

Elaboración de una práctica de laboratorio:

“Fabricación y estudio de un condensador en segundo curso de bachillerato”



Universidad de Valladolid



Alumno: Jiménez Flores, Daniel.

Tutores: Muñoz Muñoz, José María.

Torres Cabrera, Carlos.

Índice de contenidos

1	Resumen	5
2	Introducción	6
2.1	Objetivos generales.	6
2.2	Objetivos específicos.	6
2.3	Palabras clave.	7
2.4	Hipótesis iniciales.	7
3	Agenda 2030	8
4	Modelos de aprendizaje empleados	12
5	Metodología S.T.E.M.	15
6	Materias impartidas en segundo curso de bachillerato	16
7	Unidad didáctica: “Campo eléctrico y principios de la electrostática”	18
7.1	Introducción.	18
7.2	Justificación conforme a la normativa vigente.	19
7.3	Datos del contexto escolar y familiar.	19
7.4	Objetivos y contribuciones a las competencias básicas.....	20
7.5	Contenidos.	21
7.6	Materiales.	21
7.7	Temporalización y secuencia de sesiones.....	23
7.8	Atención a la diversidad.	24
7.9	Metodología didáctica.	25
7.10	Evaluación.	25
8	Marco teórico previo	27
8.1	<i>Sesión 7: explicación del teorema de Gauss y aplicación al cálculo del campo eléctrico en diferentes sistemas y situaciones</i>	28
8.2	<i>Sesión 8: realización de ejercicios basados en todos los contenidos vistos durante la unidad didáctica y sesión de dudas finales por parte del alumnado</i>	37
9	Condensadores	37
9.1	1º parte de la sesión 9: ¿Qué es un condensador?	37
9.2	2º parte de la sesión 9: ¿Qué es un dieléctrico?	42
10	Proceso de construcción de un condensador	43
10.1	Elección de los materiales empleados para la construcción.....	44
10.2	Diseño, fabricación y verificación.	50
11	Contextualización del boletín de prácticas	59

11.1	Justificación y resumen.	59
11.2	Planteamiento, desarrollo y temporalización.....	59
11.3	Materiales.	60
11.4	Evaluación de riesgos asociados.....	60
11.5	Calificación.	60
11.6	Atención a la diversidad durante la práctica.	60
12	Boletín de prácticas.	61
12.1	Marco teórico.	61
12.2	Marco experimental.....	66
13	Criterios para la elaboración del informe de laboratorio.	69
14	Experiencia complementaria a la práctica.	69
15	Conclusiones.....	82
16	Prospectiva.	83
17	Bibliografía.	84
17.1	Imágenes.....	85
18	Anexo.	88

1 Resumen

El presente trabajo está basado en la creación de una práctica de física para segundo curso de bachillerato, más concretamente en la elaboración y estudio de las capacidades de condensadores fabricados por los propios estudiantes.

Durante el desarrollo se pueden diferenciar claramente dos partes, en la primera, se justifica la realización de la experiencia de laboratorio, además de encuadrar a la misma dentro del correspondiente curso académico, para lo que se verán las técnicas de enseñanza más adecuadas acorde a los recursos de los que se disponen en bachillerato. La idea de lo explicado anteriormente es que la práctica pueda ser implementada con relativa facilidad en cualquier centro, sin importar los recursos disponibles o la titularidad de este.

La segunda parte del trabajo se ha basado en el proceso de construcción y verificación del condensador, así como la posterior elaboración del guion de laboratorio que será entregado al alumnado.

Debido a que en el proceso educativo actual las plataformas digitales cuentan con un gran peso al ser empleadas por los estudiantes como fuentes de búsqueda de información, se ha considerado interesante el tenerlas en cuenta como guías de referencia para la fabricación de los condensadores. Sin embargo, la mayoría del material consultado presentaba incongruencias desde el punto de vista físico, por lo que fue descartado.

Por el motivo anteriormente expuesto, gran parte de esta segunda parte del trabajo se ha basado en la elaboración de un procedimiento propio para la construcción de condensadores empleando materiales caseros.

Para verificar la validez de los condensadores construidos, se deducirán las expresiones teóricas que describen a estos dispositivos, las cuales serán empleadas para estudiar la relación existente entre la capacidad y parámetros como la superficie de las armaduras y el espesor del dieléctrico empleado (en nuestro caso papel de folio). De tal forma que es posible obtener las permitividades dieléctricas relativas y absolutas del papel, que, al ser comparadas con la bibliografía, se comprobó que fueron calculadas con una alta precisión, y por consiguiente, se aceptó como válida la alternativa de fabricación propia.

Debido a la buena precisión de los resultados, se ha optado por que sean los propios alumnos quienes repitan durante la práctica el proceso seguido para la obtención de las susodichas permitividades. Además, y como parte de ampliación a la experiencia y atendiendo a la diversidad, se ha elaborado una parte optativa para todos aquellos alumnos que quisiesen ampliar conocimientos, donde se estudiarán configuraciones en serie y en paralelo de condensadores.

Finalmente, se recogen las conclusiones más importantes y se presentan algunas modificaciones de la práctica, con el objetivo de trabajar otros aspectos de los condensadores y hacerla más completa.

2 Introducción.

Para la elección de la temática de este trabajo se han tenido en cuenta las experiencias vividas por el propio autor, tanto en su etapa como estudiante, como en el periodo de prácticas externas llevadas a cabo durante el máster en formación del profesorado de secundaria, donde se pudo apreciar como los estudiantes de física de segundo curso de bachillerato presentaban problemas para asimilar conceptos básicos de física, y dentro de esta asignatura, la parte de electrostática era una de las grandes odiadas.

Con el objetivo de poner fin a tal situación, se ha decidido llevar a cabo una práctica de laboratorio basada en la construcción y estudio de las características de un condensador, ya que, durante todo el bachillerato, no suele verse nada sobre esta clase de dispositivos.

Es importante que no solamente resultará útil la parte puramente experimental, sino que también tendrá gran importancia el marco teórico previo, el cual será utilizado para afianzar y expandir conocimientos teóricos, en especial la Ley de Gauss.

Aunque la anterior ley es de gran utilidad para calcular campos eléctricos, esta no se estudia con demasiado detenimiento en bachillerato, razón por la que muchos de los alumnos que posteriormente deciden hacer estudios tecnológicos o científicos presentan carencias y dificultades a la hora de utilizarla.

Asimismo, el lector debe de ser consciente de que durante el trabajo se le dará tanta importancia al contenido transmitido como a la forma de hacerlo. Por ello, y para que los conocimientos tratados sean eficaces, se usarán los modelos de aprendizaje basados en proyectos y en competencias, donde se ha constatado sus eficacias respecto a la técnicas pedagógicas tradicionales (*Blank, 1997*). Lo explicado anteriormente justifica que se combinen estos dos estándares educativos junto a la agenda 2030, de tal modo que la práctica también ayude a despertar el interés del alumnado hacia la física.

2.1 Objetivos generales.

- Aplicar los conocimientos adquiridos durante el Máster de formación del Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas a la elaboración de una práctica de física basada en condensadores y adaptada al nivel de segundo de bachillerato.
- Verificar experimentalmente que la práctica que se pretende realizar sea viable desde el punto de vista físico y no presente incoherencias que pudieran llevar a la confusión de los alumnos.

2.2 Objetivos específicos.

Pueden distinguirse los siguientes:

- Justificar la necesidad de realizar la práctica de acuerdo a los nuevos estándares de aprendizaje.
- Combatir las carencias que la mayoría de los estudiantes presentan en el campo de la electrostática.
- Crear una base teórica previa de tal forma que permita llevar a cabo el experimento.
- Explicar y saber aplicar correctamente la Ley de Gauss.
- Elaborar un proceso válido de construcción de un condensador con materiales de fácil obtención.
- Comparar el método de fabricación propio con otros que puedan ser encontrados tanto en internet como en la bibliografía.
- Obtener las permitividades absolutas y relativas de un determinado dieléctrico (papel).
- Elaborar un guion de laboratorio para los alumnos.
- Estudiar las conexiones en serie y en paralelo de los condensadores.
- Familiarizar al alumnado con el método experimental.

2.3 Palabras clave.

Campo eléctrico, condensador, electrostática, flujo eléctrico y líneas de campo.

2.4 Hipótesis iniciales.

- Se parte de la premisa de que será posible implementar en un curso de segundo de bachillerato la práctica de condensadores que se pretende realizar, tanto en el aspecto temporal como en las partes teóricas y experimentales.
- Se considera que para la fabricación del condensador será posible encontrar una amplia amalgama de materiales aptos para tal fin, pudiéndose obtener experimentalmente sus permitividades eléctricas absolutas y relativas.
- El material bibliográfico que se puede encontrar por la red referente a la construcción de condensadores no podrá ser empleado como una guía de referencia cien por cien fiable, si no que necesitará un proceso previo de verificación, ya que podrían contener incongruencias desde el punto de vista físico.

- Será posible realizar un análisis de la capacidad resultante cuando se tienen conexiones de condensadores en serie y en paralelo (por separado).

3 Agenda 2030

Entrando en materia, se comenzará explicando la Agenda 2030, la cual tiene su origen en un plan de acción global adoptado por las Naciones Unidas en 2015 para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de todos los seres humanos que lo habitan. Se incluyen un total de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos por sus siglas como ODS, y estos a su vez conformados por un total de 169 metas específicas relacionadas con temas tan vitales como la erradicación de la pobreza, la igualdad de género, la educación, la salud, la energía limpia, el trabajo decente y el crecimiento económico sostenible.

Tales 17 objetivos son los siguientes:

1. ***“Erradicar la pobreza en todas sus formas y para todos”.***
2. ***“Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenibles”.***
3. ***“Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades”.***
4. ***“Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida”.***
5. ***“Lograr la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de todas las mujeres y niñas”.***
6. ***“Garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación y saneamiento sostenible”.***
7. ***“Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”.***
8. ***“Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos”.***
9. ***“Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación”.***
10. ***“Reducir la desigualdad en y entre los países”.***
11. ***“Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”.***
12. ***“Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”.***
13. ***“Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”.***
14. ***“Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible”.***
15. ***“Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una ordenación sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica”.***
16. ***“Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles”.***

17. “Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible”.



Imagen 1: objetivos de desarrollo sostenible.

Se pretenden abordar los desafíos globales más urgentes, para lo que se plantea un enfoque integral que reconoce la interconexión entre los distintos aspectos del desarrollo sostenible. Los ODS no solamente son aplicables a países subdesarrollados o en vías de desarrollo, sino que también se aplican a los países considerados del primer mundo, incluyendo aspectos como la reducción de la huella de carbono y la protección de la naturaleza a través de la conservación de la biodiversidad. Cada uno de los ODS se enfoca en un área particular y está diseñado para ser integrado con los demás, de manera que se logre un progreso equilibrado en todas las áreas.

El cumplimiento de la Agenda 2030 es una responsabilidad compartida entre los gobiernos, organizaciones privadas, actores de la sociedad civil y los ciudadanos. Se requiere un enfoque colaborativo y coordinado para alcanzar los objetivos y metas establecidos en la agenda, siendo uno de los pilares más importantes para su implementación el sector educativo en general, y el profesorado en particular, razones las anteriores por las que el docente deberá de tenerla en cuenta y utilizarla como guía de referencia en su día a día.

Aunque desde el ámbito educativo se intente influir en todos los ODS, es lógico suponer que habrá algunos con más peso que otros, considerándose de vital importancia garantizar el número cuatro: “Educación de calidad”, la cual consiste en “Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos”.



Imagen 2: objetivo 4 de los ODS.

Del ODS 4 se destacan las siguientes metas:

- **“4.1 calidad de la educación primaria y secundaria:** asegurar que todas las niñas y todos los niños terminen la enseñanza primaria y secundaria”.
- **“4.2 calidad de la educación preescolar:** asegurar que todas las niñas y todos los niños tengan acceso a servicios de atención y desarrollo en la primera infancia y educación preescolar de calidad”.
- **“4.3 acceso igualitario a la formación superior:** asegurar el acceso igualitario de todas las personas a una formación técnica, profesional y superior de calidad, incluida la enseñanza universitaria”.
- **“4.4 competencias para acceder al empleo:** aumentar considerablemente el número de jóvenes y adultos que tienen las competencias necesarias para acceder al empleo”.
- **“4.5 disparidad de género y colectivos vulnerables:** eliminar las disparidades de género en la educación y asegurar el acceso igualitario a todos los niveles de la enseñanza y la formación profesional para las personas vulnerables”.
- **“4.6 alfabetización y conocimiento de aritmética:** asegurar que todos los jóvenes y una proporción considerable de los adultos estén alfabetizados y tengan nociones elementales de aritmética”.
- **“4.7 educación global para el desarrollo sostenible:** asegurar que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible”.

