>-Leyes de Faraday-Henry y Lenz. Fuerza electromotriz.</p>	<p>12. Describir el campo magnético originado por una corriente rectilínea, por una espira de corriente o por un solenoide en un punto determinado.</p> <p>16. Relacionar las variaciones del flujo magnético con la creación de corrientes eléctricas</p>	<p>12.2. Caracteriza el campo magnético creado por una espira y por un conjunto de espiras.</p> <p>16.1. Establece el flujo magnético que atraviesa una espira que se encuentra en el seno de un campo magnético y lo expresa en unidades del Sistema Internacional.</p>

	y determinar el sentido de las mismas.	<p>16.2. Calcula la fuerza electromotriz inducida en un circuito y estima la dirección de la corriente eléctrica aplicando las leyes de Faraday y Lenz.</p> <p>17.1. Emplea aplicaciones virtuales interactivas para reproducir las experiencias de Faraday y Henry y deduce experimentalmente las leyes de Faraday y Lenz.</p>
--	--	---

Tabla 1: Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizajes evaluables trabajados en las prácticas diseñadas (Junta de Castilla y León, 2015).

Finalidad

La finalidad de este Trabajo Fin de Máster es ofrecer al docente de la asignatura de Física de 2º de bachillerato una serie de prácticas de laboratorio, que puedan ser realizadas fácilmente y con escaso y accesible material, para trabajar los conceptos del campo magnético y la inducción electromagnética. Principalmente se estudiará el campo magnético creado por un solenoide por el que circula una corriente eléctrica y la inducción electromagnética que sufre otro solenoide dentro del primero.

Además, los materiales desarrollados también permiten trabajar los contenidos relacionados con la actividad científica.

Por otro lado, con las guías y los guiones de laboratorio desarrollados en este Trabajo se pretende incentivar a los docentes a adoptar una metodología más activa a la hora de impartir la asignatura de Física de 2º de bachillerato. Para ello, se añade a continuación una breve exposición de los beneficios que este tipo de actividades pueden reportar sobre el alumnado, detallando que clase de actividad se propone, los contenidos que se pueden trabajar, los objetivos que se pueden alcanzar con estas prácticas y los puntos a favor que supone el planteamiento de las prácticas tal y como se ha hecho.

Según la clasificación de los trabajos prácticos realizada por (Caamaño, 2011), los ejercicios que se plantean son ejercicios prácticos para ilustrar la teoría. Estos ejercicios se centran en la determinación y comprobación de leyes y propiedades de manera experimental, de modo que se demuestren los conceptos teóricos tratados con anterioridad. También se podría dar a estas actividades un enfoque basado en el aprendizaje de procedimientos y destrezas, ya que aprender a manejar el osciloscopio y a montar un circuito eléctrico es una parte central y necesaria de los ejercicios propuestos. Aun así, el objetivo principal de las actividades propuestas es complementar las explicaciones teóricas.

En determinadas circunstancias, los ejercicios prácticos planteados podrían transformarse en investigaciones para resolver problemas teóricos. Para poder realizar este cambio es necesario que el grupo de alumnos con el que se trabaja comprenda el funcionamiento de un osciloscopio y tenga cierta soltura manejándolo. Lo mismo sucederá con el generador de funciones. Además, también deben saber montar un circuito eléctrico sencillo.

Una etapa intermedia entre las investigaciones y los ejercicios prácticos sería aplicar a estos últimos un esquema de predicción-observación-interpretación (POE), pidiendo a los alumnos

que hagan predicciones de los resultados que pueden encontrar antes de tomar las medidas. Tras el análisis de los datos obtenidos experimentalmente los alumnos deberán comprobar la veracidad de su hipótesis. (Anta & Sancho, 2011)

Estas definiciones, aunque necesarias para comprender el tipo de actividades que se pretenden llevar a cabo, no dan razones para la utilización de una metodología más activa en la asignatura de Física.

El primer argumento de peso a favor de la utilización de las actividades prácticas durante la asignatura de Física de 2º de Bachillerato se puede encontrar en el Real Decreto 1105/2014 del BOE y en la ORDEN EDU/363/2015 del BOCyL. Como se ha dicho anteriormente, esta es la legislación que rige el currículo y el desarrollo del bachillerato a nivel estatal y en la Comunidad de Castilla y León.

Dentro del Anexo I.A de la ORDEN EDU/363/2015 se exponen los principios metodológicos de la etapa de bachillerato, destacando la enseñanza por competencias. Uno de los elementos principales de esta enseñanza es *despertar y mantener la motivación del alumnado, lo que implica un planteamiento del papel del alumno, activo y autónomo, consciente de ser el responsable de su aprendizaje*. Las experiencias de laboratorio permiten al alumnado adquirir ese papel más activo y autónomo en su aprendizaje, pasando a ser la pieza central de este, ya que realiza la mayor parte del experimento de forma independiente, aunque se trabaje en grupos la mayoría de las veces.

El trabajo en grupo también es una parte vital de la metodología utilizada en bachillerato. Esto se debe a que *constituye un recurso de primer nivel para la adquisición de ciertos aprendizajes, además de incidir de manera natural en los factores de clave motivacional y de ajuste emocional*. Además, el aprendizaje cooperativo permite que, *a través de la resolución conjunta de las tareas, los miembros del grupo compartan y construyan el conocimiento mediante el intercambio de ideas*. Debido, en algunos casos, a la falta de material en muchos centros de educación secundaria y, en otros casos, a la complejidad de los aparatos usados y de la toma de medidas, el trabajo en el laboratorio siempre se ha considerado y se ha planificado como un trabajo grupal. Por lo tanto, el trabajo en el laboratorio puede constituir una pieza fundamental en la adquisición y el fomento de valores sociales y cívicos y en la mejora de la motivación del alumnado.

Para fomentar el interés se propone el uso de metodologías activas, impulsando las actividades que constituyan un desafío, de forma que el alumno pueda *movilizar su potencial cognitivo*,

incrementar su autonomía, su autoconcepto académico y la consideración positiva frente al esfuerzo. Asimismo, las actividades que forman parte de estas metodologías activas, como puedan ser los ejercicios prácticos para ilustrar la teoría y las investigaciones para resolver problemas teóricos, favorecen tanto la participación activa y el desarrollo de competencias, como la búsqueda de información, la planificación previa, la elaboración de hipótesis, la tarea investigadora y la experimentación, la capacidad de síntesis para transmitir conclusiones, etc.

Para concluir, se puede observar como el trabajo en el laboratorio, bien planteado como ejercicio práctico o bien planteado como investigación teórica, permite seguir sin problemas muchos de los principios metodológicos incluidos en la ORDEN EDU/363/2015.

Se pasará ahora a estudiar el texto del Real Decreto 1105/2014, específicamente el artículo 25, en el que se exponen los objetivos de la etapa de bachillerato. Se puede analizar como las actividades llevadas a cabo en el laboratorio son idóneas para profundizar en varios objetivos. A continuación, se enumeran los que se consideran más relevantes y con una mayor relación con el trabajo en el laboratorio:

b) Consolidar una madurez personal y social que les permita actuar de forma responsable y autónoma y desarrollar su espíritu crítico. Prever y resolver pacíficamente los conflictos personales, familiares y sociales.

d) Afianzar los hábitos de lectura, estudio y disciplina, como condiciones necesarias para el eficaz aprovechamiento del aprendizaje, y como medio de desarrollo personal.

g) Utilizar con solvencia y responsabilidad las tecnologías de la información y la comunicación.

i) Acceder a los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales y dominar las habilidades básicas propias de la modalidad elegida.

j) 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.

k) Afianzar el espíritu emprendedor con actitudes de creatividad, flexibilidad, iniciativa, trabajo en equipo, confianza en uno mismo y sentido crítico.

Los objetivos b) y k) están relacionados con el trabajo en equipo, algo que como ya se ha expuesto anteriormente es intrínseco a las actividades prácticas en el laboratorio, y con el espíritu crítico. La formulación de hipótesis, la resolución de problemas propia del trabajo experimental, el análisis de los resultados obtenidos y la extracción de conclusiones son partes fundamentales del trabajo en el laboratorio y herramientas muy útiles en el desarrollo del espíritu crítico.

Los objetivos i) y j) se relacionan de manera directa con la actividad científica que se trabaja principalmente mediante actividades prácticas en el laboratorio. Algo más alejado de la experimentación está la valoración de la importancia de los avances científicos en la vida moderna, pero considerando que una parte primordial de las actividades prácticas en el laboratorio es que los alumnos comprendan las aplicaciones de los fenómenos que están visualizando, la relación con los avances científicos y la influencia de estos en la calidad de vida es fácilmente extrapolable.

El objetivo g) se podrá trabajar directamente en el laboratorio mediante el uso de los aparatos y del material necesario o a través del informe de laboratorio que redactarán los alumnos tras la realización de las prácticas, incentivando la búsqueda y el filtrado de información en páginas webs y redes sociales.

Por último, el objetivo d) está claramente relacionado con la metodología que se utiliza en el trabajo de laboratorio, ya que este requiere unos niveles de disciplina y estudio difícilmente obtenibles mediante otros tipos de actividades. Principalmente lo relacionado con la disciplina, ya que el control de las variables, la toma de medidas y el análisis de los resultados requiere un especial cuidado y dedicación.

Pasando ahora a estudiar de forma más concreta la definición que se hace en los documentos anteriormente citados de la asignatura de Física, se puede observar cómo se apuesta claramente por una metodología activa a la hora de impartir la asignatura, dándole una gran importancia al apartado experimental.

En el Real Decreto 1105/2014 se estipula que la asignatura de Física *debe dotar al alumno de nuevas aptitudes que lo capaciten para su siguiente etapa de formación, con independencia de la relación que esta pueda tener con la Física*. Para esto, se utiliza principalmente el primer bloque de la asignatura, dedicado a la actividad científica. Aunque este tema se ha venido tratando a lo largo de toda la educación secundaria, en esta asignatura se pretende *eleva el grado de exigencia en el uso de determinadas herramientas como son los gráficos y la*

complejidad de la actividad realizada. Todo lo anterior se puede conseguir mediante actividades realizadas en el aula, pero la realización de estas mismas actividades en el laboratorio aumentará la motivación del alumnado y generará un interés mayor en la actividad científica.

En la ORDEN EDU/363/2015 al hablar de la asignatura se trata con profundidad el bloque “La actividad científica”, definiéndolo como un bloque transversal cuyos contenidos se trabajarán en todos los bloques de la asignatura. Los conceptos que se trabajarán en este bloque serán los expuestos en la tabla 1, relacionándolos con los contenidos del bloque “Interacción electromagnética”. Además, se propone aunar una metodología clásica, impartiendo la asignatura a través de explicaciones teóricas y ejercicios, y una metodología más activa, con actividades en las que el alumno sea el protagonista del proceso de aprendizaje. En esta metodología activa se pueden incluir las prácticas de laboratorio para complementar las explicaciones teóricas y adquirir herramientas útiles en otras materias y aspectos de su vida.

Por último, se analizará la nueva ley educativa, conocida como LOMLOE, a través del Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato. Aunque la legislación no está completa, ya que las comunidades autónomas no han redactado sus currículos, merece la pena destacar como en la nueva ley, que entrará en vigor en el curso 2022/2023, se mantiene la importancia del carácter experimental de la asignatura de Física de 2º de bachillerato.

Empezando por los principios pedagógicos, el primero de ellos dicta que *las actividades educativas en el Bachillerato favorecerán la capacidad del alumnado para aprender por sí mismo, para trabajar en equipo y para aplicar los métodos de investigación apropiados.* Pocas actividades fomentan más el aprendizaje autónomo, el trabajo en equipo y la investigación científica más que las prácticas de laboratorio. Además, si la práctica de laboratorio está diseñada correctamente, se pueden trabajar los tres aspectos simultáneamente.

Centrándose ahora en cómo se plantea la asignatura de Física en la nueva legislación, se puede observar como en la introducción se vuelve a hacer alusión al carácter experimental de la Física, incentivando metodologías más experimentales para facilitar la adquisición de conceptos y el trabajo en equipo. Asimismo, el objetivo final de la asignatura es *que los alumnos y alumnas generen curiosidad por la investigación de las ciencias.* Para conseguir este objetivo las experiencias de laboratorio son una herramienta muy eficaz y prácticamente indispensable. Estudiando a fondo el currículo se puede observar como las competencias específicas 1, 3 y 5

y los criterios de evaluación 1.2, 3.2, 3.3, 5.1 y 5.2 se puede relacionar de manera directa con ejercicios prácticos para ilustrar la teoría en el laboratorio. Los descriptores operativos de las competencias claves que se trabajarían con estas competencias específicas serían: STEM 1, STEM 2, STEM 3, STEM 4, CCL 1, CCL 5, CD 3, CPSAA 3.2, CE 3. Para terminar, analizando los saberes básicos propuestos para la asignatura, con cualquiera de las prácticas de laboratorio propuestas se podrían trabajar varios de los saberes básicos del bloque B “Campo electromagnético”, aunque principalmente se trabajarán: *Campos magnéticos generados por hilos con corriente eléctrica en distintas configuraciones geométricas: espiras o solenoides y Generación de la fuerza electromotriz.*

Tras este análisis de la legislación vigente y la legislación futura, se pasará ahora a realizar un breve estudio bibliográfico sobre las ventajas que tiene el uso del laboratorio en la didáctica de la Física y la mejor forma de plantear las prácticas que se realicen.

Para empezar, merece la pena destacar los principales objetivos de los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física a un nivel medio y medio-superior, que corresponderían a un nivel de secundaria y bachillerato respectivamente. Según el autor Luis Rosado Barbero (Rosado, 1979), los objetivos de la experimentación en los niveles anteriormente citados son:

- Lograr un mejor conocimiento de los conceptos físicos.
- Comprender la relación entre los resultados experimentales y los conceptos teóricos.
- Desarrollar destrezas experimentales como el diseño de experimentos, la técnica de medición y la interpretación de los resultados.

Tradicionalmente, las prácticas y los guiones de laboratorio se han planteado como una especie de recetario que los alumnos debían seguir para realizar el experimento, minimizando las decisiones que debe tomar el alumno en pos de evitar posibles errores y de llegar de la manera más eficaz a las conclusiones deseadas. Se ha comprobado como este tipo de guiones no son muy adecuados, ya que no permiten al alumno interiorizar los conocimientos y la metodología científica. Para solucionar esta problemática, se propone cambiar los clásicos guiones de laboratorio por guías de trabajo autónomo en el que se desarrolle la práctica a través de preguntas y de búsqueda de información. Sin embargo, los guiones tradicionales pueden ser de utilidad en el caso de que el objetivo de las prácticas sea familiarizar a los alumnos con el uso del instrumental propio de un laboratorio o enlazar los resultados experimentales con los contenidos tratados brevemente en el aula, de forma que las conclusiones extraídas en el

laboratorio permitan complementar esos conocimientos poco profundos. (Cortel, 2005), (Ballesta & García, 2019).

Este es el enfoque que se les quiere dar a estas prácticas, ya que se pretende que sirvan simultáneamente para reforzar contenidos tratados en la asignatura con anterioridad y para que los alumnos se familiaricen con el uso del osciloscopio y el generador de funciones y el montaje de circuitos eléctricos sencillos. Por esto, los guiones que se propondrán para la realización de las prácticas serán detallados, pero se anima a todos los docentes que pretendan utilizarlos a adaptarlos al nivel del grupo y a los objetivos que pretendan conseguir.