También puede destacarse la importancia que cobran los ODS 5 y 8: “Igualdad de género” y “Trabajo decente y crecimiento económico”.



Imagen 3: objetivo 5 de los ODS.

Dentro de la igualdad de género cobra especial interés:

- **5.6:** “Mejorar el uso de la tecnología instrumental, en particular la tecnología de la información y las comunicaciones para promover el empoderamiento de las mujeres”.

Mientras que para el ODS 8 se destaca:



Imagen 4: objetivo 8 de los ODS.

- **8.6:** “Reducir considerablemente la proporción de jóvenes que no están empleados y no cursan estudios ni reciben capacitación”.

Como colofón a este apartado se deja la siguiente conclusión:

La labor del futuro docente no se basará únicamente en la transmisión de contenidos relacionados con su campo del saber, si no que deberá de ir más allá y adoptar la postura de educador, la cual unifica el marco teórico de los conocimientos con la plena inserción del alumnado en la sociedad, con el objetivo de fomentar ciudadanos cívicos, y para la satisfacción de los objetivos anteriores se usará a la Agenda 2030 como guía de referencia.

4 Modelos de aprendizaje empleados.

Durante la sección anterior se han visto cuales deben de ser las principales motivaciones del proceso educativo, donde las mismas serán llevadas a la práctica con un proyecto basado en la elaboración de un condensador. No obstante, todavía queda por explicar cuáles serán las técnicas y/o modelos pedagógicos más adecuados para tales fines.

Como para el caso particular que atañe a este trabajo se necesita una buena base de conocimientos teóricos para posteriormente llevarlos a la práctica, se ha decidido que los modelos de aprendizaje más adecuados son: el aprendizaje por competencias y el aprendizaje por proyectos.

Pasemos a explicar brevemente cada uno de ellos y como encajan en nuestro proyecto.

- **Aprendizaje por competencias (AC)**: es un modelo de enseñanza que se centra en fomentar y desarrollar la propia autonomía del estudiante, es decir, aprender a aprender. El enfoque seguido es el de la vinculación e interrelación de las materias que contribuyen aportando conocimientos científicos o técnicos y desarrollando competencias genéricas y específicas aplicables a contextos de la vida real, y, por lo tanto, abandonando el planteamiento de simplemente memorizar el contenido para luego plasmarlo en un examen.

Sin embargo, también será necesario por parte del alumnado un mayor grado motivación, esfuerzo y desarrollo de estrategias cognitivas y metacognitivas (Schunk, 2008).

Algunos aspectos clave que se tendrán en cuenta para llevarlo a la práctica son:

1. **Indicar, de forma clara y concisa, en qué consiste la competencia que se pretende desarrollar y evaluar.**
2. **Detallar cuál es el objetivo que se pretende alcanzar en cada actividad.**
3. **Especificar las características y el contexto en las que se van a realizar las actividades, así como las herramientas a utilizar.**
4. **Establecer el tiempo máximo en el que se va a realizar la actividad.**
5. **Indicar y facilitar los materiales o recursos necesarios.**
6. **Seleccionar la estrategia más adecuada para poner en marcha la actividad prevista.**
7. **Establecer los indicadores o estándares que permitan evaluar el desarrollo de la competencia.**



Imagen 5: esquema resumen del aprendizaje por competencias.

La forma en la que encajan todas las características anteriores en la práctica a realizar es a través de la impartición de un temario teórico basado en la electrostática y enfocado en la adquisición y razonamientos de los puntos clave de la teoría, viendo en que principios físicos se basan y como se materializan y afectan a situaciones cotidianas del día a día, poniéndoles finalmente en juego con la elaboración de un condensador. Este último punto es más conveniente abordarlo desde el punto de vista del aprendizaje basado en proyectos, que como se verá a continuación tiene puntos comunes al aprendizaje basado en competencias, y para el caso que atañe a este trabajo se pueden considerar como complementarios.

- **Aprendizaje basado en proyectos (ABP):** es un enfoque educativo en el cual los estudiantes aprenden a través de la planificación, diseño y realización de proyectos que abordan problemas del mundo real o desafíos planteados por parte del profesor.

Con esta metodología, los alumnos trabajan en equipo para definir y resolver un problema o para crear algo nuevo, aplicando habilidades y conocimientos adquiridos en varias áreas de estudio. Los proyectos son a menudo interdisciplinarios y desarrollar habilidades de investigación, resolución de problemas, pensamiento crítico, colaboración y comunicación.

Este tipo de aprendizaje se considera una forma efectiva de fomentar la motivación de los estudiantes y aumentar su capacidad de retener y aplicar el conocimiento. Además, puede ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades de liderazgo y organización, y también a prepararlos para el mundo laboral.

Algunas de las ventajas del aprendizaje basado en proyectos que han recogido diferentes pedagogos y estudiosos de las ciencias de la educación incluyen:

1. **Los alumnos desarrollan habilidades y competencias tales como colaboración, planteamiento de proyectos, comunicación, toma de decisiones y manejo del tiempo** (Dickinson et al., 1998).
2. **Se aumenta la motivación, así como un incremento en la asistencia a los centros, mayor participación en clase y mejor disposición para realizar las tareas** (Bottoms & Webb, 1998).
3. **Mejora la satisfacción con el aprendizaje y prepara mejor a los estudiantes para afrontar situaciones reales que se encontrarán en su futuro laboral** (Sánchez, 2013).
4. **Integración entre el aprendizaje en el centro y la realidad. Los estudiantes retienen mayor cantidad de conocimiento y habilidades cuando están comprometidos con proyectos estimulantes** (Reyes, 1998).
5. **Desarrollo de habilidades de colaboración para construir conocimiento. El aprendizaje colaborativo permite a los estudiantes compartir ideas entre ellos, expresar sus propias opiniones y negociar soluciones, habilidades todas, necesarias en los futuros puestos de trabajo** (Bryson, 1993).
6. **Incrementar las habilidades para la resolución de problemas** (Moursund et al., 1997).
7. **Acrecentar las fortalezas individuales de aprendizaje y de sus diferentes enfoques y estilos hacia este** (Thomas, 1998).
8. **Aprender de manera práctica a usar la tecnología.** (Kadel, 1999).



Imagen 6: esquema resumen del aprendizaje basado en proyectos.

A partir de toda la información anterior, resulta fácilmente comprensible entender la forma en la que se complementan ambos modelos de enseñanza, haciendo especial énfasis en como la motivación que se origina en el aprendizaje por proyectos es usada para llevar a cabo el aprendizaje por competencias, ya que este último precisaba de un alto grado de estímulos y alicientes para ser desarrollado correctamente.

5 Metodología S.T.E.M.

Una vez que se tienen los tipos de enseñanza que se usarán para desarrollar las clases, se pasará a ver las técnicas mediante las cuales serán llevados a la práctica, se trata de la metodología S.T.E.M. (Science, Technology, Engineering and Mathematics).

Tal enfoque educativo se basa en la idea de que el aprendizaje debe ser interdisciplinario, y que, al combinar áreas aparentemente distintas como las Ciencias, la Tecnología, la Ingeniería y las Matemáticas, se pueden crear oportunidades para que los estudiantes aprendan de manera más significativa.

La metodología STEM implica una serie de estrategias educativas, como el aprendizaje basado en proyectos, la resolución de problemas y la colaboración en equipo. Los estudiantes tienen la oportunidad de explorar problemas complejos y encontrar soluciones creativas a través de la experimentación, el diseño y la implementación de proyectos. De ahí que encaje tan adecuadamente con los intereses y objetivos de la práctica que se pretende desarrollar.

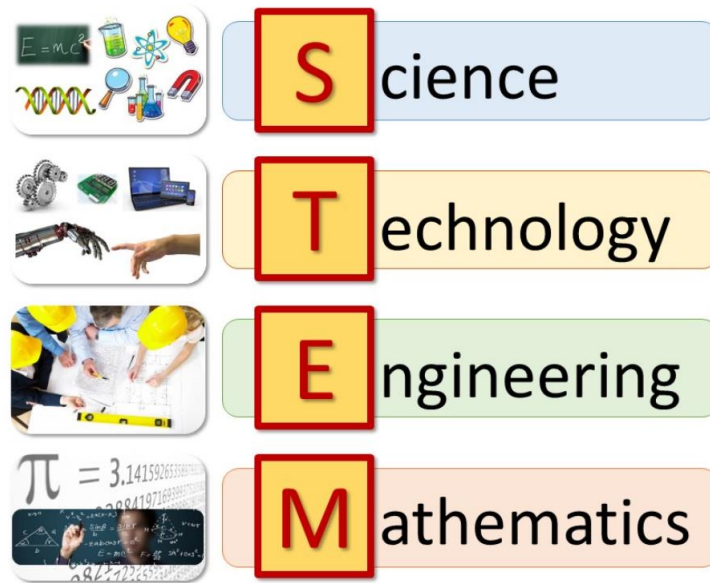


Imagen 7: esquema de la metodología S.T.E.M.

6 Materias impartidas en segundo curso de bachillerato.

La justificación de este apartado radica en familiarizar al lector con las materias impartidas a un alumno promedio de segundo de Bachillerato en la comunidad autónoma de Castilla y León, la razón por la que se ha decidido incluirlas radica en que con la práctica de “elaboración y estudio de un condensador” no solo se busca trabajar los conocimientos de la asignatura de Física, sino que se pretende que sea un trabajo transversal, donde convergerán diferentes ramas del conocimiento.

Por el motivo anteriormente expresado, es imprescindible conocer el marco referencial de materias obligatorias y optativas con las que podremos contar para llevar a cabo la experiencia, ya que sería absurdo presuponerle unas determinadas competencias que el alumnado nunca hubiera trabajado y estudiado.

A continuación, se expone la estructura académica de segundo de bachillerato durante el curso académico 2022-2023.

2º Bachillerato. Modalidad de ciencias.	
Asignaturas troncales.	Horas.
-Historia de España.	4
-Lengua castellana y literatura.	4
-Matemáticas II.	4
-1º Lengua extranjera. <input type="checkbox"/> Alemán. <input type="checkbox"/> Francés. <input type="checkbox"/> Inglés.	4
Asignaturas de opción troncales (elegir 2).	Horas.
-Biología.	4
-Dibujo técnico II.	4
-Física.	4
-Geología.	4
-Química.	4
Asignaturas específicas I (elegir 1).	Horas.
-Biología.	4
-Ciencias de la Tierra y medio Ambiente.	4
-Geología.	4
-Dibujo técnico II.	4
-Física.	4
-Historia de la filosofía.	4
-Química.	4
-Tecnología industrial.	4
-2º Lengua extranjera. <input type="checkbox"/> Alemán. <input type="checkbox"/> Francés. <input type="checkbox"/> Inglés.	4
Asignaturas específicas II (elegir 1).	Horas.
-Historia de la música y la danza.	3
-Psicología.	3
-Tecnologías de la información y la comunicación II	3

Tabla 1: asignaturas de 2º curso de Bachillerato. Modalidad de ciencias.

Como se puede ver en la *tabla 1*, la asignatura de Matemáticas es obligatoria para todos aquellos estudiantes que hagan segundo de bachillerato por la modalidad de Ciencias, por lo que se les podrá presuponer que cuentan con los conocimientos matemáticos necesarios.

Por otro lado, las materias de Química y Tecnología Industrial también serán de gran utilidad para el trabajo, ya que parte de lo aprendido puede ser llevado a la práctica durante el proyecto, no obstante, ambas son optativas, por lo que no todos los alumnos de física las estarán cursando, para suplir tal carencia se proponen dos soluciones:

La primera de ellas es trabajar en grupos donde en cada uno se cuente con un alumno/a que curse química y otro de tecnología.

La segunda es contar con algún profesor de Química (en caso de no ser posible bastará con el propio profesor de física) para las explicaciones de los conceptos necesarios, consiguiendo de tal forma transversalidad entre diferentes ramas de la ciencia.

Sin embargo, no se ha considerado necesario disponer de algún profesor del departamento de Tecnología debido a que el docente de Física es capaz de explicar todos aquellos aspectos imprescindibles para llevar a cabo la práctica.

7 Unidad didáctica: “Campo eléctrico y principios de la electrostática”.

Antes de proseguir debe de recordarse que, al encontrarnos en segundo de bachillerato, y por lo tanto ser un curso par, todavía no ha entrado en vigor la LOMLOE. Motivo por el cual se desarrollará el presente trabajo siguiendo las directrices de la anterior ley, aunque con vistas de futuro hacia la nueva normativa.

7.1 Introducción.

La presente unidad didáctica se elabora con el objetivo de hacer comprender al alumnado de segundo curso de bachillerato los conceptos fundamentales de la Electroestática, que no es más que aquella rama de la Física encargada de analizar los fenómenos mutuos que se producen entre los cuerpos como consecuencia de sus cargas eléctricas, es decir, el estudio de las cargas eléctricas en equilibrio. A su vez, la carga eléctrica puede ser definida como aquella propiedad de la materia responsable de los fenómenos electrostáticos, cuyos efectos aparecen en forma de atracciones y repulsiones entre los objetos o partículas que la poseen.

Históricamente, la Electroestática fue la primera rama del Electromagnetismo en ser desarrollada. La ley de Coulomb fue descrita y utilizada en experimentos de laboratorio a partir del siglo XVII, y ya en la segunda mitad del XIX las leyes de Maxwell concluyeron definitivamente su estudio, además permitieron demostrar cómo las leyes de la electrostática y las que gobiernan los fenómenos magnéticos pueden ser estudiadas dentro del mismo marco teórico, denominado Electromagnetismo.

A partir de todo lo anterior, resulta lógico el considerar este tema de Electroestática como una primera introducción al bloque de Electromagnetismo, hecho que evidencia por sí solo la importancia de afianzar correctamente en los estudiantes todos estos conceptos. Ya que les permitirán comprender multitud de fenómenos cotidianos que son elementales para el desarrollo y funcionamiento de la sociedad actual.

7.2 Justificación conforme a la normativa vigente.

Según el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre (Boletín Oficial de Castilla y León, [BOCYL], 2022), en el que se regula la ordenación y currículo de bachillerato en la comunidad de Castilla y León, establece en su Artículo 3 la finalidad del Bachillerato:

“El bachillerato en la Comunidad de Castilla y León tendrá por finalidad, además de la establecida en el artículo 4 del Real Decreto 243/2022, de 5 de abril (“la finalidad es proporcionar formación, madurez intelectual y humana, conocimientos, habilidades y actitudes que permitan desarrollar funciones sociales e incorporarse a la vida activa con responsabilidad y aptitud. Asimismo, esta etapa deberá permitir la adquisición y el logro de las competencias indispensables para el futuro formativo y profesional, y capacitar para el acceso a la educación superior”), la de contribuir a la identificación y establecimiento de vínculos compartidos por parte del alumnado con la historia y tradiciones propias, con el fin de reconocer y valorar su patrimonio artístico, cultural y natural, con una actitud de interés, respeto y compromiso que contribuya a su conservación y mejora”.

Todo lo expresado en el párrafo anterior constituirá el marco de referencia empleado para la redacción del temario.

7.3 Datos del contexto escolar y familiar.

El centro en el que nos encontramos para impartir docencia (es ficticio, motivo por el cual no se citan nombres) es de carácter público y cuenta con estudios de educación secundaria obligatoria y bachillerato. Respecto a la ubicación geográfica, mencionar que se sitúa dentro del término municipal de Valladolid, es decir, se encuentra en un entorno urbano.

La clase de segundo de bachillerato supone una muestra representativa de los alumnos que constituyen el total del centro, pudiéndose destacar una amplia amalgama de niveles educativos y económicos dentro del ámbito familiar. No obstante, este factor no supone un inconveniente demasiado acentuado para desarrollar de forma correcta la actividad académica diaria, ya que no se suelen producir problemas de convivencia y el nivel de atención general del alumnado es medio-alto. Sin embargo, el amplio margen de situaciones económicas de los progenitores del alumnado en ocasiones deriva en un factor limitante para llevar a cabo determinados proyectos, razón por la que cuando estos son realizados, se busca que supongan el menor desembolso posible.

7.4 Objetivos y contribuciones a las competencias básicas.

Se tomarán como referentes las siguientes disposiciones legales:

- Ley orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, del 3 de mayo, de Educación (BOE, 2020).
- Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato (BOE, 2022).
- Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y currículo de bachillerato en la comunidad de Castilla y León (BOCYL, 2022).

Atendiendo a la disposición transitoria primera del decreto anteriormente mencionado, nos basaremos en la ORDEN EDU/363/2015, del 4 de mayo (BOCYL, 2015), por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León, se destacan los siguientes objetivos, todos ellos consensuados con el resto de los profesores del departamento de física y química:

- Comprender el origen y saber describir la interacción electrostática.
- Saber explicar el campo eléctrico desde el punto de vista de la electrostática.
- Trabajar con el campo eléctrico siguiendo razonamientos energéticos y/o dinámicos.
- Describir el movimiento de partículas eléctricamente cargadas en el seno de un campo eléctrico.
- Emplear el teorema de Gauss para calcular el campo eléctrico.
- Familiarizarse con las unidades empleadas en electrostática.
- Saber reconocer la importancia que ha tenido y sigue teniendo esta rama de la física en el desarrollo de la sociedad. Así como relacionar los conceptos aprendidos con situaciones del día a día.

Con todos los objetivos anteriores, se contribuye a la satisfacción de las siguientes competencias básicas, recogidas en el “Artículo 6. Competencias del currículo, de la orden EDU/363/2015, de 4 de mayo” (BOCYL, 2015):

- Las competencias del currículo son las establecidas en el “*artículo 2.2 del Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre*” (BOE, 2014).
- La descripción de las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación del bachillerato serán las establecidas de conformidad con la “*Orden ECD/65/2015, de 21 de enero*” (BOE, 2015):
 - a) Comunicación lingüística: a través del uso de términos específicos, razonamiento, lectura y comprensión de artículos científicos que traten sobre los avances en este campo.
 - b) Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología: utilizando los distintos tipos de ecuaciones provenientes de los resultados aplicables a la electrostática.

- c) Competencia digital: indagando adecuadamente a través de los recursos tecnológicos disponibles para la obtención de información relacionada con el tema.
- d) Aprender a aprender: como la física explica los fenómenos electrostáticos, se busca que en el estudiante surja un espíritu de superación y sea capaz de buscar y aprender sobre contenido relacionado.
- e) Competencias sociales y cívicas: trabajar en grupo y la cooperación se llevará a cabo en el aula y el alumno lo podrá extrapolar a otros ámbitos, respetando siempre a los demás.
- f) Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor: formándose un espíritu crítico mediante el razonamiento y planteamiento de problemas relacionados con la unidad didáctica. Posteriormente será capaz de formular sus propias hipótesis y teorías sobre la materia.
- g) Conciencia y expresiones culturales: teniendo en cuenta la aportación de la electrostática a determinados movimientos u obras artísticas.

7.5 Contenidos.

Todos los objetivos anteriormente expuestos, se concretan en los siguientes puntos:

1. ***Interacción electrostática: origen y descripción.***
2. ***Campo eléctrico: una forma de explicar la interacción electrostática.***
3. ***El campo eléctrico desde un punto de vista dinámico.***
4. ***El campo eléctrico desde un enfoque energético.***
5. ***Movimiento de partículas cargadas en el seno de un campo eléctrico uniforme.***
6. ***Cálculo del campo eléctrico a través del teorema de Gauss.***
7. ***Práctica basada en la elaboración y estudio de un condensador.***

7.6 Materiales.

Durante este apartado se enumerarán los elementos y recursos necesarios para llevar a cabo correctamente las clases:

- Materiales para llevar a cabo la práctica del condensador (no se exponen más especificaciones ya que se abordarán en los próximos apartados del trabajo).
- Pizarra digital o proyector, servirán para exponer información buscada en internet y la versión digital del libro empleado en clase.
- Libro de clase, será empleado como guía de referencia durante las explicaciones teóricas, ya que servirá para explicar al alumnado todo el bagaje teórico que es necesario que

aprendan sobre la materia de física y dará los conocimientos necesarios para comprender el funcionamiento de un condensador.

Como es de suponer no servirá cualquier libro, sino que será rigurosamente seleccionado para que cumpla los siguientes criterios:

- No podrá limitarse únicamente a presentar las fórmulas que los alumnos usarán en clase, sino que se deberá de incluir una demostración medianamente formal de cada uno de los conceptos utilizados a partir de los conocimientos previos que se les presupone a los alumnos de las especialidades científicas y tecnológicas de segundo curso de bachillerato.
- Se evitarán aquellos manuales donde se haga un uso excesivo de la narrativa, pero ¿qué es lo que significa esto? Recordamos al lector que estamos con personas que pretenden matricularse en estudios universitarios, y precisamente para prepararlos ante esta nueva etapa educativa, se ha considerado conveniente empezar a familiarizarlos con las metodologías empleadas en la mayoría de las facultades, con lo que se pretende que se acostumbren a usar material más técnico y aprendan a comprender y leer el lenguaje matemático.
- No sería de extrañar la ardua labor, por no decir imposible, que supondría encontrar el libro anteriormente descrito, por lo que los profesores del departamento de física y química deberán de ser los encargados de elaborar una serie de apuntes que serán entregados a la clase y servirán como complemento.

No obstante, se considera que el siguiente libro que se expone a continuación es el que se ajusta más fidedignamente a la descripción realizada en los párrafos anteriores.

- **Editorial:** Oxford University Press España, S.A.
- **Edición:** 2º ed.
- **Páginas:** 408
- **Dimensiones:** 22,0 x 28,7 cm
- **Idioma:** español.
- **ISBN:** 9780190502584
- **ISBN-10:** 0190502584



Imagen 8: libro seleccionado para impartir la materia.

7.7 Temporalización y secuencia de sesiones.

Antes de exponer esta sección, es interesante hacer saber que la ley establece un total de cuatro clases semanales para la asignatura de física en segundo curso de bachillerato.

Para el caso particular que atañe a este trabajo, se harán uso de 11 sesiones de 50 minutos, de las que tres clases se dedicarán para el desarrollo y puesta a punto del condensador.

El orden de ejecución queda recogido en la siguiente tabla:

Secuencia de sesiones.	
Sesión 1: introducción a la electrostática (descripción e historia). Realización de ejercicios para verificar el nivel.	Sesión 2: explicación del concepto de campo eléctrico y presentación de las ecuaciones elementales.
Sesión 3: estudiar el campo eléctrico desde los puntos de vista energéticos y dinámicos.	Sesión 4: trabajar con las ecuaciones de movimiento de partículas cargadas en el seno de un campo eléctrico.
Sesión 5: trabajar con las ecuaciones de movimiento de partículas cargadas en el seno de un campo eléctrico (continuación de la clase anterior).	Sesión 6: realización de ejercicios de los contenidos vistos hasta la fecha.
Sesión 7: explicación del teorema de Gauss y aplicación al cálculo del campo eléctrico en diferentes sistemas y situaciones.	Sesión 8: realización de ejercicios basados en todos los contenidos vistos durante la unidad didáctica y sesión de dudas finales por parte del alumnado.
Sesión 9: primera sesión de la práctica basada en la elaboración de un condensador. Breve repaso de los conocimientos teóricos necesarios y explicación de algunas nociones químicas necesarias para comprender el funcionamiento.	Sesión 10: segunda sesión de la práctica basada en la elaboración de un condensador. Comienzo del proceso de construcción.
Sesión 11: tercera sesión de la práctica basada en la elaboración de un condensador. Finalización del proceso de construcción, toma de datos y discusión de los resultados.	

7.8 Atención a la diversidad.

El nivel de competencia curricular, el estilo de aprendizaje, el tipo de comunicación y las características personales y conductuales de cada alumno dentro del aula son variadas. Para cubrir estas necesidades se tomarán medidas ordinarias, recogidas en el Plan de Atención a la Diversidad del Centro, dado que en el aula no hay personas con necesidades educativas especiales.

Entre estas medidas ordinarias se destaca la acción tutorial, la adaptación de los materiales teóricos empleados para cada una de las actividades y el refuerzo educativo, en caso de ser necesario.

En lo referente a la inclusión de todos los alumnos a los que se les imparta la unidad de Electroestática hay pocas valoraciones que hacer al respecto.

Con lo anterior no se quiere decir que no se considere importante, si no que nos centramos en un perfil de alumnado con edades comprendidas (mayoritariamente) entre los diecisiete y diecinueve años, por lo que se entiende que ya no es tan común los casos de acoso. No obstante, siempre se puede dar la situación, ante la cual se procedería poniendo fin de inmediata a tal actitud y organizar una reunión entre las partes implicadas, tras la que se decidirán las medidas correctivas a imponer.

Dentro de los casos que darían lugar al régimen sancionador se enmarcan al racismo, la homofobia, la discriminación por sexo, religión, situación económica, etc.

Respecto al transcurso de la actividad lectiva diaria, al tratarse de una ciencia (física) se trabajan con unos conocimientos neutros respecto a motivaciones políticas, religiosas, culturales, etc.