Guion de material: Osciloscopio

Introducción teórica

En la práctica de laboratorio que se realizará a continuación se usará el osciloscopio como instrumento para visualizar las señales eléctricas generadas e inducidas en las bobinas. En este caso, debido al elevado precio de los osciloscopios, se utilizará un programa informático que funciona como un osciloscopio digital bajo una serie de condiciones determinadas. Lo que hace este programa informático es tomar medidas de tensiones a través de la entrada de audio del ordenador y usar estas medidas para representar señales eléctricas. Para entender bien cómo funciona el programa que se utilizará, se explicará primero como funciona un osciloscopio analógico y posteriormente, el funcionamiento de un osciloscopio digital. En caso de disponer de un osciloscopio, puede ser de gran utilidad tenerlo a mano mientras se lee la siguiente explicación.

El osciloscopio es un instrumento que permite representar la evolución temporal de señales eléctricas. Otra aplicación muy útil que tiene es que permite representar la evolución de una señal en función de otra. Aunque pueda parecer un aparato moderno y novedoso, el primer osciloscopio data de finales del siglo XIX. En los años siguientes fueron avanzando hasta llegar a lo que se conoce como osciloscopio analógico.

Este tipo de osciloscopio consiste en un cátodo, que es un electrodo emisor de electrones, dos ánodos, uno para enfocar el haz de electrones y otro para acelerarlos, y dos pares de placas deflectoras, que desvían el haz de electrones en dos direcciones perpendiculares: horizontal y vertical. A este montaje se le denomina tubo de rayos catódicos, y colocando una pantalla recubierta de una sustancia fluorescente al final de este se podrá observar el haz de electrones y las variaciones que se producen en este. Debido a que las tensiones que se suelen estudiar con los osciloscopios son muy bajas y no producirían casi variaciones en el haz de electrones, se deben introducir amplificadores en las placas deflectoras. Estos amplificadores mantienen la forma de la onda, pero aumentan su amplitud, pudiendo así visualizarse sin tener que introducir voltajes muy altos en el tubo de rayos catódicos.

Tras exponer todos los componentes de un osciloscopio analógico, se puede pasar a estudiar en profundidad su funcionamiento. El primer paso es producir un haz de electrones enfocado y con la velocidad suficiente. La señal que se quiera estudiar se debe introducir como una diferencia de potencial entre las placas deflectoras verticales, lo que provocará que el haz de electrones se mueva de arriba abajo siguiendo la señal de estudio. Para introducir el factor

temporal se debe trabajar con las placas deflectoras horizontales. Entre estas placas se introduce una tensión de dientes de sierra. En este tipo de tensión variable, durante un cierto periodo de tiempo, la tensión aplicada va aumentando poco a poco hasta llegar a un máximo, entonces vuelve muy rápidamente a la tensión inicial, y vuelve a comenzar el ciclo. Esto provoca que el haz de electrones se desvíe horizontalmente, moviéndose progresivamente de izquierda a derecha y volviendo muy rápidamente a la posición inicial una vez ha llegado a su máximo.

Ajustando convenientemente las tensiones de las placas deflectoras se podrá observar la variación de la señal que se quiera estudiar, introducida como una variación de tensión entre las placas verticales, en función del tiempo, que se introduce a través de una señal con forma de dientes de sierra en las placas horizontales. La combinación de estos fenómenos provocará que el haz de electrones se mueva de vertical y horizontalmente de forma simultánea, dibujándose así la señal que se quiere estudiar como una función del voltaje en función del tiempo.

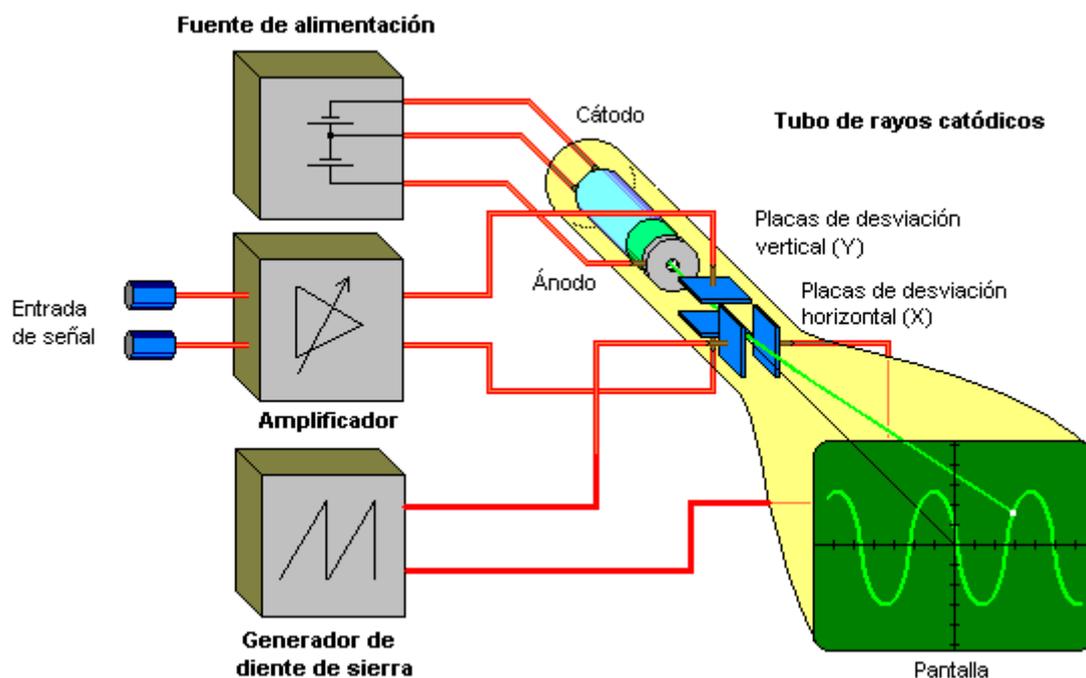


Ilustración 1: Esquema de osciloscopio analógico (PACO, 2022)

El osciloscopio digital funciona de manera distinta. Aunque también permite visualizar una cierta señal en función del tiempo, lo que hace es muestrear esa señal. Es decir, toma los datos del voltaje de la señal en función del tiempo y crea una gráfica de la señal con ellos. Esto lo hace con un conversor analógico/digital. Un osciloscopio digital es capaz de tomar 1.000.000.000 de valores por segundo y leer señales de hasta 100 MHz o más. Lo interesante de este tipo de osciloscopios es que los datos de la señal pueden ser almacenados, lo que es de

gran utilidad para señales que se puedan extinguir y para trabajar con los datos que haya adquirido el osciloscopio. En este sentido, un osciloscopio digital es como una especie de grabadora de señales eléctricas. Aun así, este tipo de osciloscopio también permite visualizar la señal en tiempo real. Esta visualización es muy semejante a la del osciloscopio analógico, representándose en el eje horizontal el tiempo y en el eje vertical el voltaje, pudiendo cambiar la escala de estos. (Beerens & Kerkhofs, 1974), (Ruiz, 1987), (Bartirromo & De Vicenzi, 2016).

El osciloscopio digital será el que se utilizará en esta práctica, pero en vez de un osciloscopio real se utilizará un ordenador con el programa *Soundcard Scope* que, pese a sus limitaciones en comparación con un osciloscopio, para la práctica que se realizará será más que suficiente. Además, un ordenador es mucho más asequible que un osciloscopio digital. En este caso, el programa que se utilizará solo permite tomar 100.000 valores por segundo, y de señales de hasta 20 kHz. Además, al contrario que una gran parte de los osciloscopios, el programa que se utilizará contiene un generador de funciones.

Funcionamiento

En este apartado se detalla el funcionamiento general del osciloscopio y el uso de las funciones necesarias para llevar a cabo los ejercicios prácticos propuestos. El programa que se usará cuenta con muchas otras funciones que no se desarrollarán aquí.

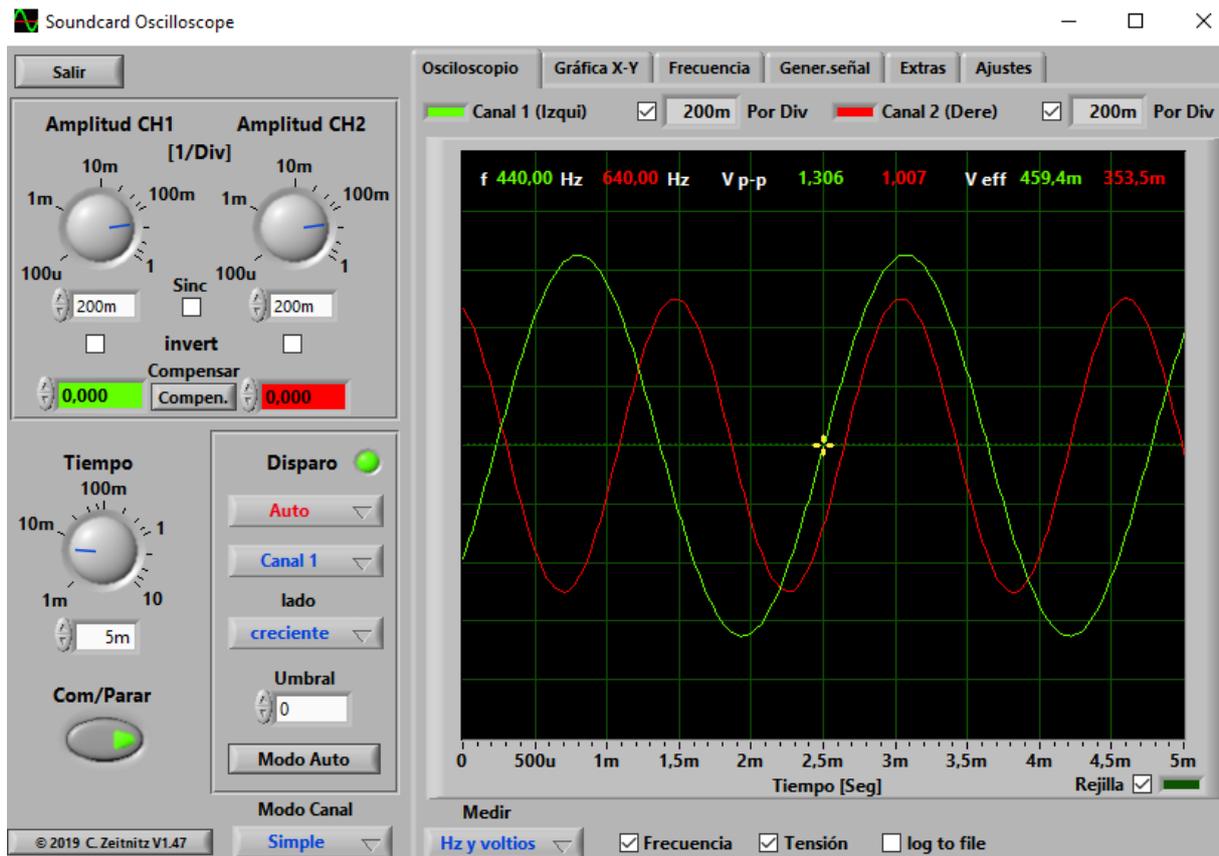


Ilustración 2: Ventana principal del programa Soundcard Scope

Al iniciar el programa *Soundcard Scope* aparecerá una ventana similar a la que se puede ver en la imagen superior. En este caso aparecen representadas dos funciones, pero si no se está mandando al programa ninguna señal no debería aparecer nada.

En esta ventana se pueden observar distintos mandos, que permiten controlar la representación de las señales, y una pantalla negra en la que se representan las señales que lee el osciloscopio por los dos canales, canal 1 (*CH1*) y canal 2 (*CH2*).

Primero se estudiará la parte derecha de la ventana, dedicada a la pantalla y el modo de visualización de las señales.

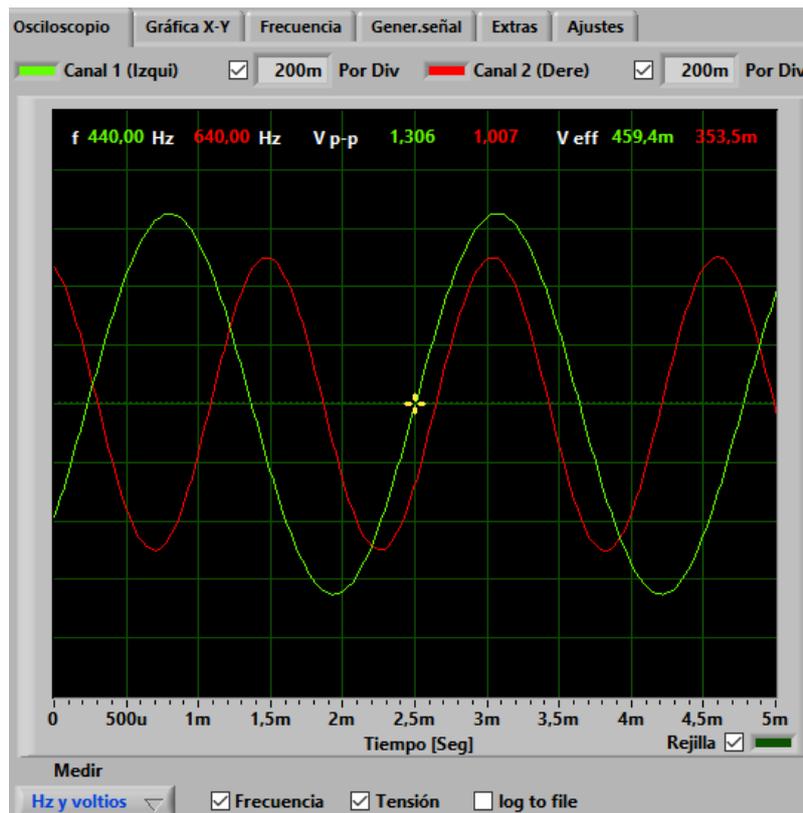


Ilustración 3: Función osciloscopio de Soundcard Scope

En la parte superior aparecen una serie de pestañas, cada una dedicada a una función específica del programa. En este caso solo se utilizará la ventana *Osciloscopio* y *Gener.señal*. Esta última función se explicará más adelante.

En la parte superior de la ventana *Osciloscopio* hay una leyenda de los canales, en los que se indica el color y la amplitud con la que se está representando la señal que llega por cada canal. Al lado de cada leyenda hay una casilla que desactiva los canales.

Como se ha explicado en el funcionamiento del osciloscopio, las señales se representarán como voltaje frente al tiempo. En este caso solo se representará la escala de tiempos.

Bajo la pantalla donde se visualizan las señales hay un selector que permite medir varias magnitudes de las señales. En este caso se seleccionará la función *Hz y voltios* y se marcarán las casillas de *Frecuencia* y *Tensión*. En la parte superior de la pantalla aparecerán la frecuencia (f) en Hz y el voltaje pico a pico (V_{p-p}) en V de cada señal en los colores de esta.

Para controlar la escala horizontal de la representación de las señales se utilizará el siguiente cuadro de mando.

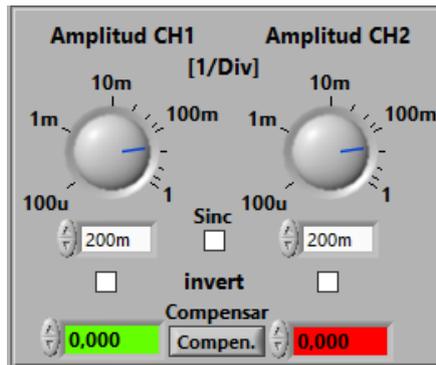


Ilustración 4: Mando de control de la escala de la amplitud de las señales

Este cuadro de mando permite variar la sensibilidad de la escala con la que se representa la señal, de forma que esta se pueda visualizar correctamente, aunque la señal tenga valores de voltaje muy altos o bajos. No se puede elegir numéricamente una escala concreta, ya que los valores que obtiene el programa no lo permiten. Lo más adecuado será ir variando el control, ya sea moviendo la ruleta o dando valores numéricos hasta encontrar una amplitud que permita visualizar la señal de la forma deseada. Los valores del voltaje pico a pico no dependen de la escala de la amplitud, pero sí que variará el error de la representación de la señal.

El control de la amplitud de cada canal se puede realizar de manera independiente, pero también se pueden realizar cambios en los dos canales simultáneamente pulsando en la casilla *Sinc*. Cada señal también puede invertirse, pulsando en la casilla *invert* de cada canal.

La función *Compensar* permite desplazar el centro de la función a lo largo del eje X de la pantalla. Esto se puede realizar de forma numérica, variando los números que aparecen el cuadro de cada canal. También se puede hacer de manera manual, ya que cuando se varíen las cifras de una canal con las flechas aparecerá un cursor asociado a cada señal que permitirá desplazar el centro de la señal por la pantalla de manera manual. Para volver a la posición inicial de cada señal, se debe pulsar el botón *Compen*.

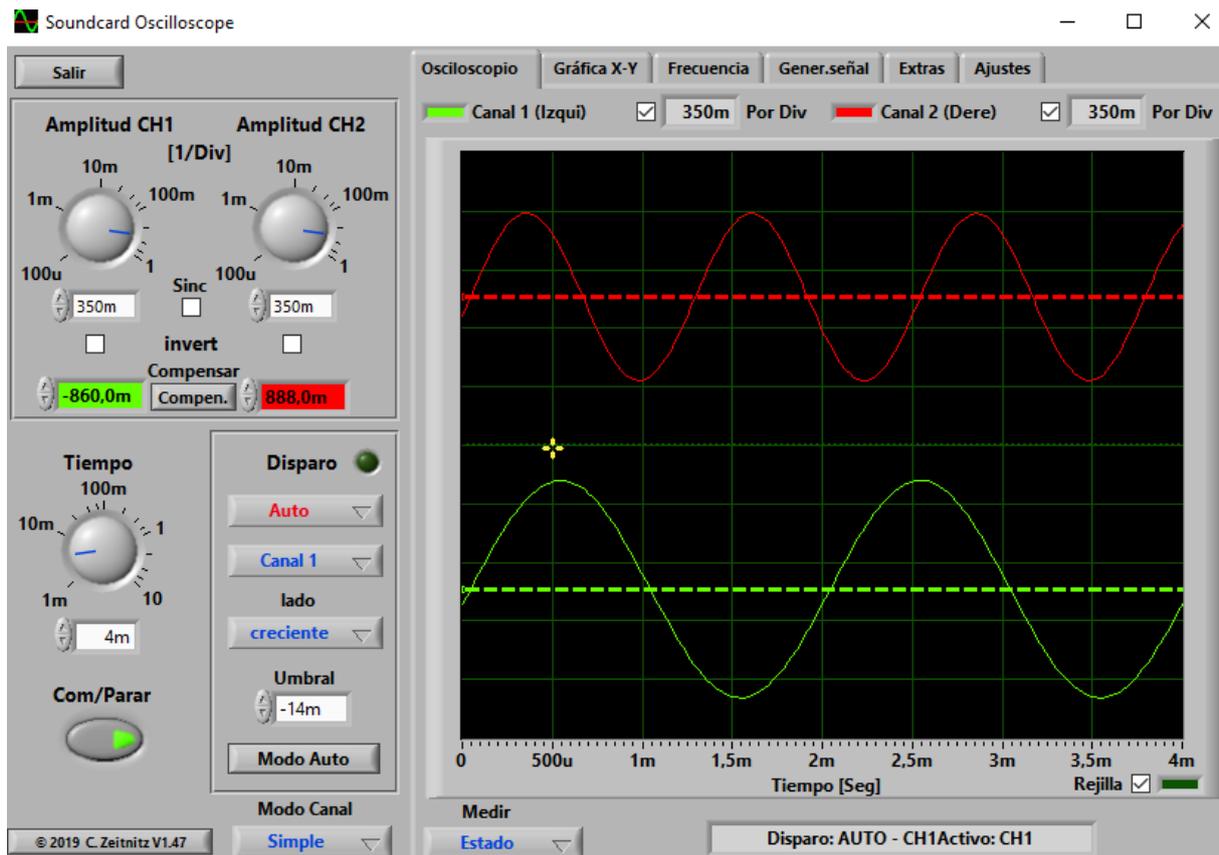


Ilustración 5: Función Compensar aplicada a dos señales con los cursores que permiten desplazarlas verticalmente.

Para el control de la escala de tiempos, es decir, la escala horizontal se utilizará el siguiente mando



Ilustración 6: Mando de control de escala de tiempos

Este mando permite controlar la escala de tiempo en las que se representan las señales. Esta escala será la misma para las señales de los dos canales. Esta escala podrá estar entre 1 milisegundo y 10 segundos, y se podrá variar con la ruleta o escribiendo directamente la escala de tiempos deseada. Debajo está el botón *Com/Parar* que sirve para detener la imagen de una señal en un momento determinado. Pulsándolo se quedará la imagen de la representación

congelada en un instante, aunque se podrá variar la escala de tiempos y de amplitudes. En esta función el osciloscopio no estaría tomando medidas en tiempo real.

El mando de control de *Disparo* permite estabilizar la señal para visualizarla correctamente, sin que se esté desplazando continuamente por la pantalla.



Ilustración 7: Mando de control de disparo

Esto se consigue porque el control de disparo indica al osciloscopio cuando debe empezar a representar la señal. Es decir, si la representación de la señal empieza cuando esta es creciente y acaba cuando es decreciente, el controlador de disparo indicará al osciloscopio que debe esperar a que la señal sea otra vez creciente para comenzar su representación. Si se empezara a representar la señal justo cuando acaba la representación anterior se tendría una señal inestable que sería diferente en cada representación. Gracias al control de disparo se puede evitar esto, ya que correctamente ajustado permite controlar que el punto de inicio de representación de la señal siempre sea el mismo.

Este mando de control puede resultar más confuso y oscuro, y su análisis completo se aleja de los objetivos de las prácticas propuestas. A continuación, se hará un pequeño resumen de cada una de las funciones que tiene el control de disparo.

En la primera pestaña se puede seleccionar el tipo de disparo. Tiene 4 modos:

- *Off*: Disparo apagado. La señal se representa de forma automática continuamente.
- *Auto*: Se fuerzan las condiciones necesarias para que se produzca el disparo. Es el modo más utilizado y el que se recomienda tener activado para estas prácticas.
- *Normal*: Solo se produce el disparo bajo las condiciones elegidas. Puede dar más problemas que el modo *Auto*.
- *Simple*: Solo se produce un disparo, y la representación de este queda estática en la pantalla.

En la segunda pantalla se seleccionará la sincronización del disparo, que puede ser a través del *Canal 1* o del *Canal 2*.

En la pestaña *lado* se seleccionará como se quieren ver las señales, representándolas por la zona creciente o por la zona decreciente de la función de las señales.

El botón *Modo Auto* realiza una representación automática de las señales que se están estudiando, ajustando el disparo, la escala de tiempos y la amplitud. Si el ajuste del disparo diera problemas, se podría recurrir a este modo para ajustar el disparo automáticamente y luego ir variando la escala de tiempos y la amplitud.

Guion de material: Generador de funciones

Introducción teórica

El generador de funciones permite crear señales eléctricas con una determinada frecuencia, amplitud (voltaje) y forma. Esto será de gran utilidad para las prácticas de inducción que se realizarán.

En este caso, se utilizará la función *Generador de señales* incluida en el programa *Soundcard Scope*.

Funcionamiento

Se puede acceder al generador de señales a través de las pestañas que aparecen al iniciar el programa *Soundcard Scope*. Al pulsar en la pestaña *Gener.señal* aparecerá un menú similar al siguiente.

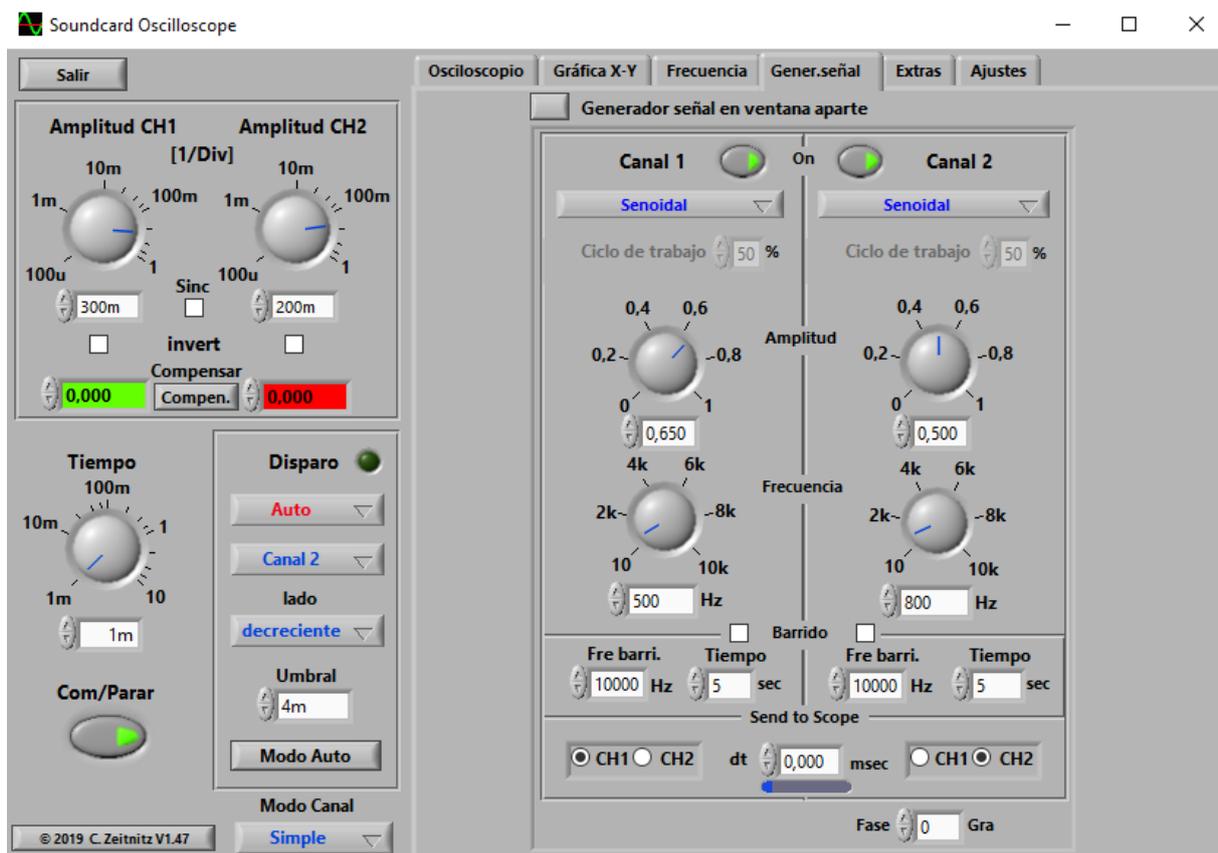


Ilustración 8: Función de generador de funciones del programa Soundcard Scope

La parte derecha de la ventana es el control del generador de señales, la parte izquierda el control del osciloscopio.

Se puede observar que el generador de señales puede generar 2 señales simultáneas y distintas a través de dos canales. Los mandos de control de cada uno de los canales son idénticos.

Lo primero que aparece en estos mandos es un interruptor que permite encender o apagar cada uno de los canales, y por tanto generar o no una señal. Justo debajo hay una pestaña que permite seleccionar el tipo de señal que se quiere generar. Se puede elegir entre senoidal, triangular, cuadrada, diente de sierra, ruido blanco, ruido rosa y fórmula (permite escribir la fórmula de la señal que se quiere generar).

Justo debajo aparecen dos ruletas que permiten seleccionar la amplitud y la frecuencia de la señal generada. Cabe destacar que la amplitud vuelve a ser una amplitud relativa, ya que el ordenador no permite generar una señal con un voltaje determinado. La frecuencia sí que se podrá variar directamente entre 10 Hz y 10 kHz. En los dos casos también se puede escribir el valor numérico.

La función *Barrido* permitirá generar una señal que haga un barrido de frecuencias en un intervalo de frecuencias y de tiempo determinado. Esto es, crear una señal que periódicamente vaya pasando por todas las frecuencias determinadas en un periodo de tiempo.

La función *Send to Scope* manda la señal generada directamente a un canal del osciloscopio. También permite introducir un desfase entre las dos señales.