7.9 Metodología didáctica.

Se destacan los siguientes principios:

- El punto de partida de la actividad docente siempre será el nivel previo de los alumnos, por ello, se llevarán a cabo actividades iniciales (muy breves) que servirán para identificar los conocimientos previos que el estudiante posee sobre el tema (enfocadas principalmente a las herramientas matemáticas).
- Se promoverá la construcción de aprendizajes significativos a través de la selección y presentación de contenidos que resulten funcionales y que conecten con las necesidades, intereses, motivaciones, capacidades y conocimientos del alumno.
- Se facilitará al alumno distintas estrategias de resolución que le ayude a desarrollar la capacidad de aprender a aprender, es decir, que sea autónomo en la construcción de sus aprendizajes. No se trata de darle la solución, sino de ofrecerle pistas para llegar a ella. El "esfuerzo compartido" resulta indispensable para lograr una educación de calidad y debe aplicarse a todos los miembros de la comunidad educativa.

Los principios de intervención educativa regularán la práctica por medio de la alternancia de estrategias expositivas e indagatorias.

Algunas técnicas de las que se emplearán son el debate y coloquio durante la corrección de ejercicios, junto a la exposición oral del razonamiento llevado a cabo hasta la obtención del resultado final.

7.10 Evaluación.

Con la evaluación se pretende ver el grado de desarrollo de las capacidades enunciadas en los objetivos, a través de los siguientes criterios y estándares de aprendizaje, que se relacionarán con las siguientes competencias clave.

- CL: Competencia en comunicación lingüística.
- CMCT: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.
- CD: Competencia digital.
- CAA: Competencia para aprender a aprender.
- CSC: Competencias sociales y cívicas.
- CSIE: Competencia en sentido de la iniciativa y espíritu emprendedor.
- CCEC: Competencia en conciencia y expresiones culturales.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE
1. Asociar el campo eléctrico a la existencia de carga y caracterizarlo por la intensidad de campo y el potencial.	1.1. Explica procesos cotidianos a través de los principios de la electrostática. CMCT, CAA.
2. Reconocer el carácter conservativo del campo eléctrico por su relación con una fuerza central y asociarle en consecuencia un potencial eléctrico.	2.1. Resuelve los problemas planteados utilizando la teoría explicada en clase. CMCT, CAA.
3. Caracterizar el potencial eléctrico en diferentes puntos de un campo generado por una distribución de cargas puntuales y describir el movimiento de una carga cuando se deja libre en el campo.	3.1. Comprende el concepto de potencial eléctrico y es capaz de aplicarlo a la resolución de problemas. CMCT, CAA. 3.2. Es capaz de obtener las ecuaciones movimiento de partículas cargadas inmersas en el seno de un campo eléctrico. CMCT, CAA.
4. Interpretar las variaciones de energía potencial de una carga en movimiento en el seno de campos electrostáticos en función del origen de coordenadas energéticas elegido.	4.1. Puede explicar con sus propias palabras a través de la conservación de la energía mecánica el movimiento de partículas cargadas bajo la influencia de campos eléctricos. CMCT, CAA, CCL.
5. Asociar las líneas de campo eléctrico con el flujo a través de una superficie cerrada y establecer el teorema de Gauss para determinar el campo eléctrico creado por una superficie (simple) cargada.	5.1. Reconoce la importancia y las aplicaciones del teorema de Gauss. CMCT, CAA.
6. Valorar el teorema de Gauss como método de cálculo de campos electrostáticos.	6.1. Es capaz de resolver problemas a través del teorema de Gauss. CMCT, CAA.
7. Llevar a la práctica parte de los conceptos explicados en clase al elaborar un condensador.	7.1. Trabaja en grupo para complementar la teoría explicada en clase y elaborar un condensador con materiales cotidianos, además de comprender las leyes que rigen su funcionamiento. CL, CMCT, CD, CAA, CSC, CSIE.

La tabla anterior se llevará a la práctica a través de:

- **Examen escrito:** se llevará a cabo junto a la unidad de “El campo magnético”, constando de un total de seis cuestiones (tres para cada unidad didáctica). Representará un 90% de la nota trimestral.
Para su corrección se prestará atención a:
 - Planteamiento de la actividad a resolver bien detallado, y en caso de ser necesario la realización de un esquema.
 - Desarrollo y cálculo del resultado final correctamente, ya que también se evalúa las técnicas matemáticas-físicas de las que el alumno dispone.
 - Hacer uso del análisis dimensional para comprobar que todos los resultados estén acompañados de sus unidades y estas sean correctas.
- **Práctica de laboratorio:** los alumnos trabajaran en equipos para elaborar un condensador casero. Representará un 10% de la nota trimestral y será la única práctica llevada a cabo durante el trimestre, se puntuará sobre diez en base a los siguientes aspectos:
 - 20 % resultados obtenidos en el laboratorio.
 - 40 % desarrollo de la práctica y cuestiones que el docente hará durante la realización de esta.
 - 40 % elaboración del cuaderno de laboratorio.

Para la elección de tales criterios, se ha priorizado la comprensión de conceptos frente al mero resultado que se hubiera podido obtener, motivo por el cual, es esta parte la que menos porcentaje representa. También se ha considerado el hipotético caso de un alumno que por algún factor hubiese obtenido un resultado no satisfactorio, pero si hubiera asimilado las ideas clave de la práctica.

8 Marco teórico previo.

Una vez justificada la práctica dentro de la unidad didáctica de campo eléctrico y electrostática, se procederá a exponer los contenidos teóricos explicados durante las clases que se consideran fundamentales para poder llevarla a cabo con éxito. Lo anterior no significa que los restantes puntos de la unidad didáctica que no aparezcan a continuación no sean considerados importantes, sino que son empleados para introducir y explicar los conceptos que, si serán mostrados, siendo aquellos que tienen una aplicación más directa para la satisfacción del trabajo.

Por último, hacer mención de que este apartado resulta más conveniente tomarlo como una guía de referencia de los conocimientos mínimos que se esperan que sean adquiridos por el alumnado, más que como un calco escrito de lo que vendría a ser una sesión de clase.

8.1 Sesión 7: explicación del teorema de Gauss y aplicación al cálculo del campo eléctrico en diferentes sistemas y situaciones.

Se comenzará introduciendo el concepto de flujo eléctrico, Φ_E , que puede ser definido como una magnitud escalar que representa el número de líneas de campo eléctrico que atraviesan una superficie (cerrada para el caso particular de la ley de Gauss). En el sistema internacional se mide en newton por metro cuadrado partido Culombio ($\frac{N \cdot m^2}{C}$).

De tal forma que matemáticamente es posible expresar el flujo eléctrico como:

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad (1)$$

Donde:

- $\oint()$ representa la integral a través de la superficie (cerrada para el caso de Gauss).
- \vec{E} es el vector campo eléctrico.
- $d\vec{S}$ es el vector diferencial de superficie. La dirección es perpendicular a la superficie y tendrá sentido hacia fuera si es cerrada o dependientes del sentido de avance del contorno si es abierta

A partir del flujo eléctrico es posible presentar la ley de Gauss:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (2)$$

- ϵ_0 es la permitividad eléctrica del vacío, cuyas unidades en el sistema internacional son: $\frac{C^2}{Nm^2}$.
- Q es la carga responsable de crear el campo eléctrico (C).

Para el nivel en el que se desarrolla este trabajo, la ley de Gauss tal cual se ha presentado no puede ser empleada en clase, ya que la mayoría de los alumnos desconocen el concepto de integral. Este desconocimiento sobre el análisis matemático justifica que se proceda a buscar una expresión de la ley de Gauss adaptada a los sistemas electrostáticos con los que se suelen trabajar en bachillerato.

Llegados a este punto, es de vital importancia recordarle al alumnado que el campo eléctrico es un vector, por lo que, al ser multiplicado escalarmente por el vector diferencial de superficie, se obtendrá la *ecuación 3*:

$$\vec{E} \cdot d\vec{S} = |\vec{E}| |d\vec{S}| \cos(\theta) \quad (3)$$

Siendo:

- θ el ángulo formado entre los dos vectores de estudio.
- $|\vec{O}|$ la representación del módulo de un determinado vector.

El objetivo de explicar estos conceptos no es otro que el de hacerles recordar a los alumnos conceptos ya vistos en la asignatura de matemáticas, y que ellos mismos sean capaces de encontrarles una aplicación en el campo de la física.

Continuando con el desarrollo, la *ecuación (1)* adoptará el siguiente formato:

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint \{|\vec{E}| \cos(\theta)\} |d\vec{S}| \quad (4)$$

Como ya se había explicado antes, es altamente probable que el alumnado aún no hubiese visto el concepto de integral, así como sus posibles aplicaciones, por ello se dará una breve explicación sobre esta herramienta matemática.

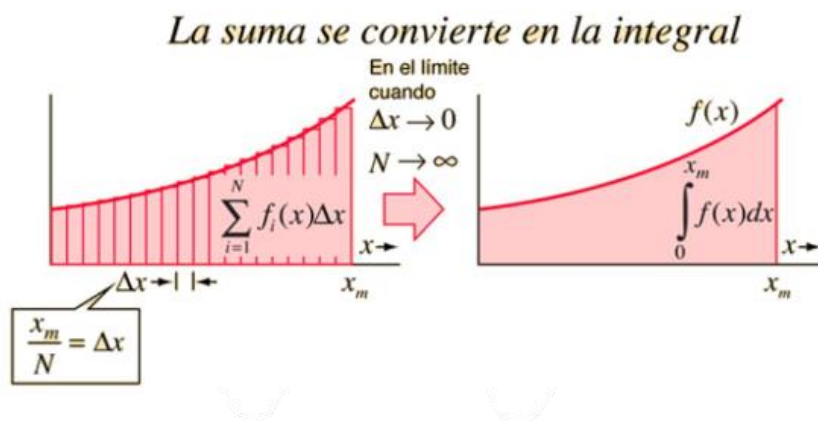


Imagen 9: esquemas que se emplearían para poder hacer una breve explicación de lo que es una integral.

Para calcular la superficie contenida bajo la gráfica de la imagen 9, se puede descomponer tal área en pequeños rectángulos (tomar el límite para una base lo suficientemente pequeña) y sumar las superficies de cada uno de ellos:

$$\text{Área} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum_{i=1}^N f_i(x) \Delta x \quad (5)$$

Sin embargo, el resultado expresado en la *ecuación 5* es la definición de integral:

$$\text{Área} = \int_0^{x_m} f(x) dx \quad (6)$$

Por comparación entre los resultados (5) y (6) es posible establecer:

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum_{i=1}^N f_i(x) \Delta x = \int_0^{x_m} f(x) dx$$

Extrapolando el resultado anterior a nuestro caso particular:

$$\Phi_E = \oint \cos(\theta) |\vec{E}| |d\vec{S}| = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \sum_{i=1}^N |\vec{E}| \cos(\theta) \Delta S \quad (7)$$

Donde se ha empleado:

- Área = Φ_E .
- $dx = ds$
- $f(x) = \cos(\theta) |\vec{E}|$

No obstante, para simplificar los cálculos y hacerlos más asequibles al nivel de bachillerato, se particularizará la expresión (7) como:

$$\Phi_E = |\vec{E}| |\vec{S}| \cos(\theta) \quad (8)$$

Tal resultado solamente es válido cuando el campo eléctrico (y el coseno) no cambia sobre los puntos de la superficie escogida.

La afirmación anterior queda más clara atendiendo al esquema de la imagen 10, donde se muestra la forma de calcular el flujo desde un punto de vista gráfico para el caso de $|\vec{E}| \cos(\theta)$ uniforme sobre una determinada superficie.

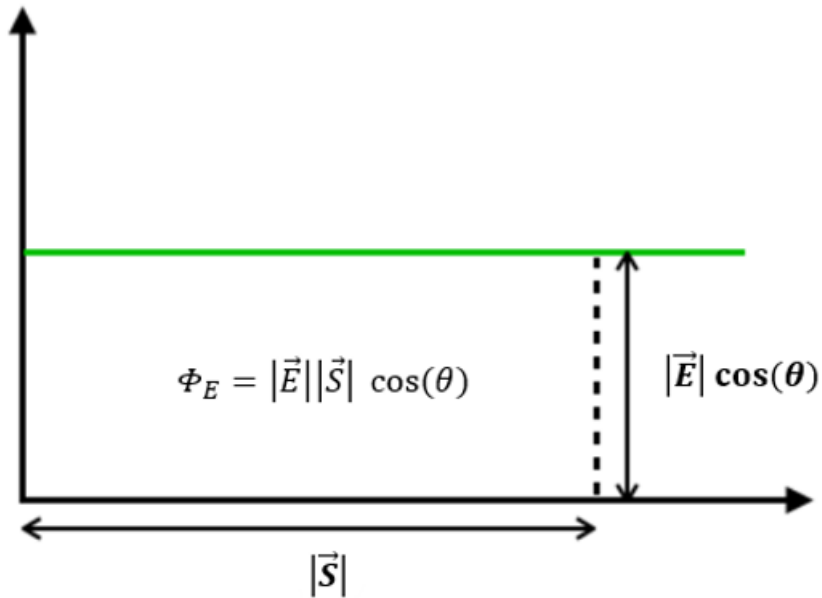


Imagen 10: esquema utilizado para la justificación de la ecuación (8).

Es importante entender que en la *imagen 10* el eje horizontal no representa diferentes valores de superficie, si no los diferentes puntos de una superficie arbitraria.

Finalmente, se está en condiciones de presentar la particularización que se ha hecho de la ley de Gauss, que es la expresión con la que suelen trabajar la mayoría de los alumnos que abordan esta temática en bachillerato.

$$|\vec{E}||\vec{S}| \cos(\theta) = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (9)$$

Se recuerda al lector que el desarrollo anterior no pretende ser una demostración en si mismo, si no una muestra de cómo se explicaría en clase la ley de Gauss.

Para afianzar los conceptos, se procederá a la exposición de algunos ejemplos de aplicaciones del Teorema de Gauss.

- Partícula cargada puntual:

El objetivo de este ejemplo es obtener la expresión del campo eléctrico creado por una partícula puntual a partir del Teorema de Gauss.

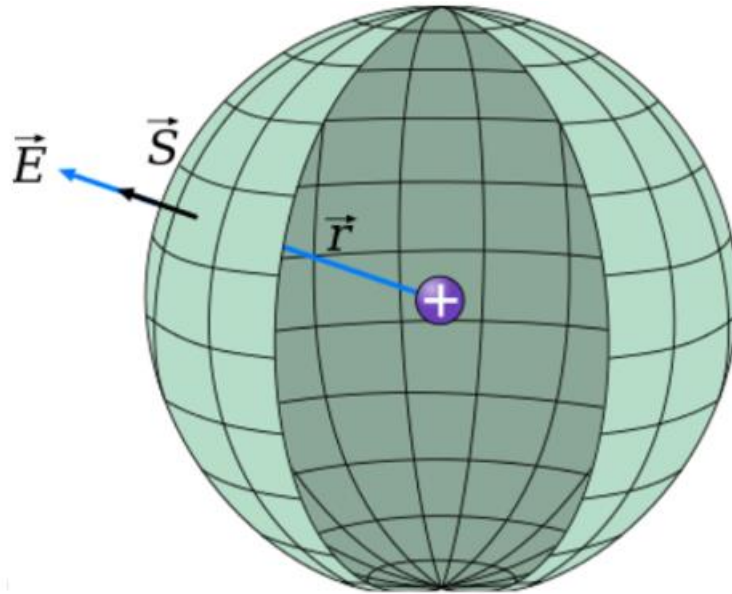


Imagen 11: representación del campo eléctrico creado por una carga puntual en un espacio tridimensional.

Con la ayuda de la imagen anterior es fácil establecer cuál es la elección óptima para elegir la superficie cerrada, una esfera centrada en la posición de la carga. La justificación radica en que el estudiante es capaz de verificar que el vector superficie es paralelo al vector campo eléctrico en cualquier punto, además de usar que el campo es el mismo en todos los puntos de la esfera por estar a igual distancia de la carga:

$$|\vec{E}||\vec{S}| \cos(\theta) = |\vec{E}||\vec{S}| \cos(0) = |\vec{E}||\vec{S}| = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Aplicando la fórmula para la superficie de una esfera:

$$|\vec{E}||\vec{S}| = |\vec{E}|4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Despejando:

$$|\vec{E}| = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Se ha llegado a la expresión que se pretendía obtener, aunque como ya se había mencionado, el Teorema de Gauss siempre nos dará el módulo del campo, careciendo de carácter vectorial

- Esfera con densidad de carga uniforme:

Pasemos ahora a una situación análoga al caso previo, a excepción de que ahora se tendrá una esfera de radio R con una distribución de carga de la forma:

- $\rho = cte$ cuando $0 \leq r \leq R$.
- $\rho = 0$ cuando $r > R$.

En la expresión de abajo Q representa la carga total, R el radio máximo de la esfera y, por último, ρ hace referencia a la densidad de carga volumétrica, calculándose mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3} \quad 0 \leq r \leq R$$

Todo lo anterior queda recogido en la *imagen 12*, donde puede verse una esfera de radio R delimitada por una línea negra continua, junto a los casos particulares de $r < R$ y $r' > R$ (líneas discontinuas).

:

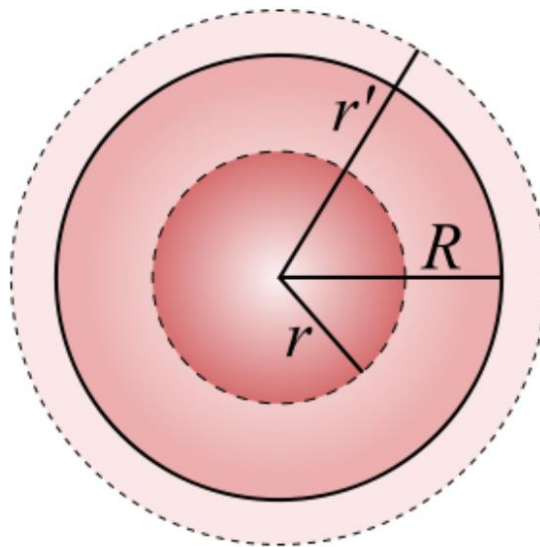


Imagen 12: representación de una esfera con densidad de carga homogénea.

Aplicando el Teorema de Gauss a cada situación:

- $q = \rho \frac{4}{3}\pi r^3$ cuando $0 \leq r \leq R$.

$$|\vec{E}||\vec{S}| \cos(\theta) = |\vec{E}||\vec{S}| \cos(0) = |\vec{E}||\vec{S}| = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$|\vec{E}| 4\pi r^2 = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$|\vec{E}| = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \pi r \quad (10)$$

- $q = Q$ cuando $r > R$.

$$|\vec{E}||\vec{S}| \cos(\theta) = |\vec{E}||\vec{S}| \cos(0) = |\vec{E}||\vec{S}| = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$|\vec{E}||\vec{S}| = |\vec{E}| 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$|\vec{E}||\vec{S}| \cos(\theta) = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Analizando los resultados, se aprecia como para el primer caso existe una dependencia lineal del campo con el radio, mientras que para la situación en la que se calcula el campo fuera de la esfera se ha obtenido el mismo resultado que para una carga puntual colocada en el centro y valor total de la que tiene la esfera.

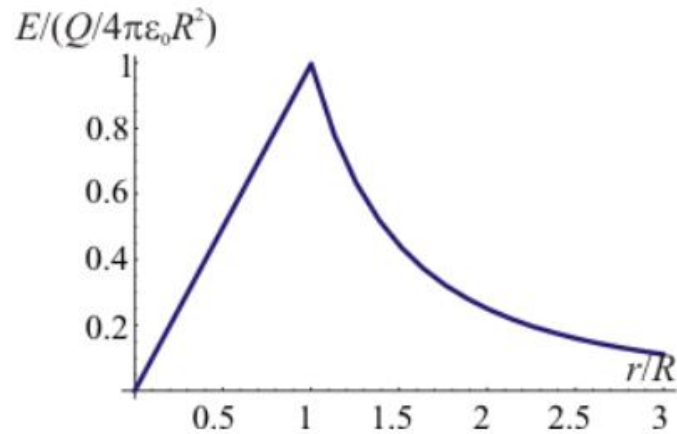


Imagen 13: representación gráfica del campo eléctrico normalizado (respecto al campo eléctrico en la superficie) frente a la normalización de la posición respecto al radio de la esfera.

- Hilo infinito cargado uniformemente:

A continuación, se trabajará con un hilo o cable recto y que pareciera ser infinito, de tal manera que puede considerarse que no tiene extremos. Esta premisa es posible interpretarla como que la distancia al hilo es mucho menor que su longitud total.

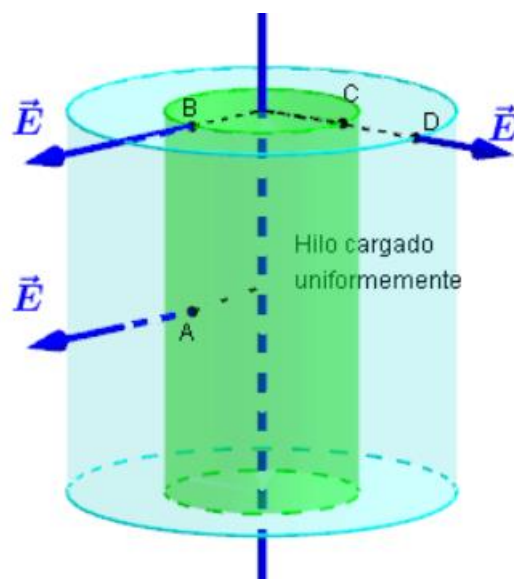


Imagen 14: esquema del campo eléctrico creado por un hilo uniformemente cargado.

Con la ayuda de la imagen 14 es posible apreciar que existe una simetría de revolución cuyo eje de rotación viene marcado por el propio hilo. Ante esta situación, el campo eléctrico únicamente dependerá de la distancia del punto a estudiar al hilo, de tal forma que, en la figura, los puntos A, B y C, tendrán igual módulo para el campo eléctrico, no ocurriendo lo mismo para el punto D.

Para aplicar el Teorema de Gauss, supondremos una carga total, Q , repartida homogéneamente en una longitud, l , por lo que se trabajará con una densidad de carga de la forma:

$$\lambda = \frac{Q}{l} \quad (11)$$

Para aplicar el Teorema de Gauss se elegirá como superficie cerrada a un cilindro de altura l , y cuyo eje se corresponde con el cable.

Ahora habrá que tener en cuenta que la superficie total será la suma de las dos bases más la lateral:

$$\vec{E} \cdot \vec{S} = \vec{E} \cdot (\vec{S}_{1B} + \vec{S}_{2B} + \vec{S}_{3L}) \quad (12)$$

En la *ecuación (12)* los subíndices B y L , hacen referencia respectivamente a base y lateral.

Aplicando las propiedades de simetría anteriormente descritas junto a las definiciones de producto escalar y vector superficie, se tendrá:

$$\vec{E} \cdot \vec{S}_{1B} = \vec{E} \cdot \vec{S}_{2B} = 0$$

Retomando el desarrollo y empleando el resultado anterior:

$$\vec{E} \cdot \vec{S} = \vec{E} \cdot (\vec{S}_{1B} + \vec{S}_{2B} + \vec{S}_{3L}) = \vec{E} \cdot \vec{S}_{3L}$$

$$\vec{E} \cdot \vec{S}_{3L} = |\vec{E}| |\vec{S}_{3L}| \cos(0) = |\vec{E}| |\vec{S}_{3L}|$$

$$|\vec{E}| |\vec{S}_{3L}| = \frac{\lambda}{\epsilon_0} l$$

$$|\vec{E}| 2\pi r l = \frac{\lambda}{\epsilon_0} l$$

$$|\vec{E}| = \frac{\lambda}{\epsilon_0 2\pi r} \quad (13)$$

Con este último ejemplo concluiría la sesión de clase dedicada al Teorema de Gauss, el alumnado habría asimilado los conceptos más importantes, siendo uno de los mismos saber elegir correctamente las superficies de trabajo y apreciar la utilidad del teorema para abordar problemas que presentan alto grado de simetría.

8.2 Sesión 8: realización de ejercicios basados en todos los contenidos vistos durante la unidad didáctica y sesión de dudas finales por parte del alumnado.

Aunque en la clase anterior se abordase la explicación conceptual del Teorema de Gauss, se considera que, para un correcto afianzamiento de los conocimientos es imprescindible que sea el propio alumno quien reflexione sobre los mismos. Para ello, se plantearán una serie de actividades ideadas con el objetivo de que el estudiante profundice sobre la materia.

Se ha decidido no poner ejemplos al considerarse que no aportan nada de especial interés para el desarrollo del trabajo.

La única consideración digna de mención es que no trabajarán (por el momento) con superficies planas cargadas homogéneamente, debido a que tales casos se reservarán como tarea que el alumnado deberá de hacer para el desarrollo del proyecto.

9 Condensadores.

Durante este apartado se expondrá toda la información relativa al proceso de estudio y construcción de un capacitor (condensador), que será la temática de las sesiones 9, 10 y 11 de clase.

9.1 1ª parte de la sesión 9: ¿Qué es un condensador?