Guiones de laboratorio

Fundamento teórico

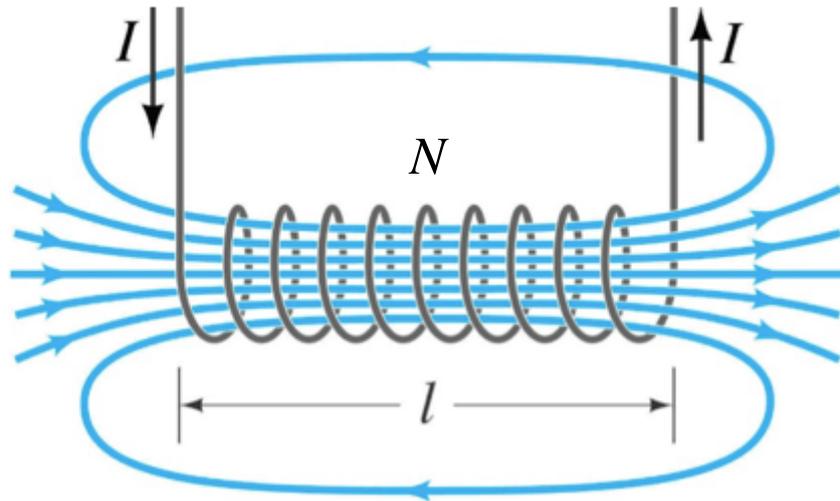


Ilustración 9: Esquema de solenoide con longitud l , N vueltas y por el que circula una intensidad I . (Mini Physics, 2022)

El campo creado en el interior de un solenoide de N espiras y longitud l por el que circula una cierta corriente de intensidad I se puede calcular a través del teorema de Ampère siempre que el solenoide sea lo suficientemente largo, y tiene la siguiente forma:

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I$$

Recordando, el flujo magnético a través de una superficie es proporcional al número de líneas de inducción que atraviesan dicha superficie. Matemáticamente, se puede expresar como:

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Dentro del solenoide se introduce de forma paralela a este un solenoide más pequeño formado por n' vueltas y una sección de área S . En este caso, como \vec{B} y $d\vec{S}$ serán paralelos y el campo magnético será aproximadamente constante en el interior del solenoide pequeño, el flujo a través de cada espira que forman el solenoide se puede escribir como:

$$\Phi = SB$$

Al tener n' espiras el flujo total a través del solenoide pequeño será $\Phi = n'SB$. Sustituyendo el campo magnético calculado anteriormente, la expresión final será:

$$\Phi = \mu_0 \frac{n'NS}{l} I$$

La corriente que se utilizará en esta práctica vendrá dada por el generador de funciones y este se configurará para que la corriente sea de forma senoidal. Este tipo de corriente varía de forma armónica con una pulsación $\omega = 2\pi f$, siendo f la frecuencia de la corriente. La fórmula que describe esta corriente es la siguiente:

$$I = I_0 \sin \omega t$$

Ahora sí, la expresión completa del flujo que atraviesa el solenoide pequeño introducido dentro del solenoide por el que circula una corriente variable será:

$$\Phi = \mu_0 \frac{n'NS}{l} I_0 \sin \omega t$$

Una vez obtenido el flujo, gracias a la ley de Faraday se puede calcular la fuerza electromotriz inducida en el solenoide pequeño. Esta fuerza electromotriz inducida es igual a la velocidad con la que varía el flujo magnético a través del solenoide, cambiada de signo. Matemáticamente se expresa como

$$Fem = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Introduciendo la expresión del flujo obtenida y derivando se obtiene la expresión para la fuerza electromotriz inducida:

$$Fem = -\mu_0 \frac{n'NS}{l} \omega I_0 \cos \omega t$$

Como se puede observar, la fuerza electromotriz también variará armónicamente. Lo que se medirá y se estudiará de esta oscilación es la amplitud, que depende de la intensidad y la frecuencia de corriente aplicada. Así, la expresión que se utilizará será:

$$Fem = \mu_0 \frac{n'NS}{l} \omega I_0$$

En esta fórmula se pueden conocer el número de vueltas de los solenoides, la sección del solenoide secundario y la longitud del solenoide primario. Pero para conocer el valor de la frecuencia, y por tanto el de ω , y el valor de la intensidad es necesario usar el osciloscopio. Con el osciloscopio es posible conocer la frecuencia de la señal de forma directa, pero no se podrá conocer la intensidad de corriente. El osciloscopio solo es capaz de medir voltajes, pero a través de la ley de Ohm se podrá calcular la intensidad de la corriente. Pero para poder utilizar esta ley será necesario conectar una resistencia al circuito eléctrico, de forma que el osciloscopio

mida el voltaje que circula a través del circuito y por tanto de la resistencia. Conociendo el valor de la resistencia ya sí se podrá calcular la intensidad de corriente con la ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{R}$$

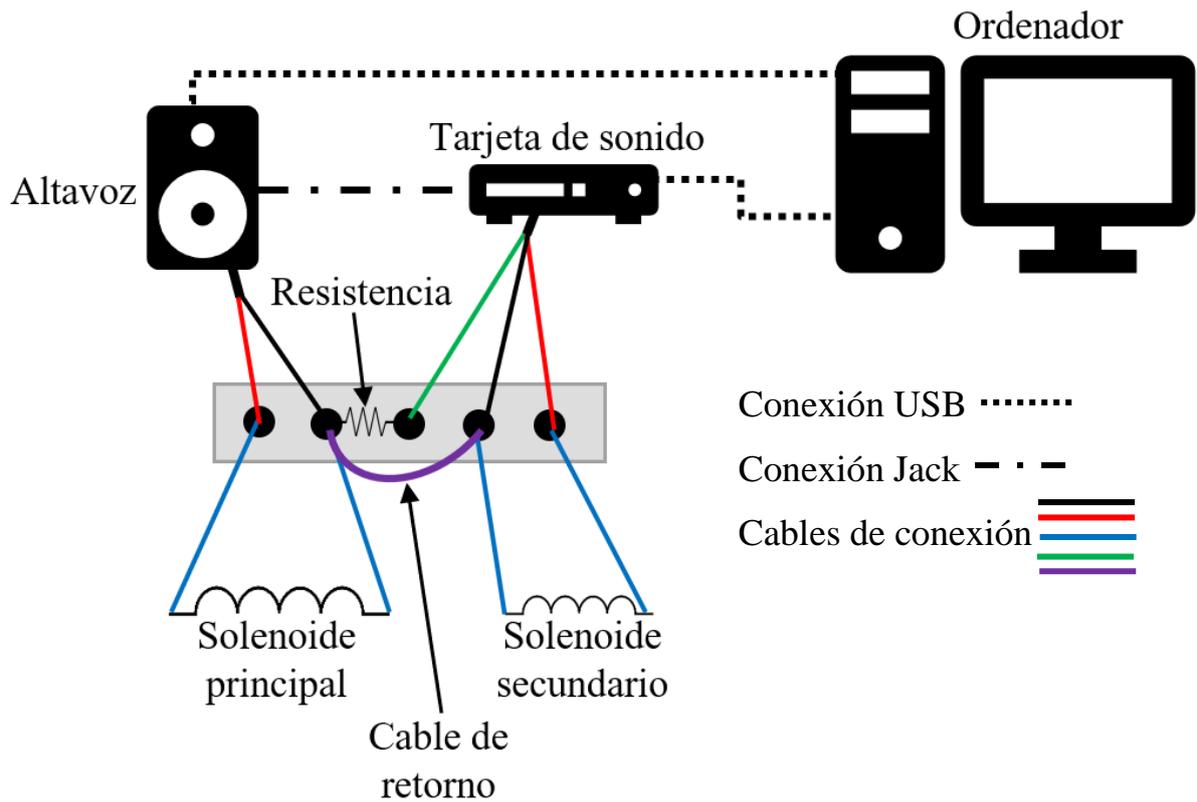
Siendo V el voltaje pico a pico medido por el osciloscopio que, aunque no sea el voltaje real sino un valor proporcional, se puede medir directamente, y R la resistencia introducida en el circuito.

Materiales

- Ordenador con el programa Soundcard Scope instalado.
- Tarjeta de sonido estéreo. Solo es necesaria en el caso en el que estemos con un portátil, ya que estos tienen la salida y entrada de audio combinada y es complicado tratar con ella. En un ordenador de sobremesa no sería necesaria.
- Altavoces con salida Jack. La salida Jack es necesaria para que puedan funcionar como amplificadores de la señal que se mandará al solenoide primario.
- Placa de conexiones con entradas para bananas.
- Cables de conexión.
- Resistencia de 4.7Ω .
- Solenoides:
 - Solenoide 1: Diámetro exterior 75.5 mm, longitud 131.44 mm y 292 vueltas.
 - Solenoide 2: diámetro exterior 50 mm y 88 vueltas.
 - Solenoide 3: diámetro exterior 40 mm y 88 vueltas.
 - Solenoide 4: diámetro exterior 25 mm y 88 vueltas.
 - Solenoide 5: diámetro exterior 25 mm y 178 vueltas.

Montaje

El montaje que debe realizarse antes de comenzar la práctica se describe a continuación:



Lo más importante a la hora de montar el circuito es recordar que los altavoces y el solenoide secundario deben ir conectadas al ordenador a través de la tarjeta de sonido. La conexión USB de los altavoces al ordenador solo servirá como alimentación para estos. También se podrían conectar directamente a la corriente eléctrica a través de un adaptador.

La resistencia y el solenoide principal, que van conectadas a los altavoces, deben ir conectadas en serie.

Práctica 1: Estudio de la dependencia de la fuerza electromotriz inducida con la intensidad aplicada

Objetivos

En esta práctica se estudiará la fuerza electromotriz inducida en un solenoide cuando esta se encuentra en el seno de un campo magnético creado por una corriente variable que circula por otro solenoide. La fuerza electromotriz variará con la intensidad de la corriente que circula por el solenoide que crea el campo magnético, por lo que se analizará la relación entre estas variables. Asimismo, también se aprenderá a manejar el osciloscopio y el generador de funciones.

Procedimiento experimental

Una vez realizado el montaje anterior, se puede comenzar a realizar la toma de medidas. Como solenoide principal se utilizará el solenoide 1 y como solenoide secundario se usará cualquiera de los otros. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Generar una función senoidal con una frecuencia de 1000 Hz usando el programa *Soundcard Scope* en el solenoide principal.
2. Visualizar la función generada en el osciloscopio, con una escala de tiempos y voltaje adecuada.
3. Introducir el solenoide secundario dentro del solenoide principal donde está circulando corriente.
4. Visualizar la señal que se genera en el solenoide secundario junto a la señal del solenoide principal
5. Una vez se visualicen las dos señales de forma simultánea, apuntar las medidas de voltaje pico a pico y frecuencia que proporciona el osciloscopio para cada señal.
6. Cambiar el valor de la amplitud de la señal generada y repetir el procedimiento anterior desde el paso 4 para otros valores de la altitud de la señal.

Antes de comenzar con el análisis de datos, es conveniente reflexionar sobre los resultados obtenidos y su significado.

¿Cómo es la señal de la corriente inducida? ¿En qué se parece y en qué se diferencia de la corriente que se genera en el solenoide principal? ¿Por qué sucede esto?

¿Por qué se cambia la resistencia? ¿Qué tiene que ver esto con la corriente? ¿Cambiando la resistencia del circuito cambiará la corriente que circula por él?

Para analizar los datos se representará el voltaje pico a pico de la corriente inducida frente a la intensidad de la corriente que circula por el solenoide principal.

Antes de hacer la representación, es recomendable hacer una pequeña predicción sobre la forma de la gráfica.

¿Qué forma crees que tendrá? ¿Por qué? ¿Con que fórmula se puede relacionar esta gráfica?

Práctica 2: Estudio de la dependencia de la fuerza electromotriz inducida con la sección del solenoide.

Objetivos

En esta práctica se estudiará la fuerza electromotriz inducida en un solenoide cuando este se encuentra en el seno de un campo magnético creado por una corriente variable que circula por otro solenoide. La fuerza electromotriz variará con el área de la sección del solenoide en la que se induce la corriente. En esta práctica se analizará la relación entre la sección de un solenoide y la fuerza electromotriz que se induce en este. Asimismo, también se aprenderá a manejar el osciloscopio y el generador de funciones.

Procedimiento experimental

Una vez realizado el montaje anterior, se puede comenzar a realizar la toma de medidas. Como solenoide principal se utilizará el solenoide 1 y como solenoides secundarios se usarán los solenoides 2, 3 y 4. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Generar una función senoidal con una frecuencia de 1000 Hz usando el programa *Soundcard Scope* en el solenoide principal.
2. Visualizar la función generada en el osciloscopio, con una escala de tiempos y voltaje adecuada.
3. Introducir el solenoide secundario dentro del solenoide principal donde está circulando corriente.
4. Visualizar la señal que se genera en el solenoide secundario junto a la señal del solenoide principal.
5. Una vez se visualicen las dos señales de forma simultánea, apuntar las medidas de voltaje pico a pico y frecuencia que proporciona el osciloscopio para cada señal.
6. Cambiar el solenoide secundario por otro de sección distinta, manteniendo constante el voltaje que se aplica al solenoide principal. Repetir el procedimiento anterior desde el paso 4 para el resto de los solenoides secundarios.

Antes de comenzar con el análisis de datos, es conveniente reflexionar sobre los resultados obtenidos y su significado.

¿Cómo es la señal de la corriente inducida? ¿En qué se parece y en qué se diferencia de la corriente que se genera en el solenoide principal? ¿Por qué sucede esto?

¿Al cambiar el diámetro del solenoide secundario, cambiará el flujo que circula por ella? ¿Y si se reduce a la mitad el diámetro del solenoide, pero se duplica el número de vueltas?

Para analizar los datos se representará el voltaje pico a pico de la corriente inducida frente a la sección del solenoide secundario.

Antes de hacer la representación, es recomendable hacer una pequeña predicción sobre la forma de la gráfica.

¿Qué forma crees que tendrá? ¿Por qué? ¿Con que fórmula se puede relacionar esta gráfica?

Práctica 3: Estudio de la dependencia de la fuerza electromotriz inducida con el número de vueltas de un solenoide.

Objetivos

En esta práctica se estudiará la fuerza electromotriz inducida en un solenoide cuando este se encuentra en el seno de un campo magnético creado por una corriente variable que circula por otro solenoide. La fuerza electromotriz variará con el número de vueltas que tengan los solenoides. Para esta práctica solo se variará el número de vueltas del solenoide secundario, que es donde se induce la corriente. Así se podrá analizar la relación entre el número de vueltas de un solenoide y la fuerza electromotriz que se induce en este. Asimismo, también se aprenderá a manejar el osciloscopio y el generador de funciones.

Procedimiento experimental

Una vez realizado el montaje anterior, se puede comenzar a realizar la toma de medidas. Como solenoide principal se utilizará el solenoide 1 y como solenoides secundarios se usarán los solenoides 4 y 5. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Generar una función senoidal con una frecuencia de 1000 Hz usando el programa *Soundcard Scope* en el solenoide principal.
2. Visualizar la función generada en el osciloscopio, con una escala de tiempos y voltaje adecuada.
3. Introducir el solenoide secundario dentro del solenoide principal donde está circulando corriente.
4. Visualizar la señal que se genera en el solenoide secundario junto a la señal del solenoide principal.
5. Una vez se visualicen las dos señales de forma simultánea, apuntar las medidas de voltaje pico a pico y frecuencia que proporciona el osciloscopio para cada señal.
6. Cambiar el solenoide secundario por otro con un número de vueltas distinto, manteniendo constante el voltaje que se aplica al solenoide principal. Repetir el procedimiento anterior desde el paso 4 para el solenoide secundario restante.

Antes de comenzar con el análisis de datos, es conveniente reflexionar sobre los resultados obtenidos y su significado.

¿Cómo es la señal de la corriente inducida? ¿En qué se parece y en qué se diferencia de la corriente que se genera en el solenoide principal? ¿Por qué sucede esto?

¿Al cambiar el número de vueltas del solenoide secundario, cambiará el flujo que circula por él? Para la fuerza electromotriz inducida en el solenoide secundario, ¿importará que se cambie el número de vueltas en el solenoide principal o secundario?

Para analizar los datos se representará el voltaje pico a pico de la corriente inducida frente al número de vueltas del solenoide secundario.

Antes de hacer la representación, es recomendable hacer una pequeña predicción sobre la forma de la gráfica.

¿Qué forma crees que tendrá? ¿Por qué? ¿Con que fórmula se puede relacionar esta gráfica?

Práctica 4: Estudio de la dependencia de la fuerza electromotriz inducida con la frecuencia de la corriente aplicada.

Objetivos

En esta práctica se estudiará la fuerza electromotriz inducida en un solenoide cuando este se encuentra en el seno de un campo magnético creado por una corriente variable que circula por otro solenoide. La fuerza electromotriz variará con la frecuencia de la corriente aplicada. En esta práctica se estudiará la dependencia de la fuerza electromotriz inducida con la frecuencia de la corriente aplicada. Asimismo, también se aprenderá a manejar el osciloscopio y el generador de funciones.

Procedimiento experimental

Una vez realizado el montaje anterior, se puede comenzar a realizar la toma de medidas. Como solenoide principal se utilizará el solenoide 1 y como solenoide secundario se usará cualquiera de los otros. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Generar una función senoidal con una frecuencia de 400 Hz usando el programa *Soundcard Scope* en el solenoide principal.
2. Visualizar la función generada en el osciloscopio, con una escala de tiempos y voltaje adecuada.
3. Introducir el solenoide secundario dentro del solenoide principal donde está circulando corriente.
4. Visualizar la señal que se genera en el solenoide secundario junto a la señal del solenoide principal.
5. Una vez se visualicen las dos señales de forma simultánea, apuntar las medidas de voltaje pico a pico y frecuencia que proporciona el osciloscopio para cada señal.
6. Cambiar la frecuencia de la corriente aplicada en intervalos de 100 Hz y volver a representar las señales y a tomar las medidas de voltaje pico a pico y frecuencia para cada nueva frecuencia de la corriente. Repetir esto para 5 frecuencias distintas. Al variar la frecuencia es posible que se deba variar la amplitud del generador de señal del solenoide principal para que el voltaje pico a pico se mantenga constante.

Antes de comenzar con el análisis de datos, es conveniente reflexionar sobre los resultados obtenidos y su significado.

¿Qué forma tiene la señal de la corriente inducida? ¿En qué se parece y en qué se diferencia de la corriente que se genera en el solenoide principal? ¿Por qué sucede esto?

Está claro que la frecuencia de la corriente aplicada influye en la fuerza electromotriz inducida, pero ¿influirá también el tipo de función que se aplique? ¿Por qué?

Para analizar los datos se representará el voltaje pico a pico de la corriente inducida frente a la frecuencia de la corriente aplicada en el solenoide principal.

Antes de hacer la representación, es recomendable hacer una pequeña predicción sobre la forma de la gráfica.

¿Qué forma crees que tendrá? ¿Por qué? ¿Con que fórmula se puede relacionar esta gráfica?

Práctica 5: Estudio de la forma de la onda de la corriente inducida.

Objetivos

La forma de la función de onda de la corriente inducida depende de la forma de la corriente que la genera. En esta práctica se analizará la variación en la forma de la función de onda de la corriente inducida en función de la forma de la onda que genera dicha corriente inducida. Además, también se aprenderá a manejar el osciloscopio y el generador de funciones.

Procedimiento experimental

Una vez realizado el montaje anterior, se puede comenzar a realizar la toma de medidas. Como solenoide principal se utilizará el solenoide 1 y como solenoide secundario se usará cualquiera de los otros. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Generar una función senoidal con una frecuencia de 1000 Hz usando el programa *Soundcard Scope* en el solenoide principal.
2. Visualizar la función generada en el osciloscopio, con una escala de tiempos y voltaje adecuada.
3. Introducir el solenoide secundario dentro del solenoide principal donde está circulando corriente.
4. Visualizar la señal que se genera en el solenoide secundario junto a la señal del solenoide principal.
5. Una vez se visualicen las dos señales de forma simultánea, analizar las dos funciones y encontrar las relaciones entre ellas. Variar la frecuencia y la amplitud de la función generada para ver como varía la corriente inducida. Extraer las conclusiones principales.
6. Cambiar la función de onda senoidal por una triangular y cuadrada y repetir el análisis realizado anteriormente.

Para ayudar con el análisis de los resultados, se proponen las siguientes preguntas:

- ¿Qué relación matemática tiene el flujo y la fuerza electromotriz inducida?
- Conociendo solo la función de onda de la corriente inducida, ¿se podría calcular la función de onda que la genera?
- ¿Por qué para algunas formas de la función de onda generada se puede visualizar tan bien la forma de la corriente inducida?

Guía del docente

Preparación de los materiales

Para la realización de estas prácticas se han preparado 5 solenoides con tuberías de PVC de conducción de agua de distintos diámetros. El cable utilizado ha sido cable de cobre esmaltado de diámetro 0.45 mm. Los solenoides preparados son los siguientes:

- Solenoide 1: Diámetro exterior de 75.5 mm. El solenoide mide 131.44 mm y tiene 292 vueltas. La densidad de vueltas es 2221.5 vueltas/m.
- Solenoide 2: diámetro exterior de 50 mm. 88 vueltas.
- Solenoide 3: diámetro exterior de 40 mm. 88 vueltas.
- Solenoide 4: diámetro exterior de 25 mm. 88 vueltas.
- Solenoide 5: diámetro exterior de 25 mm. 178 vueltas.

Como se puede observar, se han preparado 3 solenoides con el mismo número de vueltas, pero diámetros distintos y 2 solenoides con el mismo diámetro, pero distinto número de vueltas. De esta forma se pueden tomar medidas variando la sección de los solenoides y manteniendo el número de vueltas constante o variando el número de vueltas y manteniendo el diámetro constante.

El solenoide con mayor diámetro, es decir, el solenoide 1, servirá como solenoide principal o primario, y es el que servirá para crear los campos magnéticos en todas las practicas propuestas. Para este solenoide es muy importante conocer con precisión la longitud de este, ya que será necesaria para el cálculo del campo magnético creado.

Para los solenoides 2, 3 y 4 es de vital importancia conocer perfectamente el número de vueltas, de forma que los cambios en la fuerza electromotriz inducida dependan exclusivamente de la sección del solenoide. Por ello, se optado por preparar solenoides con un número de vueltas pequeño, para poder contarlas con precisión.

En el caso de los solenoides 4 y 5, que tienen la misma sección, pero distinto número de vueltas es importante destacar que el solenoide 5 será mucho más grande que el solenoide 4, debido a su mayor número de vueltas. Esto no será un problema siempre que la longitud del solenoide 5 sea menor que la longitud del solenoide 1. Si fuese más grande, las aproximaciones del campo magnético dentro de un solenoide por el que circula una corriente no serían validas.

A continuación, se hace un resumen detallado de los pasos seguidos para montar los solenoides. El montaje de los solenoides ha sido muy similar en todos los casos, por lo que se hará una exposición general que se puede particularizar a cada uno de los solenoides.

Lo primero que debe hacerse es cortar trozos de tubería del tamaño deseado. Es importante tener clara la longitud que se va a cortar en función de las vueltas que se quieran conseguir en el solenoide. En este caso se han cortado trozos de la misma longitud de las distintas tuberías de forma que al introducir un solenoide dentro de otro queden totalmente centrados. Este corte se puede hacer con una sierra o con cualquier otra herramienta que se maneje con precisión.

Una vez se tengan cortados los trozos de tubería deseados se harán 4 agujeros en los trozos. Estos agujeros servirán como guía a la hora de bobinar el cable en la tubería y se harán con la siguiente distribución:



Ilustración 10: Esquema de los agujeros que se deben hacer en las tuberías.

Como se puede observar, deben hacerse dos pares de agujeros, estando los dos agujeros de cada par muy juntos. Es recomendable que los dos pares de agujeros estén uno frente a otro. La distancia entre los dos pares de agujeros es la longitud que tendrá el solenoide, que dependerá del cable utilizado y el número de vueltas dado. El tamaño de los agujeros también dependerá del cable utilizado, pero deben tener un diámetro una 5 veces mayor que el diámetro del cable utilizado. Es importante destacar que la mayor distancia entre los pares de los agujeros debe ser la del solenoide 1, seguida por la del solenoide 5. Los solenoides 2, 3 y 4 deben tener la misma distancia entre agujeros, de forma que tengan el mismo número de vueltas. Si los dos pares de agujeros se hacen de forma que sean simétricos con respecto del centro de la bobina el montaje de las prácticas será mucho más sencillo y se evitarán posibles errores en la colocación de los solenoides.

Una vez hechos los agujeros, se puede pasar a bobinar el cable. Para ello, lo primero que debe hacerse es pasar un par de veces el cable por los agujeros, de forma que quede asegurado y se tenga un trozo de cable sobrante de unos 10 cm.

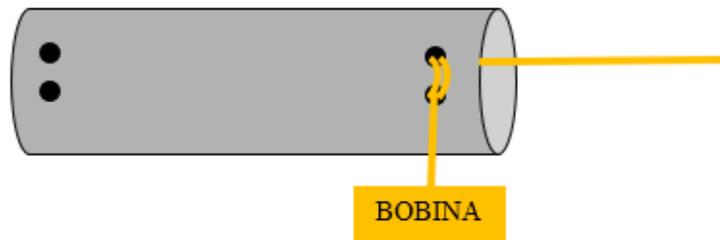


Ilustración 11: Esquema del seguro que se debe hacer al bobinar las tuberías.

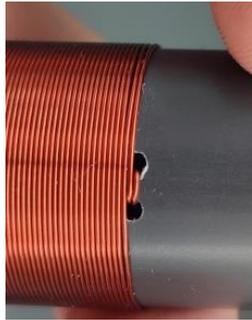


Ilustración 12: Seguro hecho en uno de los solenoides.

Una vez realizado el seguro con los dos agujeros, se podrá empezar a bobinar con el cable. Para ello se debe mantener el cable tenso en todo momento, y girando poco a poco la tubería ir cubriéndola totalmente de cable. Es importante que cada vuelta de cable esté totalmente pegada con la anterior, pero sin llegar a montarse una encima de la otra. Una vez se haya llegado al otro par de agujeros, se volverá a asegurar el cable con un par de vueltas entre los agujeros.

Como ya se ha dicho, es importante que las vueltas de los solenoides 2, 3 y 4 sean las mismas. Por ello, se bobinará primero todas las tuberías y luego se contarán las vueltas, de forma que se puedan ajustar al número deseado.



Ilustración 13: Solenoides preparados para las actividades vistos horizontalmente. En orden de izquierda a derecha: Solenoide 1, 2, 3, 4 y 5.



Ilustración 14: Solenoides preparados para las actividades vistos cenitalmente. En orden de izquierda a derecha: Solenoide 1, 2, 3, 4 y 5.

Para bobinar el cable es recomendable usar un torno, de forma que la tubería vaya girando poco a poco y solo sea necesario ir colocando el cable con precaución. Aun así, y aunque sea un proceso más largo, no habría ningún problema en realizar el bobinado a mano.

Merece la pena destacar la posibilidad de que los solenoides sean realizados por los alumnos. Debido a la falta de tiempo, resultaría muy complicado hacerlos durante la asignatura de Física de 2º de Bachillerato, pero podría proponerse el montaje de los solenoides como una actividad en la asignatura de Tecnología que se imparte en años anteriores. Esto, además de impulsar la transversalidad en la enseñanza, también inculcaría un respeto hacía el material del laboratorio, ya que ha sido preparado por sus compañeros, e incluso por ellos mismos. Por otro lado, también se pueden plantear una serie de actividades extraescolares centradas en el montaje de circuitos eléctricos, solenoides y demás componentes eléctricos. Estas actividades se podrían realizar conjuntamente entre el departamento de Tecnología y el del Física y Química, enfocadas en diferentes edades en función del interés de los alumnos.

Los cables de conexión que se han utilizado para la conectar los altavoces con el solenoide principal y la tarjeta de sonido con el solenoide secundario son cables Jack de 3 vías modificado para que cada una de esas vías acabara en un conector banana macho, lo que facilita el montaje de los circuitos. También se podría dejar con el cable al aire simplemente, sin el conector, en el caso de que se quiera utilizar otro tipo de placa de conexiones.

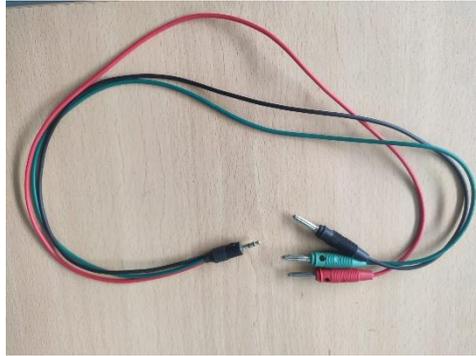


Ilustración 15: Cable de conexión utilizado.

La placa de conexión utilizada ha sido una placa que simplemente contaba con 5 conexiones banana hembra. Estos conectores además permitían conectar fácilmente cables normales con los conectores banana, facilitando el montaje final.



Ilustración 16: Placa de conexión utilizada.

Los altavoces utilizados han sido altavoces normales de ordenador, pero es necesario que tengan un conector Jack de salida, que es donde se conectará el solenoide principal. La función de los altavoces es funcionar como amplificadores de la señal. Además, con el control del volumen se podrá variar la amplitud de la señal enviada a través de ellos.



Ilustración 17: Altavoces utilizados.

Para poder trabajar con una entrada y salida de audio estéreo se ha utilizado una tarjeta de sonido estéreo. Cualquier tarjeta de sonido del mercado que cumpla esa característica debería ser suficiente, aunque en el caso de trabajar con un ordenador de sobremesa no debería ser necesario utilizarla. Trabajar con una tarjeta de sonido facilita mucho el proceso en el caso de estar utilizando un portátil, ya que estos tienen la salida y entrada de audio combinada.



Ilustración 18: Tarjeta de sonido utilizada.

El montaje y la preparación de todas las conexiones puede ser la parte de las prácticas que más adaptaciones y variaciones permite en función del material disponible. Por lo tanto, las indicaciones referentes a las conexiones no deben tomarse como algo inmutable, sino que es muy recomendable que se adapten al material disponible en cada centro.

Posibles problemas

En este apartado se hará un pequeño resumen de los problemas encontrados en la preparación de las prácticas y que pueden provocar errores en la realización de las actividades propuestas.

Para empezar, es importante tener claro que el rango de frecuencias que puede manejar un ordenador es menor que el que maneja un osciloscopio. Esto puede dar problemas en frecuencias altas, ya que la velocidad de muestro del ordenador no es lo suficientemente alta como para tomar esas medidas. Por lo tanto, se recomienda mantener las frecuencias de trabajo por debajo de 4 kHz. Para estas frecuencias, aunque los datos del voltaje medidos puedan ser correctos, las señales que se representan son mucho más irregulares.

El montaje es una de las partes más importantes de las actividades propuestas, y los errores que se pueden cometer al realizar el montaje son innumerables. Por fortuna, al utilizar una tarjeta de sonido externa, es prácticamente imposible que algún fallo en el montaje pueda dañar el ordenador. Aun así, es recomendable ayudar a los alumnos durante todo el proceso de montaje.

Una vez esté realizado el montaje se pasará a trabajar con el osciloscopio y el generador de funciones. Es muy importante seleccionar el dispositivo de salida y de entrada adecuado. En función del equipo utilizado, el nombre de los dispositivos puede variar, por lo que la mejor opción en el caso de que no se sepa cuál es será ir probando uno por uno hasta encontrar el adecuado. Una vez estén seleccionados los dispositivos adecuados se deberá determinar a qué canal del generador de funciones y del osciloscopio está conectado cada solenoide. Ir probando entre los diferentes canales es la única forma de encontrarlos. Conviene recordar que los canales del osciloscopio y del generador de funciones son completamente independientes.

Para terminar, la colocación de los solenoides a la hora de realizar los experimentos es muy relevante. El solenoide secundario debe estar centrado en el solenoide principal, de forma que el campo magnético que atraviesa el solenoide secundario sea lo más constante posible. En el caso de que el solenoide secundario no esté completamente centrado los valores del voltaje medidos no serán correctos.

Resultados esperables

En este apartado se presentan las funciones de onda obtenidas al realizar las actividades propuestas con el juego de bobinas preparado. La leyenda de colores utilizados en todas las ilustraciones siguientes es la misma para todas: la onda roja es la función de onda inducida en el solenoide secundario y la función verde representa la función de onda generada en el solenoide primario.