Un condensador puede ser definido como un componente eléctrico que tiene la propiedad de almacenar energía a partir de la creación de un campo eléctrico. Las versiones más simples están compuestas por un único par de superficies conductoras, generalmente láminas o placas planas y paralelas, aunque es posible encontrarlos con multitud de formas y tamaños diferentes.

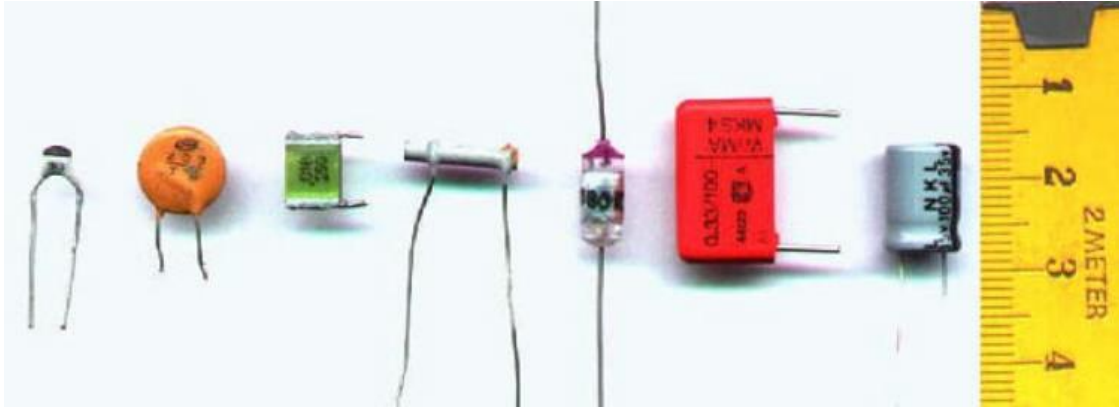


Imagen 15: comparativa en tamaño y forma de diferentes tipos de condensadores.

Para que sea posible la creación de un campo eléctrico y, por ende, el fenómeno de almacenamiento de energía, una placa deberá de quedar cargada positivamente, mientras que la otra lo hará de forma negativa (aunque con igual módulo), con lo que se estaría ante una situación de influencia total, es decir, todas las líneas de campo eléctrico originadas en la superficie con carga positiva morirán en la superficie con carga negativa.

Lo explicado anteriormente tiene su origen en el concepto ya visto en la primera sesión de teoría sobre el dipolo eléctrico.

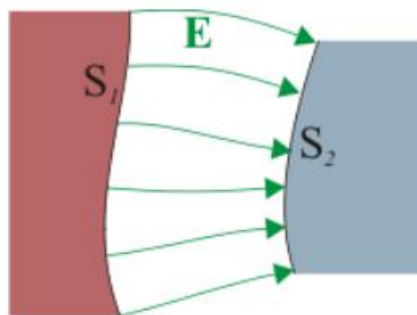


Imagen 16: representación gráfica de la influencia total para dos superficies cargadas.

Entre las dos láminas superficiales se encuentra lo que se conoce como un dieléctrico (más adelante se especificará lo que significa este término), que a grandes rasgos viene a ser un aislante, como por ejemplo el aire. Esta separación, junto al campo eléctrico dan lugar a una diferencia de potencial, recuérdese que para el caso de placas plano-paralelas:

$$\Delta V = \vec{E} \cdot \Delta \vec{d} \quad (14)$$

Siendo:

- ΔV la diferencia de potencial entre las placas.
- \vec{E} la magnitud del campo eléctrico.
- $\Delta \vec{d}$ la separación de las placas.

Un factor importante a tener en cuenta de los condensadores es que técnicamente no almacenan carga eléctrica, ya que lo que sucede realmente es una redistribución de la carga entre las superficies, siendo la variación total de esta magnitud física nula al aplicar una diferencia de potencial.

Ahora bien, ¿cómo se puede calcular, o en su defecto, establecer una relación entre la carga y la diferencia de potencial a partir de los conocimientos de un alumno de segundo curso de bachillerato?

Antes de nada, se deberá de obtener una expresión válida para el campo eléctrico entre las armaduras, para ello, se supondrá que la densidad de carga en cada una de ellas es homogénea y constante. También se trabajará con la hipótesis de que la distancia de separación entre las láminas es insignificante si es comparada con su superficie, lo que justificará que sea posible aplicar el Teorema de Gauss sobre un rectángulo de área infinita, aunque sabemos que en el mundo real todos los objetos son finitos.

Considerando un sistema donde el campo eléctrico es paralelo al vector superficie de un plano:

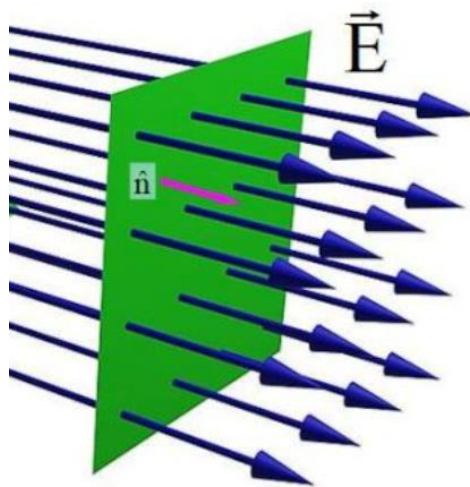


Imagen 17: campo eléctrico perpendicular al plano de una determinada superficie.

Para aplicar el Teorema de Gauss habrá que elegir una superficie cerrada, ¿pero cuál sería válida? Deberá de tenerse en cuenta que el plano de la distribución tiene que ser el plano de simetría de la superficie cerrada y las bases tienen que ser paralelos al plano cargado.

Lo anterior, junto al hecho de querer simplificar cálculos, hacen que la superficie elegida sea la de un cilindro.

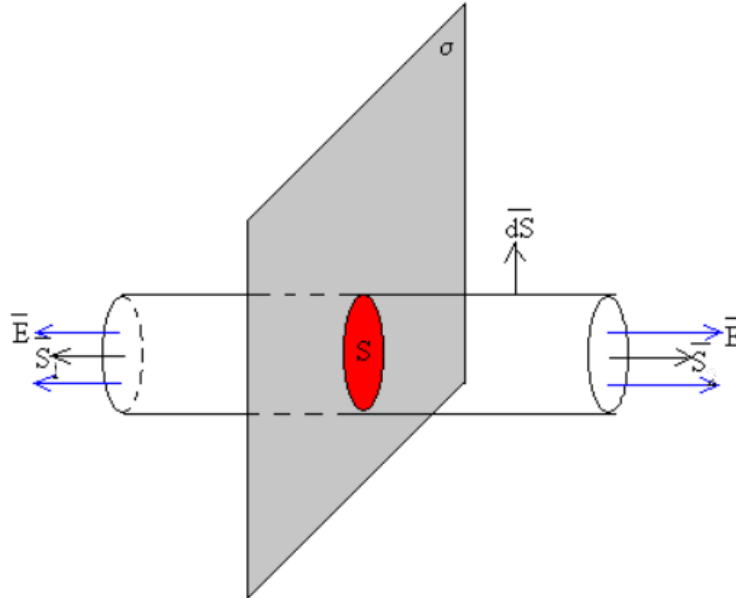


Imagen 18: aplicación del Teorema de Gauss a un plano infinito con densidad de carga constante.

Si partimos de que la densidad de carga es homogénea:

$$\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{S} = \vec{E} \cdot \vec{S}_{base\ 1} + \vec{E} \cdot \vec{S}_{base\ 2} + \vec{E} \cdot \vec{S}_{lateral} = \frac{\sigma S_{base\ 1}}{\epsilon_0}$$

Como las bases de un cilindro son iguales y atendiendo a la simetría del problema:

$$2\vec{E} \cdot \vec{S}_{base\ 1} = \frac{\sigma S_{base\ 1}}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad (15)$$

El resultado anterior es un primer paso para el estudio de un condensador, ya que está compuesto por dos superficies en donde se cumple que: $\sigma_1 = -\sigma_2$. No obstante, esta última condición junto al carácter vectorial del campo eléctrico simplificarán enormemente los resultados, ya que tal y como se aprecia en la *figura 19*, el campo eléctrico fuera del condensador se anula, mientras que en su interior es constante. Más concretamente es el doble de lo calculado en (15).

Se omiten los cálculos para llegar a tal resultado ya que sería repetir el procedimiento con una densidad de carga negativa, para posteriormente sumar los campos resultantes de ambas densidades de carga (la negativa y positiva).

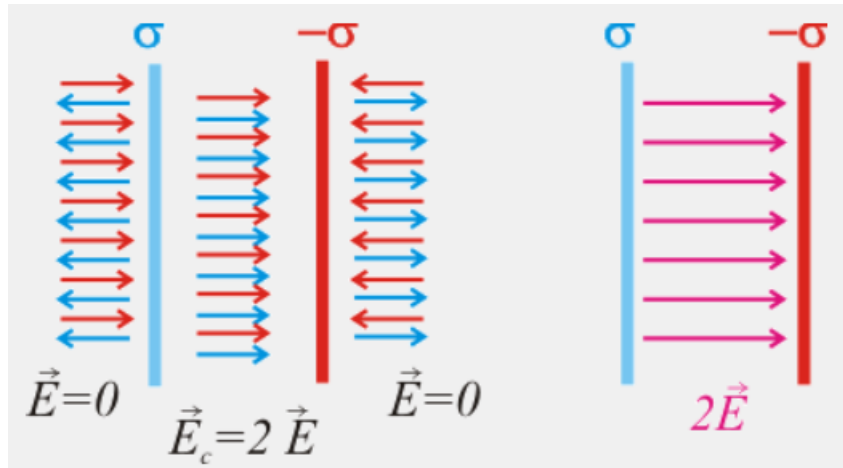


Imagen 19: aplicación del Teorema de Gauss a un condensador plano-paralelo.

Se ha demostrado que el campo eléctrico en la región delimitada por las placas es:

$$|\vec{E}| = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (16)$$

Recuérdese que el objetivo de todos estos cálculos no es otro que el de establecer una relación entre la diferencia de potencial y la carga. Por consiguiente:

$$\Delta V = \vec{E} \cdot \Delta \vec{d}$$

Sustituyendo tendremos que:

$$\Delta V = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot d$$

$$\Delta V = \frac{Q_{total}}{S} \cdot \frac{d}{\epsilon_0}$$

$$\epsilon_0 \frac{S}{d} = \frac{Q_{total}}{\Delta V}$$

Como el área de las placas, la separación entre ellas y la permitividad del vacío (o de cualquier otro dieléctrico en su lugar) no cambian, se podrá definir una nueva variable que sea constante y relacione la carga con la diferencia de potencial. Se está hablando de la capacidad (C), cuya unidad en el sistema internacional es el Faradio (F):

$$C = \epsilon \frac{S}{d} = \frac{Q_{total}}{\Delta V} \quad (17)$$

9.2 2ª parte de la sesión 9: ¿Qué es un dieléctrico?

Para la explicación que sigue a estas líneas, se cuenta con la ayuda de un docente que imparte de asignatura de química a segundo de bachillerato, el objetivo de esta parte de la sesión es realizar un proceso de enseñanza-aprendizaje transversal entre las áreas de física y química.

Hecha esta breve aclaración, se procederá a la continuación del trabajo.

Un medio dieléctrico es todo aquel material que cuenta con una baja conductividad eléctrica (es un aislante) y, además, tiene la capacidad de formar dipolos eléctricos en su interior al ser sometido a un campo eléctrico, es decir, puede ser polarizado.

Es importante aclarar que todos los dieléctricos son aislantes, pero no ocurre lo mismo a la inversa (por ejemplo, la mayoría de los materiales plásticos que recubren los cables). Este fenómeno se explica desde el punto de vista microscópico, ya que, al someter a un determinado dieléctrico a un campo eléctrico, los electrones no podrán desplazarse libremente por la estructura del material, pero estos tampoco permanecerán del todo estáticos, sino que se desplazan ligeramente respecto de sus posiciones iniciales, causando polarización dieléctrica.

Como consecuencia de la polarización, las cargas con signo negativo se desplazan en la misma dirección, pero sentido contrario al campo. Por consiguiente, aparecen zonas cargadas negativamente y otras positivamente.

Si un dieléctrico está compuesto por moléculas débilmente unidas, estas no solo se polarizan, sino que también se reorientan para que sus ejes de simetría se alineen con el campo.