También se incluye para cada práctica una gráfica con los resultados obtenidos de la fuerza electromotriz inducida en función de las diferentes variables estudiadas. Es importante recordar que los valores de fuerza electromotriz medidos por el osciloscopio no son valores del voltaje reales, sino proporcionales a los valores que se deberían obtener.

Resultados para la práctica 1.

Estas pruebas se han realizado utilizando los solenoides 1 y 5.

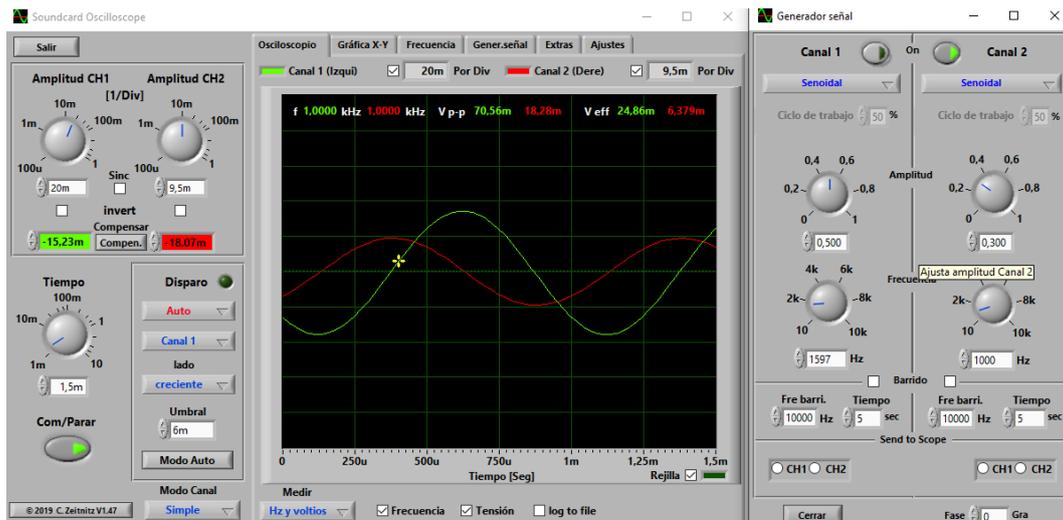


Ilustración 19: Funciones de onda para una onda generada de amplitud 0.3. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

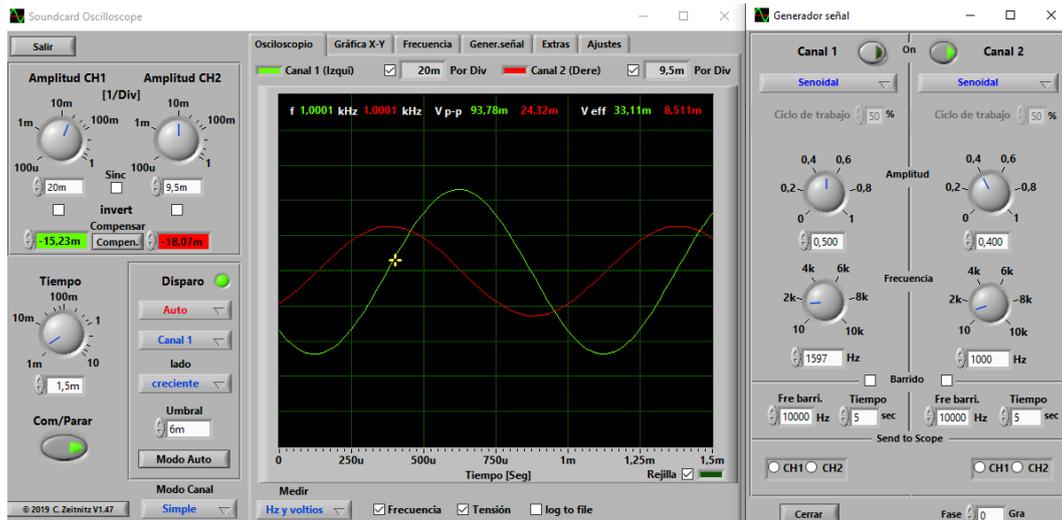


Ilustración 20: Funciones de onda para una onda generada de amplitud 0.4. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

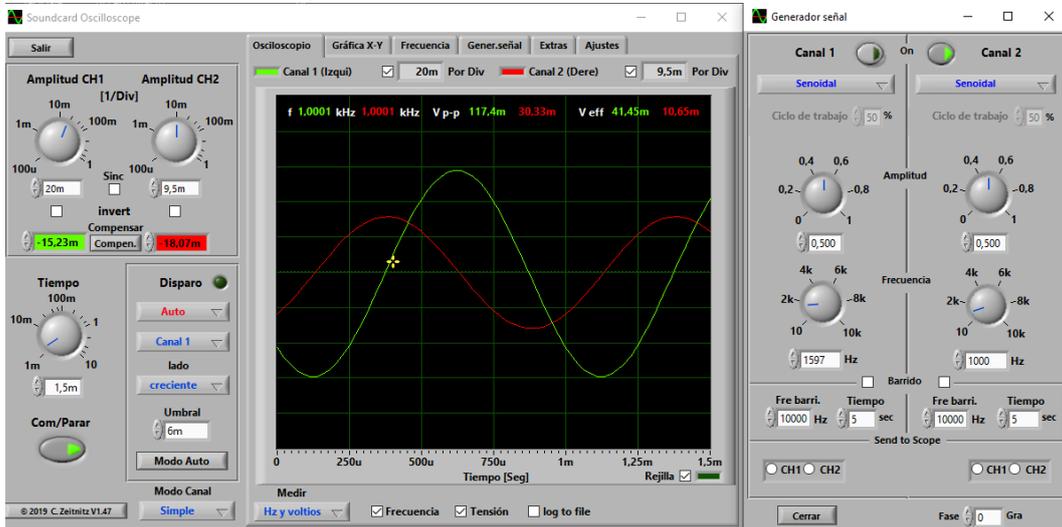


Ilustración 21: Funciones de onda para una onda generada de amplitud 0.5. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

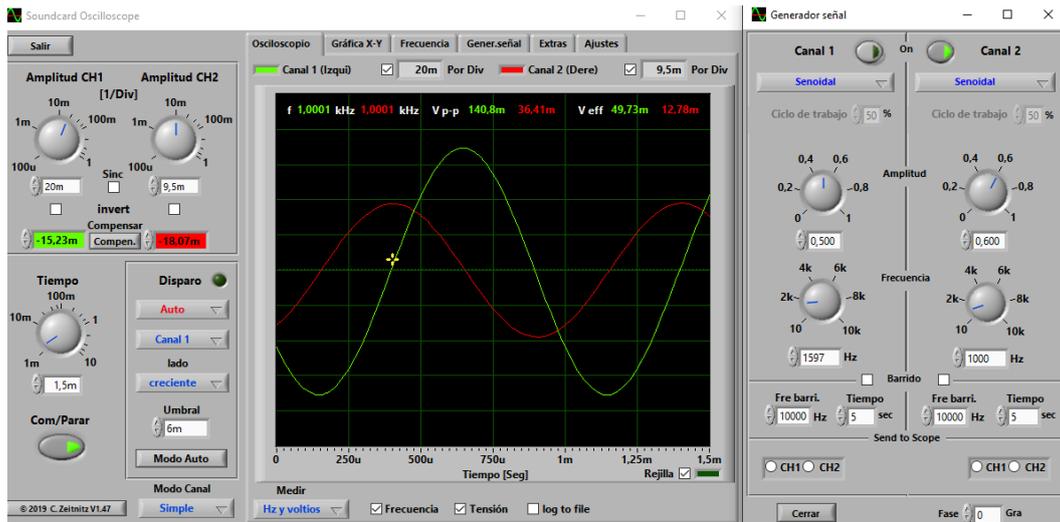


Ilustración 22: Funciones de onda para una onda generada de amplitud 0.6. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

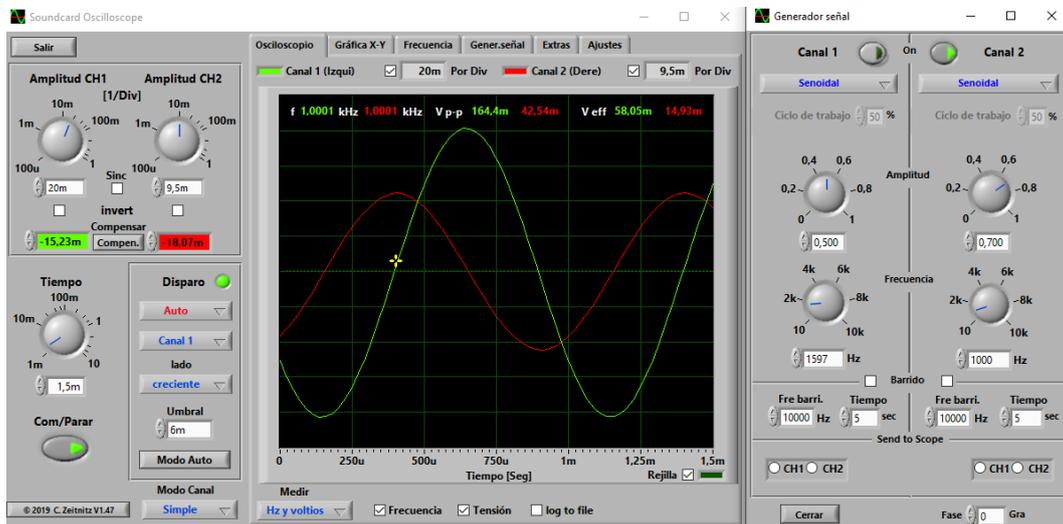


Ilustración 23: Funciones de onda para una onda generada de amplitud 0.7. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

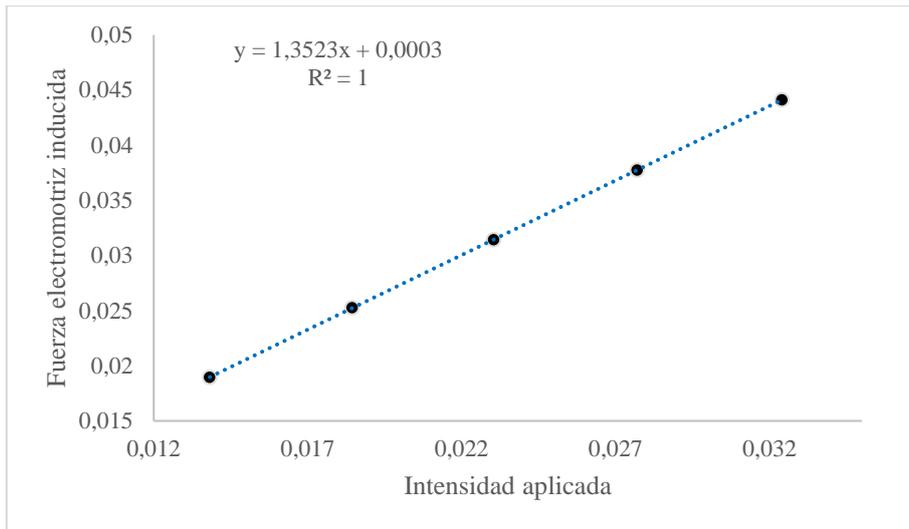


Ilustración 24: Gráfica obtenida en la práctica 1.

Resultados para la práctica 2.

Estas pruebas se han realizado utilizando los solenoides 1, 2, 3 y 4.

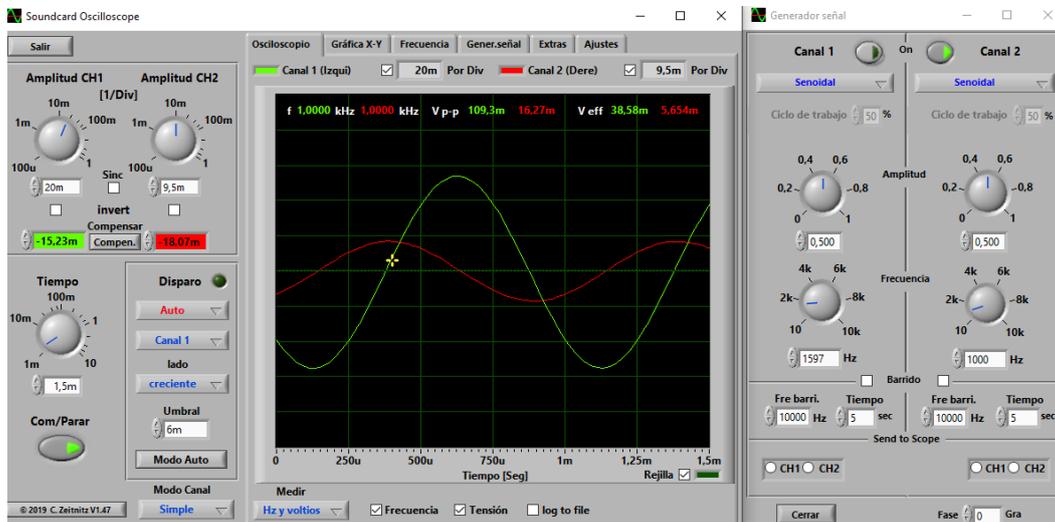


Ilustración 25: Funciones de onda generada e inducida para el solenoide 2. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

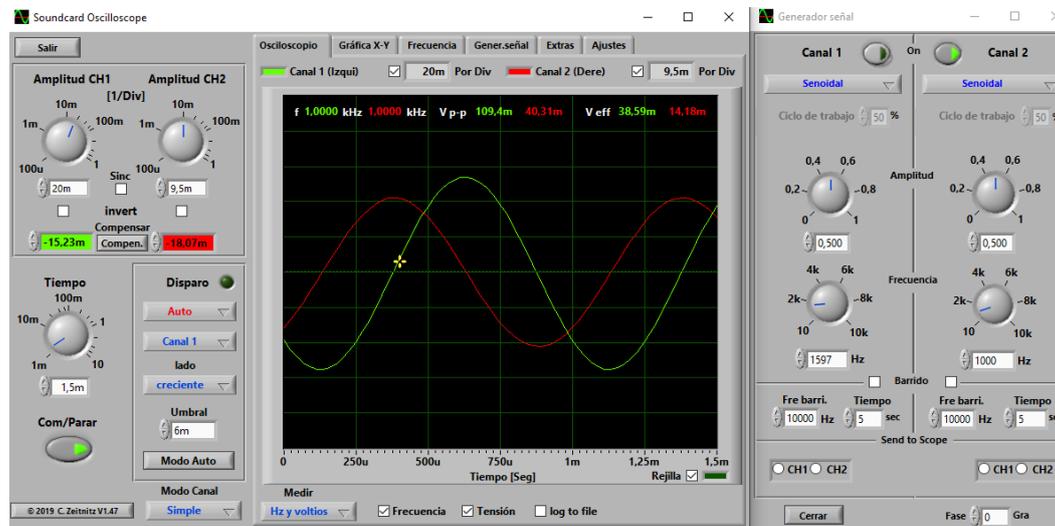


Ilustración 26: Funciones de onda generada e inducida para el solenoide 3. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

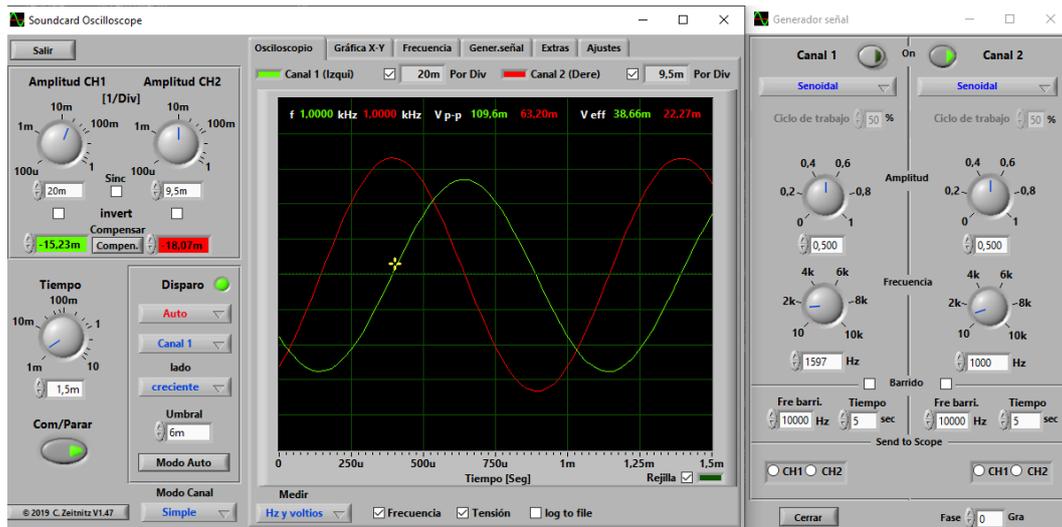


Ilustración 27: Funciones de onda generada e inducida para el solenoide 4. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

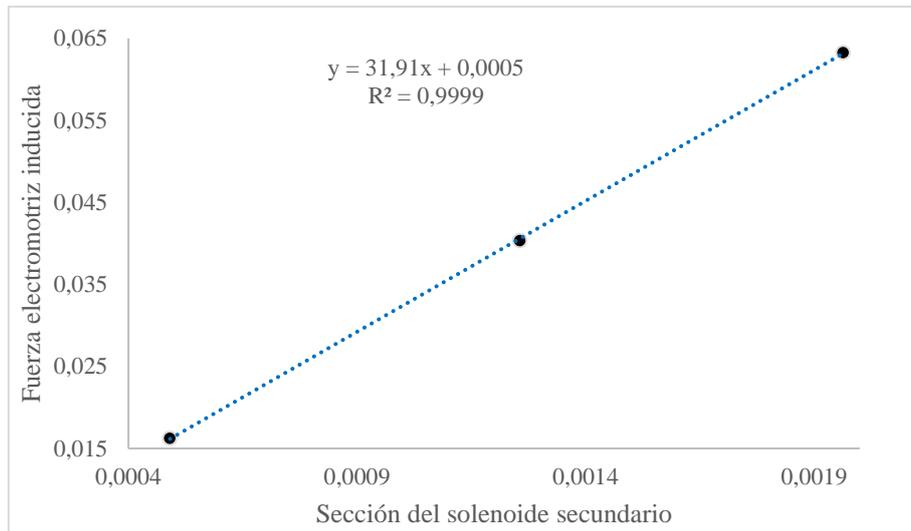


Ilustración 28: Gráfica obtenida en la práctica 2.

Resultados para la práctica 3.

Estas pruebas se han realizado utilizando los solenoides 1, 4 y 5.

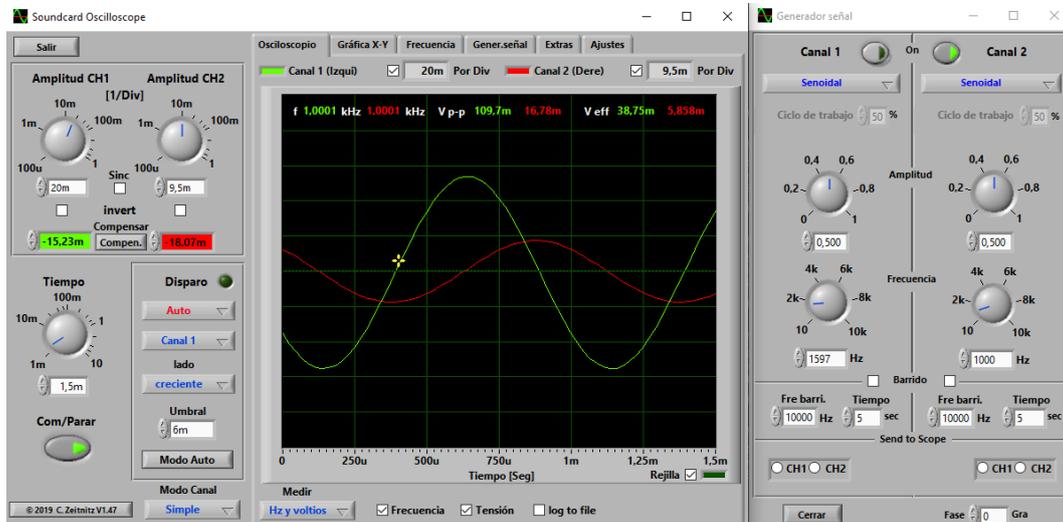


Ilustración 29: Funciones de onda generada e inducida para el solenoide 4. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

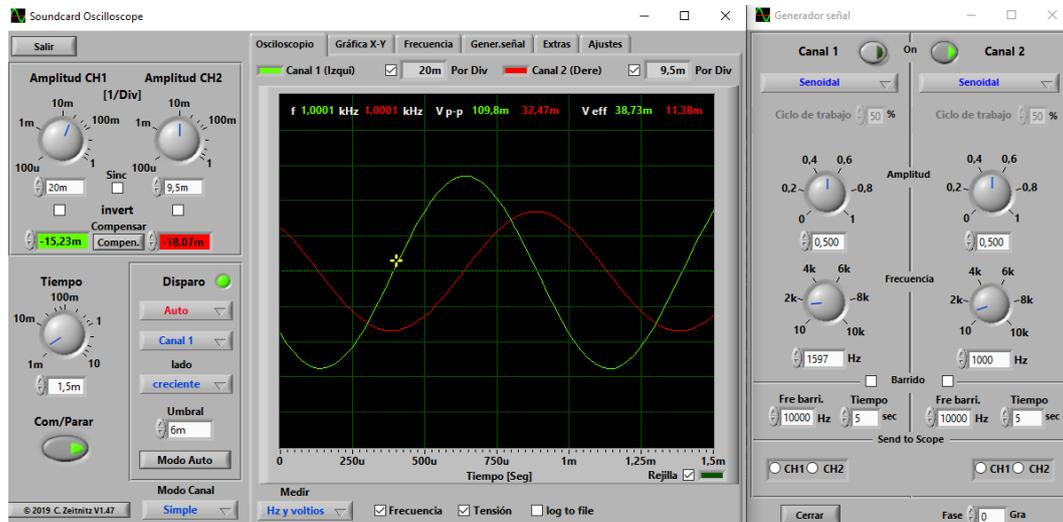


Ilustración 30: Funciones de onda generada e inducida para el solenoide 5. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

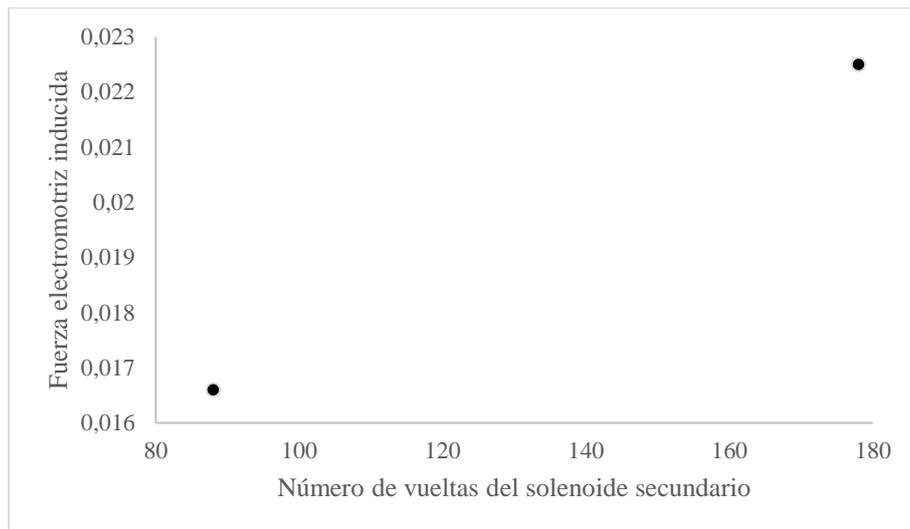
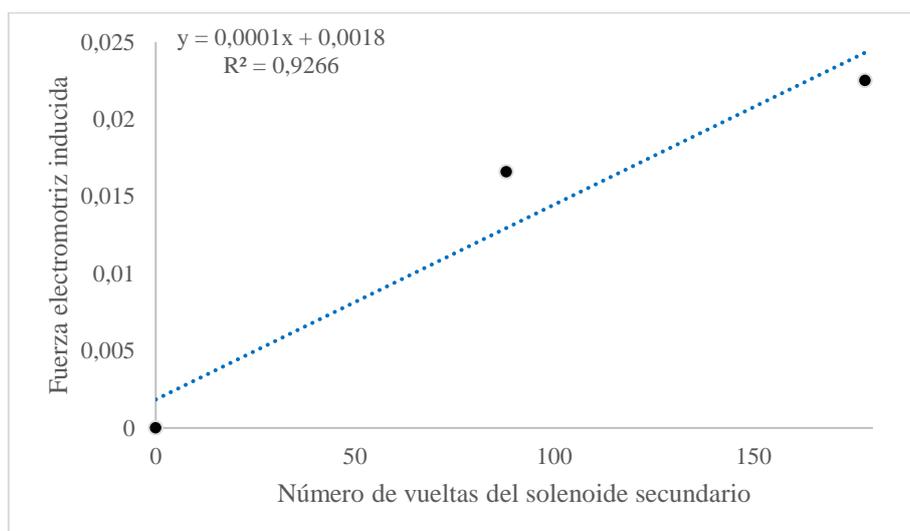


Ilustración 31: Gráfica obtenida en la práctica 3.

Debido a que solo se han preparado dos bobinas con la misma sección pero distinto número de vueltas en la práctica 3, el análisis de los datos solo permite extraer la conclusión de que, a mayor número de vueltas en el solenoide secundario, mayor fuerza electromotriz inducida.

Se podría añadir un tercer punto a esta gráfica, el origen de coordenadas, ya que cuando el número de vueltas sea 0 no aparecerá fuerza electromotriz inducida. El problema es que al incluir este punto la gráfica pierde bastante precisión, ya que al no ser los solenoides secundarios de la misma longitud el flujo que circula a través de ellos no solo dependerá del número de vueltas, sino también de su posición dentro del solenoide principal. Esto no tiene importancia a la hora de analizar cualitativamente los datos obtenidos, pero sí a la hora de realizar un análisis más cuantitativo.



Para verificar que la fuerza electromotriz depende linealmente del número de vueltas del solenoide secundario se utilizó un juego de bobinas comerciales. Repitiendo el mismo proceso que en la práctica 3 para ese juego de bobinas se obtuvieron los siguientes resultados:

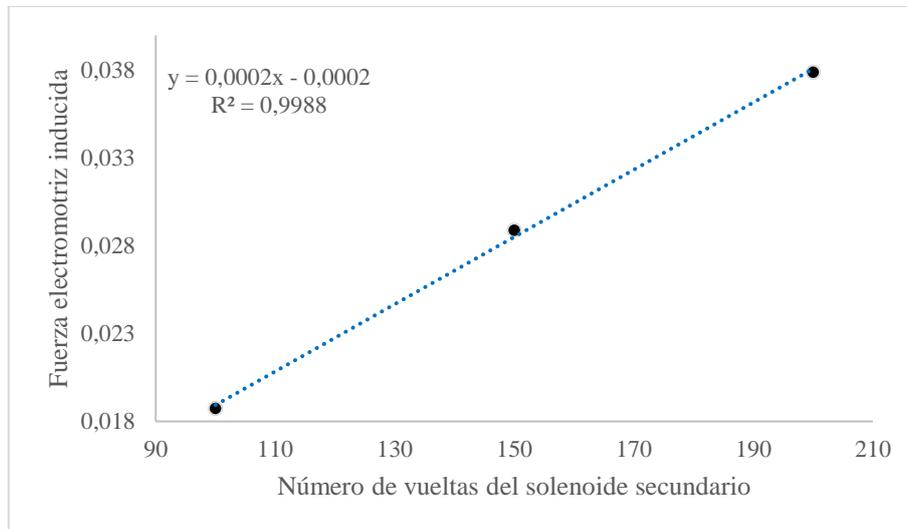


Ilustración 32: Gráfica obtenida en la práctica 3 con juego de bobinas comerciales.

Así, se puede asegurar que la práctica propuesta proporciona resultados aceptables al utilizar más bobinas, ajustándose los valores de la fuerza electromotriz inducida perfectamente a una recta.

Resultados para la práctica 4.

Estas pruebas se han realizado utilizando los solenoides 1 y 5.