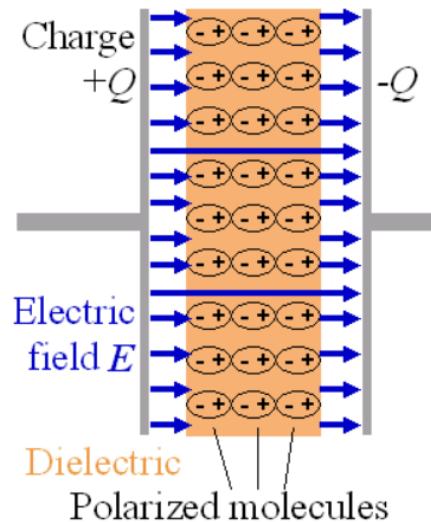


Imagen 20: esquema de la polarización de un dieléctrico bajo la influencia de un campo eléctrico.

La principal utilidad de esta clase de materiales radica en introducirlos en condensadores para conseguir una mayor cantidad de energía almacenada, ya que, si el condensador está conectado a una fuente de potencial fija, el campo y la diferencia de potencial entre las placas no cambian, aunque si lo hace la capacidad.

10 Proceso de construcción de un condensador.

El objetivo de este apartado es verificar por parte del profesor, que es posible fabricar un condensador de manera asequible y con las herramientas, materiales y conocimientos de un alumno promedio.

La necesidad de hacer unas verificaciones previas a las sesiones de clase, se fundamentan en comprobar que el procedimiento que se describa en el boletín de prácticas sea funcional, ya que no se puede permitir el lujo de desperdiciar el tiempo en un experimento irrealizable.

Debido a que el proyecto está cargado de una importante labor de trabajo en casa, unido al hecho de que el alumnado dispone de recursos digitales para recabar información, no sería descabellado pensar que consultarían vídeos que encontrarán en la red para ilustrarse durante el proceso de construcción. Factor mediante el cual se justifica un primer intento de elaboración de condensadores siguiendo las indicaciones de algunos de estos vídeos (se mostrarán en la bibliografía).

10.1 Elección de los materiales empleados para la construcción.

Tras realizar una revisión videográfica, se han encontrado patrones comunes, siendo el primero de ellos la clase de materiales necesarios para la fabricación. Son los siguientes:

- **Pegamento escolar:** sirve para unir las diferentes capas.
- **Cartón:** servirá para crear una estructura rígida mediante la cual se sostendrá el condensador. Matizar que no en todos los vídeos era construida.
- **Papel de aluminio:** es empleado como las caras externas del capacitor, ya que al ser conductor es un buen candidato para ser cargado mediante una diferencia de potencial.
- **Dieléctrico:** suelen utilizar un folio de papel de dimensión A4.



Imagen 21: materiales empleados.

No obstante, también se ha decidido experimentar con otra clase de dieléctricos de fácil acceso, como son:

- **Goma o caucho eva:** también conocida como etilvinilacetato, se trata de un polímero termoplástico formado por etileno y acetato de vinilo. Se ha decidido usarlo por su fácil obtención y bajo coste. Además, al ser extremadamente poroso, se compone mayoritariamente de aire, por lo que al emplearlo como dieléctrico podremos poner una capa un poco más gruesa que si se tratara de otros materiales sin subir demasiado la capacidad del condensador.

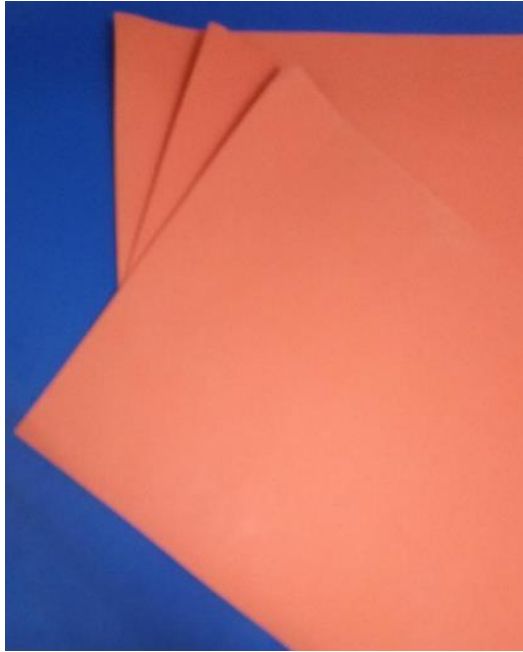


Imagen 22: goma eva.

- **Papel de horno:** de uso cotidiano y barato de comprar.



Imagen 23: papel para horno.

- **Film transparente para envasado de alimentos:** se encuentra presente en la mayoría de los hogares.



Imagen 24: film transparente.

- **Láminas transparentes A4 para transparencias de proyector:** están fabricadas de acetato. Se ha decidido emplearlas por encontrarse presentes en institutos con cierta antigüedad.



Imagen 25: láminas transparentes A4 de acetato.

Llegados a este punto, debe explicarse que el objetivo fundamental de la práctica será determinar la constante dieléctrica de diferentes materiales. Para ello, se utilizará un medidor de capacitancia o capacímetro, mediante el cual se obtendrá la capacidad de los condensadores fabricados, que, junto al valor del espesor del dieléctrico, la superficie del condensador y la *expresión 17*, se calcularía la permitividad:

$$\varepsilon = \frac{Cd}{S} \quad (18)$$

Con la idea de simplificar el proyecto y facilitar la medida de la superficie, los condensadores tendrán forma rectangular, así, el único inconveniente a salvar es la medida del espesor. Tal proceso permitirá establecer un primer filtro entre los materiales que se emplearán como dieléctricos, ya que de no ser posible calcular el parámetro, d , no tendrá sentido emplear tal dieléctrico.

Comenzando el estudio para el caso particular de los folios, cabe remarcar que, aunque es posible consultar en internet el espesor de una hoja de papel, tales valores pueden diferir ligeramente en función de la calidad del material, motivo por el que resulta mucho más fiable determinarlo experimentalmente. Ni que decir tiene lo complicado que resultaría medir un folio por separado, además de necesitar instrumentos como calibres digitales que no suelen ser los utilizados en la mayoría de los centros.

Para salvar el problema anterior se obtendrá con calibre o regla el grosor de un paquete de folios, o en su defecto, el de un número elevado de estos. Al dividir tal valor entre la cantidad total de hojas, se hallaría el espesor individual.

Pásese ahora al film transparente para cocina, en este caso el formato de venta al público suele ser de rollos, donde el único valor conocido es la longitud total del material. Para calcular el espesor a partir de tal dato, se procederá a medir con calibre o regla los radios máximos y mínimos que presenta el rollo de film:



Imagen 26: radios máximos y mínimos del film transparente.

Ahora bien, ¿qué se pretende hacer con tales radios? Téngase en cuenta que cada vuelta de film sobre el radio mínimo aumentará a este radio en un espesor igual al del propio material, es decir, en d . Por lo tanto, el radio máximo quedará determinado como la suma de las vueltas totales de film sobre el radio mínimo.

$$R_{max} = R_{min} + Nd \quad (19)$$

Donde:

- d es el espesor del film transparente.
- N representa el número total de vueltas.

Despejando de la *ecuación 19*:

$$R_{max} - R_{min} = Nd \quad (20)$$

No obstante, es prácticamente imposible para el ojo humano promedio el poder contar el número de vueltas. Para solventar este último inconveniente, se utilizará que la longitud que el fabricante especifica puede ser expresada mediante:

$$l = 2\pi(d + 2d + \dots + Nd + NR_{min}) \quad (21)$$

La ecuación anterior se basa en el hecho de que la longitud total será la suma de las longitudes que aporta cada nueva vuelta de material, representadas estas mediante la letra n .

Empleando que:

$$d + 2d + \dots + Nd = d(1 + 2 + \dots + N) = d \frac{N(N + 1)}{2}$$

Y combinando (20) y (21):

$$l = 2\pi \left[d \frac{N(N + 1)}{2} + NR_{min} \right] = 2\pi \left[\frac{(R_{max} - R_{min})}{N} \cdot \frac{N(N + 1)}{2} + NR_{min} \right]$$

$$l = 2\pi \left[(R_{max} - R_{min}) \cdot \frac{(N + 1)}{2} + NR_{min} \right]$$

$$l = 2\pi \left[\frac{(R_{max} - R_{min})}{2} N + \frac{(R_{max} - R_{min})}{2} + NR_{min} \right]$$

$$l = 2\pi \left[\frac{R_{max}}{2} N + \frac{R_{min}}{2} N + \frac{(R_{max} - R_{min})}{2} \right]$$

$$l = \pi[(R_{max} + R_{min})N + R_{max} - R_{min}]$$

$$l - R_{max} + R_{min} = \pi[(R_{max} + R_{min})N]$$

$$\frac{l - R_{max} + R_{min}}{\pi(R_{max} + R_{min})} = N = \frac{R_{max} - R_{min}}{d}$$

$$d = \frac{\pi(R_{max} - R_{min})(R_{max} + R_{min})}{l - R_{max} + R_{min}} \quad (22)$$

Prosiguiendo el análisis con la goma eva, decir que para determinar el espesor se empleará un procedimiento análogo al de los folios, aunque ahora bastará con contar con un número reducido de láminas, ya que las mismas son relativamente gruesas. Hacer mención de que no se empleará una sola lámina para no cometer un error de medida demasiado acentuado, ya que, al ser un material esponjoso se deformaría al presionar con el calibre, y en el caso de emplear regla, el error cometido se quedaría en el orden de los milímetros, magnitud demasiado elevada como para satisfacer los requisitos de la práctica.

Pasando a los dos últimos materiales que quedan: el papel de horno y las láminas de acetato. Se concluye que para el caso que atañe a este trabajo, resultaría sumamente complicado calcularles el espesor por los siguientes motivos:

- El papel de horno se vende en envases que cuentan con apenas unas 15-20 láminas, para obtener el espesor empleando un procedimiento análogo al de los folios se necesitarían grandes cantidades, lo que haría aumentar drásticamente el coste económico del proyecto.
- La cantidad de láminas de acetato que se han encontrado no representan una cantidad adecuada como para poder obtenerles su espesor mediante las técnicas ya explicadas.

10.2 Diseño, fabricación y verificación.

A continuación, se evaluarán diferentes alternativas para el proceso de construcción, siendo uno de los principales objetivos verificar si los videos que se encuentran en internet sobre el proceso de elaboración son un material pedagógico aceptable.

Se comenzará estudiando la validez de unir las capas del condensador mediante pegamento escolar o cualquier otra clase de adhesivo de fácil obtención.

El primer paso será medir y recortar el papel de aluminio para las placas junto al material del dieléctrico. Empecemos utilizando folios y sin fabricar estructura de soporte.

Los pasos son los siguientes:

1. Seleccionar dos superficies de igual tamaño de papel de aluminio.

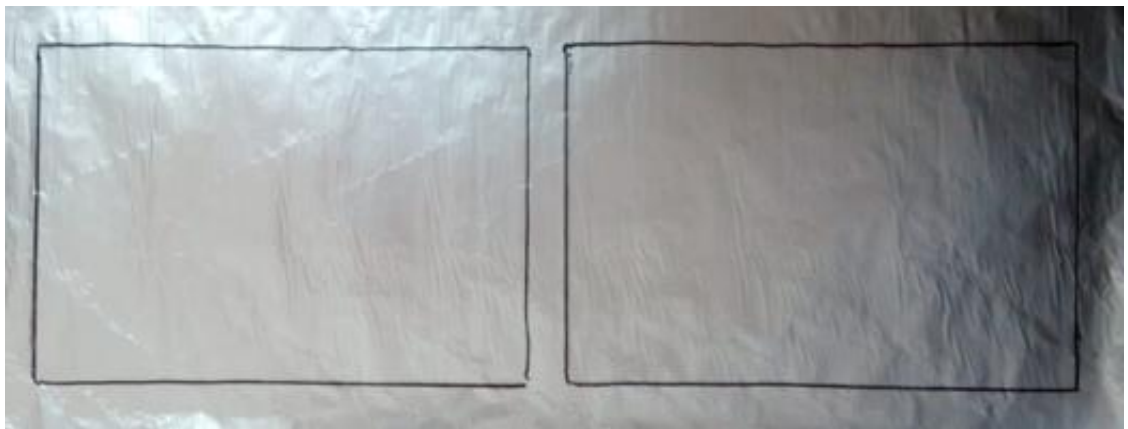


Imagen 27: superficies de papel de aluminio.