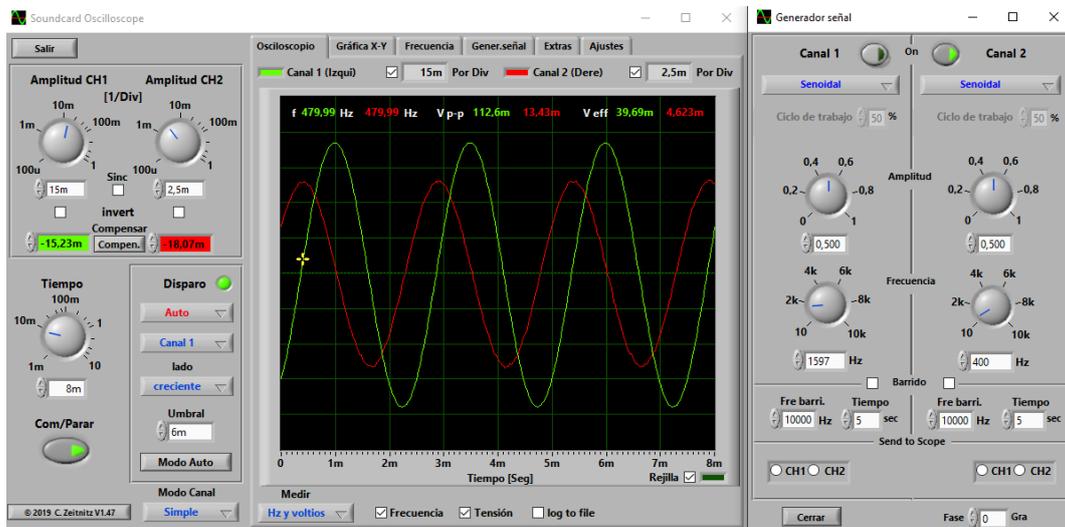


Ilustración 33: Funciones de onda para una onda generada de frecuencia 400 Hz. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

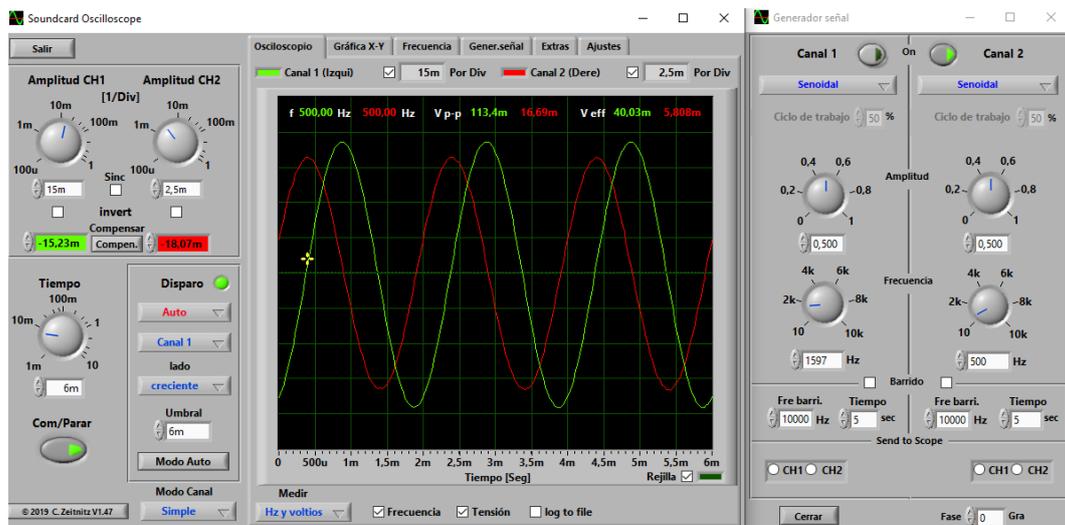


Ilustración 34: Funciones de onda para una onda generada de frecuencia 500 Hz. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

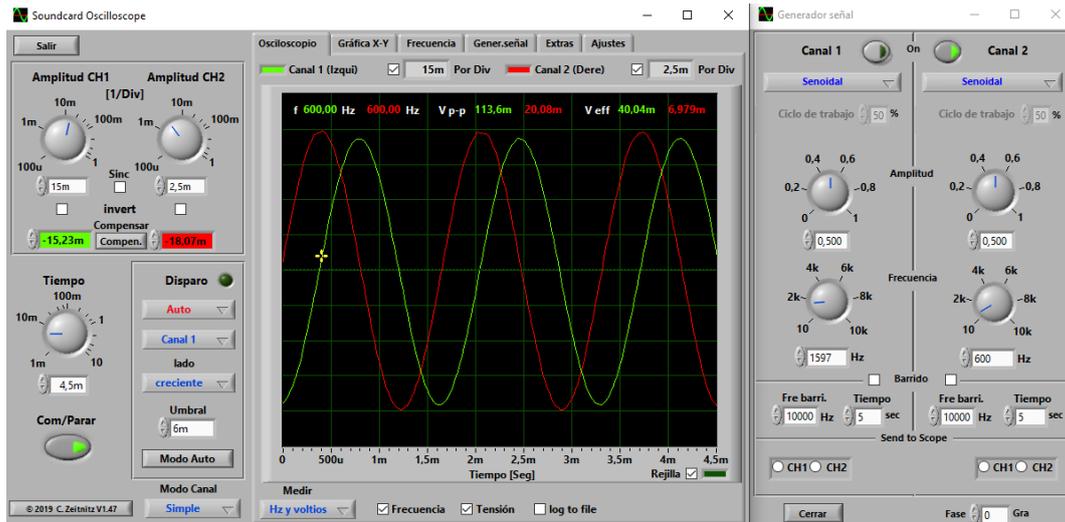


Ilustración 35: Funciones de onda para una onda generada de frecuencia 600 Hz. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

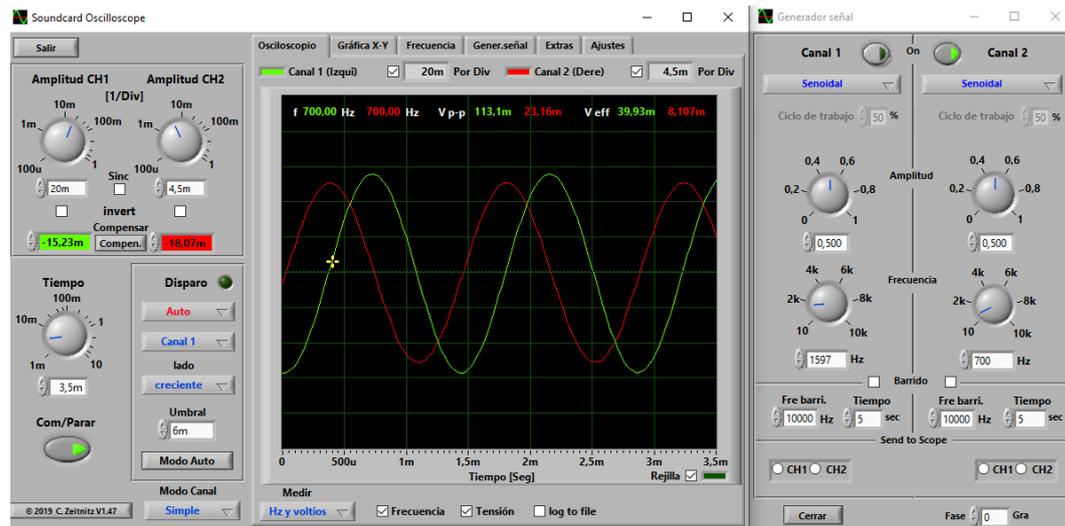


Ilustración 36: Funciones de onda para una onda generada de frecuencia 700 Hz. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

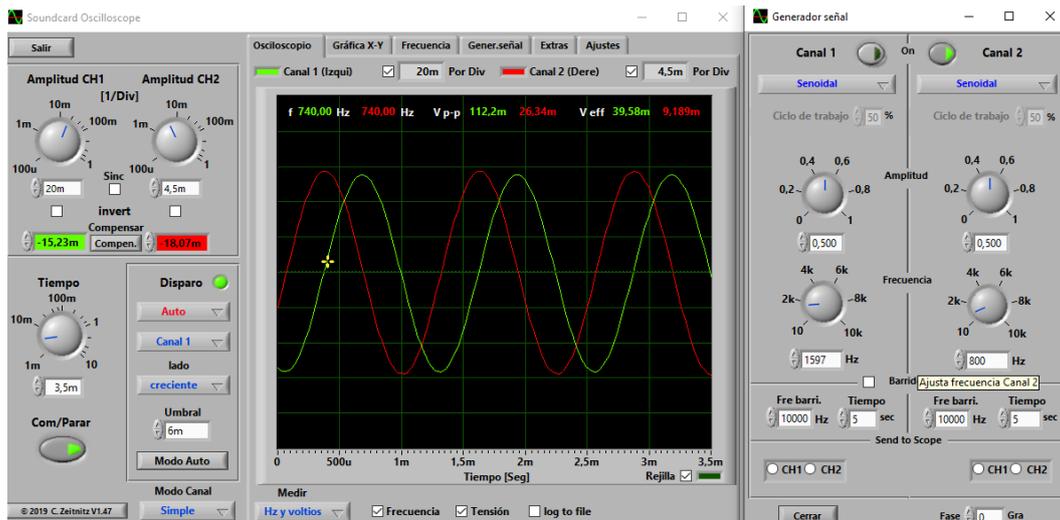


Ilustración 37: Funciones de onda para una onda generada de frecuencia 800 Hz. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

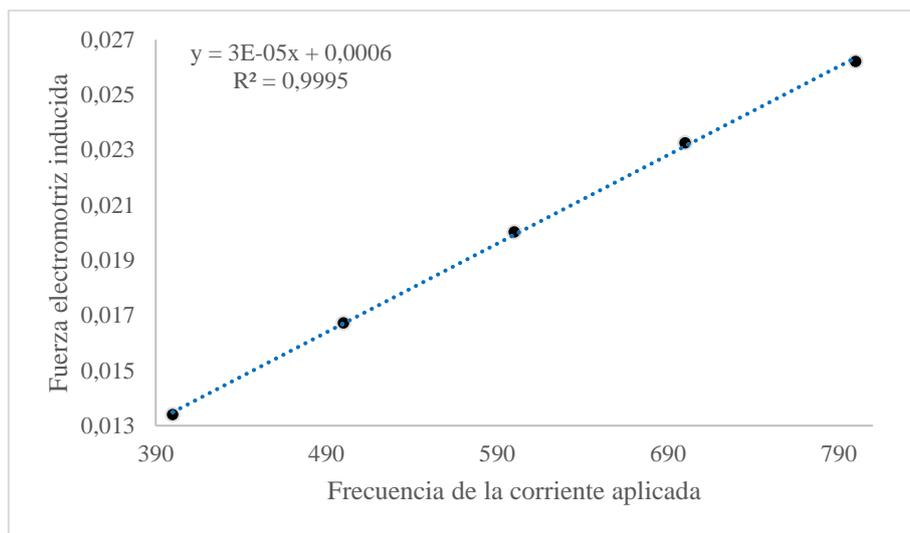


Ilustración 38: Gráfica obtenida para la práctica 4.

Resultados para la práctica 5.

Estas pruebas se han realizado utilizando los solenoides 1 y 5.

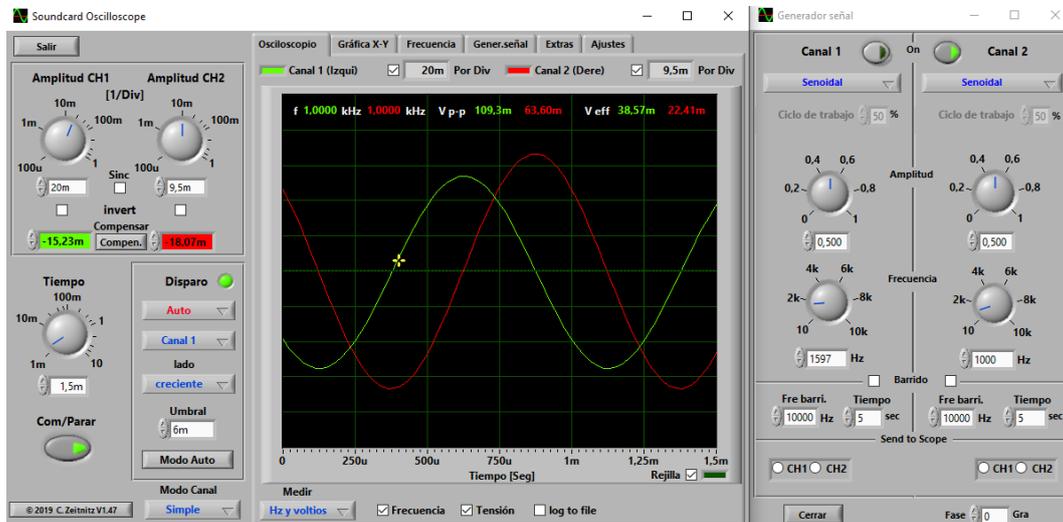


Ilustración 39: Funciones de onda generada e inducida para una onda generada de forma senoidal. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

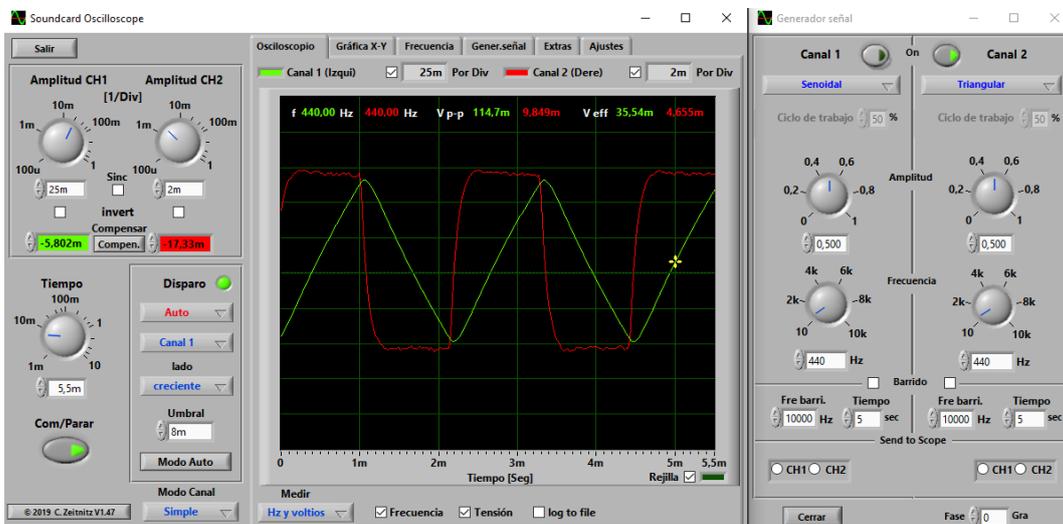


Ilustración 40: Funciones de onda generada e inducida para una onda generada de forma triangular. Verde: onda generada. Roja: onda inducida.

En este caso no se han planteado más pruebas con el resto de las formas posibles para las funciones de onda, ya que los resultados obtenidos no eran claros y podían inducir a confusión y error entre los alumnos.

Bibliografía

- Anta, A., & Sancho, C. (2011). Experimentos e investigaciones en Física. En A. Anta, M. Belmonte, A. Caamaño, O. Casellas, J. Corominas, D. Couso, . . . M. Tortosa, *Física y Química. Investigación, innovación y buenas prácticas* (págs. 105-131). Barcelona: GRAÓ, de IRIF, S.L.
- Ballesta, J., & García, M. (2019). *Didáctica aplicada de la física en la educación secundaria*. Madrid: Síntesis.
- Bartiromo, R., & De Vicenzi, M. (2016). *Electrical Measurements in the Laboratory Practice*. Roma: Springer.
- Beerens, A., & Kerkhofs, A. (1974). *113 experimentos con el osciloscopio*. Madrid: PARANINFO.
- Caamaño, A. (2011). Los trabajos prácticos en Física y Química: interpretar e investigar. En J. Ametller, A. Caamaño, P. Cañal, D. Couso, J. Gallástegui, M. Jiménez-Aleixandre, . . . N. Sanmartí, *Didáctica de la Física y la Química* (Vol. II, págs. 143-162). Barcelona: GRAÓ, de IRIF, S.L.
- Cortel, A. (2005). Experiencias de cátedra en la enseñanza de la Física en secundaria. En Á. Calvo, C. Carreras, J. Carrión, A. Cortel, J. García, J. León, . . . M. Yuste, *Nuevos enfoques para la enseñanza de la Física* (págs. 63-101). Ministerio de Educación y Ciencia.
- Junta de Castilla y León. (2015). ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. *BOCYL*, 86, 32481-32984.
- Mini Physics. (26 de 06 de 2022). *Mini Physics*. Obtenido de <https://www.miniphysics.com/ss-magnetic-field-due-to-current-in-a-solenoid.html>
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2022). Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato. *BOE*, 82(I), 46047-46408.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *BOE*, 3(I), 169-546.

PACO. (17 de 06 de 2022). *Wikipedia*. Obtenido de

<https://es.wikipedia.org/wiki/Osciloscopio#/media/Archivo:Osciloscopio.png>

Rosado, L. (1979). *Didáctica de la Física*. Zaragoza: Luis Vives.

Ruiz, F. (1987). *Manual del Osciloscopio*. Barcelona: CEAC S. A.