2. Recortar el papel dejando en los bordes un par de centímetros adicionales respecto a las superficies conductoras.

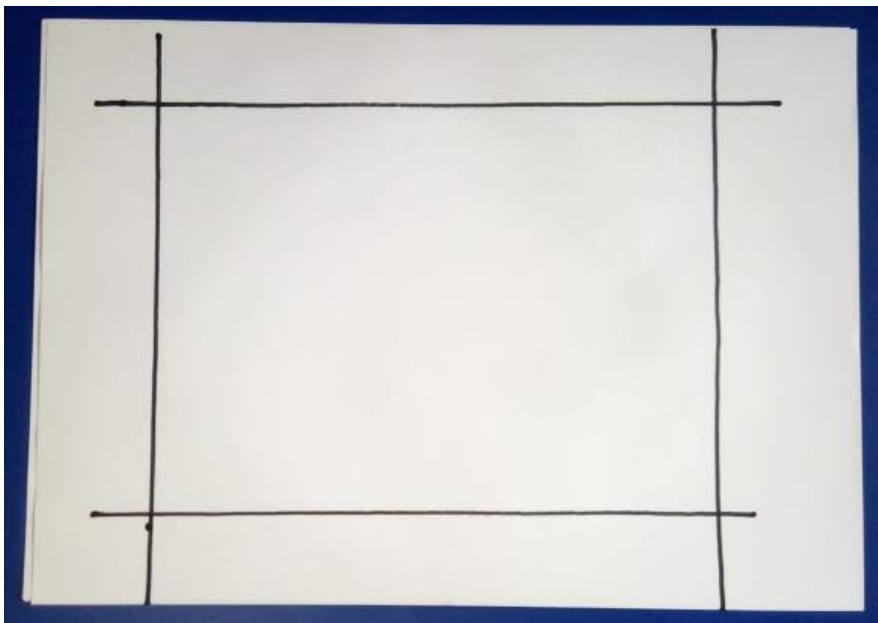


Imagen 28: superficie de dieléctrico a partir de un folio.

3. Unir todas las superficies mediante pegamento, dejando al dieléctrico entre medias del papel de aluminio y quedando las placas conductoras en la misma posición una respecto a la otra, es decir, sus superficies deben de coincidir sobre el dieléctrico. Para mayor resistencia los bordes pueden ser fijados con celo.
4. Presionar con fuerza y/o pasar un rodillo al unir las superficies, de tal manera que no queden burbujas de aire.
5. Repetir los puntos anteriores hasta obtener varios condensadores de diferentes áreas (más adelante se explicará el motivo).



Imagen 29: resultado final para condensadores de diferentes tamaños.

Atendiendo al resultado obtenido en la *imagen 29*, se aprecia la gran cantidad de arrugas que han quedado tras haber usado adhesivo. Asimismo, se desaconseja utilizar pegamento, ya que humedece el dieléctrico y se vuelve conductor.

Para llevar a cabo este nuevo proceso, se trabajará con un soporte de cartón o madera, donde se fijará con adhesivo escolar una de las placas del condensador, en este caso no se corre el riesgo de perder las propiedades aislantes debido a que el dieléctrico permanecerá seco.

Tras realizar pruebas con una lámina de madera y un trozo de cartón, se ha llegado a las construcciones mostradas a continuación:



Imagen 30: caras externas de condensadores con soportes de chapón (izquierda) y cartón (derecha).

El resultado obtenido con chapón se considera mucho más apto para la práctica, debido a que el cartón se dobla con relativa facilidad, lo que se traduce en un mayor número de arrugas en el papel de aluminio, y, por ende, en un valor de la capacidad experimental muy diferente al que cabría esperar. Por tal razón se ha decidido descartar el cartón como soporte.

El paso que sigue a continuación es colocar los dieléctricos (papel, goma eva y film transparente) y estudiar lo aptos que pueden resultar para el proyecto.

Al colocar el film transparente e intentar que no queden cámaras de aire, se apreció como al aplicar una ligera fuerza sobre el material se deforma sin llegar a recuperar su forma original, esto es especialmente grave debido a que resulta imposible determinar el espesor resultante. Razón por la que finalmente se ha considerado no emplear el film como dieléctrico durante la práctica.

Respecto a la goma eva se seguirán los siguientes pasos:

1. Colocar la primera cara del condensador.



Imagen 31: cara externa del condensador con soporte.

2. Situar la goma eva encima.



Imagen 32: colocación del dieléctrico.

3. Recortar la segunda cara del condensador con un tamaño más pequeño que el dieléctrico. La superficie efectiva del condensador es igual a la superficie de la lámina de menor tamaño. Se dejará un pequeño saliente en el papel de aluminio, más adelante se justificará el motivo.



Imagen 33: segunda cara externa del condensador.

4. Colocar un trozo de chapón encima y aplicar peso.



Imagen 34: condensador montado.

Una vez realizados los pasos previos, se presenta un nuevo problema: la goma eva es un material elástico que se deforma al aplicar fuerza, cambiándose el espesor del dieléctrico medido originalmente por uno nuevo que resulta desconocido.

Una vez más, se ha optado por descartar a este tipo de dieléctrico.

Para el caso del papel, la deformación que sufrirá al aplicar una fuerza es insignificante, luego se considera válido para utilizarlo. Los pasos seguidos son los mismos (hasta el cuarto punto) que los expuestos para la goma eva:

1. Colocar la primera cara del condensador.
2. Situar el papel encima.
3. Recortar la segunda cara del condensador con un tamaño más pequeño que el dieléctrico. La superficie efectiva del condensador es igual a la superficie de la lámina de menor tamaño.
4. Colocar un trozo de chapón encima y aplicar peso.
5. Con la ayuda de un capacímetro dotado de un par de pinzas de cocodrilo tomar la lectura de la capacidad del condensador. Para la medición se colocará un cocodrilo en la cara conductora de mayor tamaño, mientras que el otro será situado en el saliente adicional que se había dejado al recortar la lámina pequeña de aluminio. Se intentará que este saliente se encuentre lo más vertical posible para no afectar a la capacidad final.



Imagen 35: medida de la capacidad.

6. Repetir el proceso con varios tamaños distintos para la armadura de menor tamaño.

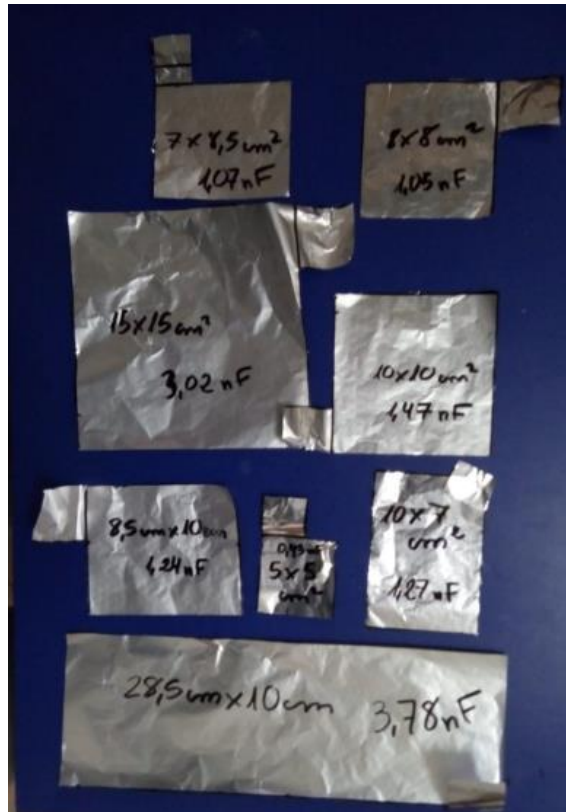


Imagen 36: diferentes tamaños de condensadores empleados con las anotaciones de sus capacidades y superficies.

7. Medir el espesor de una hoja de papel mediante las técnicas anteriormente explicadas. Para el caso se han tomado cuarenta y tres folios y con un calibre se ha determinado un espesor total de 4,85mm, es decir:

$$d = \frac{(4,85 \pm 0,05)}{43} \text{mm} = (0,113 \pm 0,001) \text{mm}$$

8. Con la ayuda de la fórmula de la capacitancia y Excel, hacer una recta de regresión con todos los datos obtenidos experimentalmente y calcular la constante dieléctrica.

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

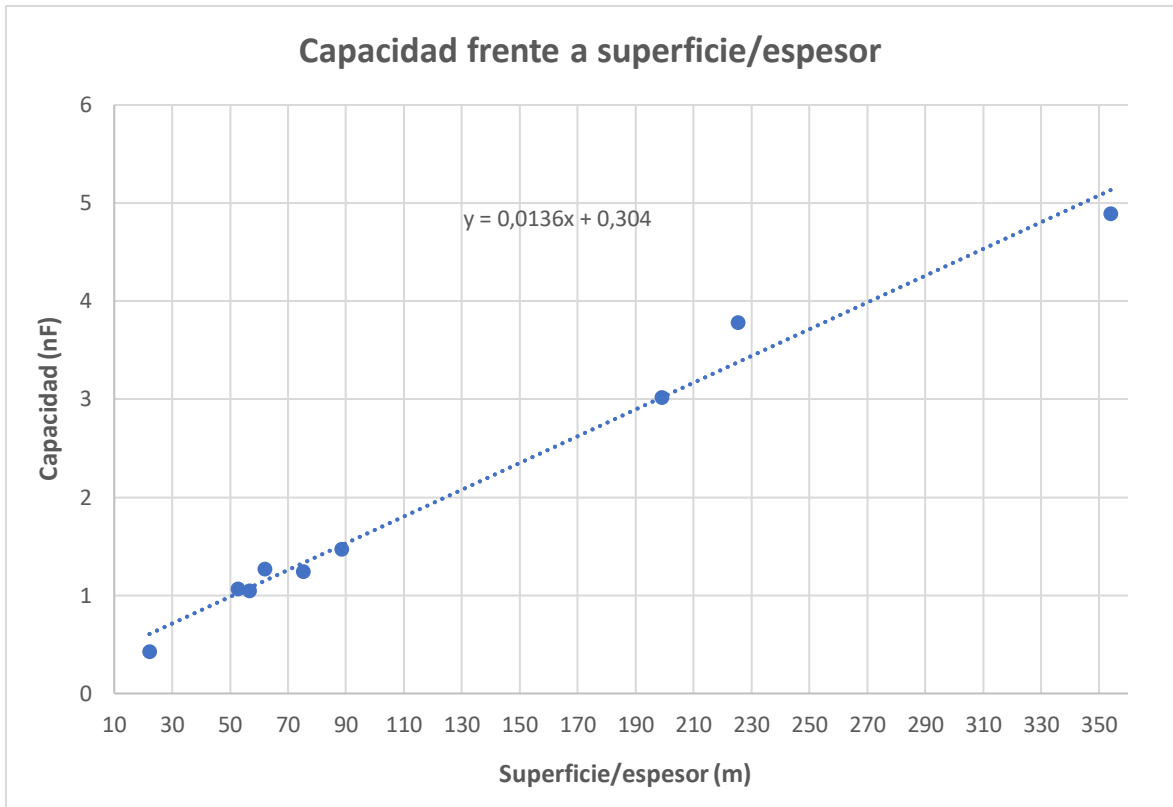


Imagen 37: gráfica de la capacidad frente al cociente de la superficie y el espesor.

Por comparación, se obtiene que la permitividad absoluta del papel empleado es:

$$\varepsilon = (0,0136 \pm 0,0006) \frac{nF}{m}$$

Los datos y el método para calcular el error se mostrará en el anexo.

Pasando el resultado a faradios:

$$\varepsilon = (13,6 \pm 0,6) \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} \quad (23)$$

Como resulta sumamente complicado encontrar en la bibliografía el valor de la permitividad absoluta del papel, se calculará la relativa y se procederá a comparar:

$$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \quad (24)$$

Siendo:

ϵ_r la permitividad relativa del papel.

ϵ_0 la permitividad del vacío ($\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$)

Operando:

$$\epsilon_r = (13,6 \pm 0,6) \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} \cdot \frac{1}{8,854 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}}$$

$$\epsilon_r = \frac{(13,6 \pm 0,6)}{8,854}$$

$$\epsilon_r = (1,54 \pm 0,07) \quad (25)$$

Una vez calculada la permitividad relativa del papel, se está en disposición de compararla con la que aparece en la mayoría de las fuentes bibliográficas, donde, ϵ_r toma un valor de 1,5 (Robert Resnick y David Holliday, 1979). No obstante, este valor puede cambiar ligeramente según las condiciones ambientales, ya que el papel está compuesto por celulosa, siendo esta capaz de absorber la humedad del ambiente, alterando los valores de la permitividad que tendría el folio empleado.

Debido a la extensión y diversificación que comprende este apartado, se ha considerado conveniente hacer un breve resumen: se ha realizado un condensador siguiendo el procedimiento que pueden ofrecer la mayoría de los tutoriales encontrados por internet, aunque cuando estos son llevados a la práctica de manera rigurosa presentan multitud de errores inconsistentes desde el punto de vista físico. Por ello, se ha seguido un método propio para la elaboración de la práctica, para lo que se han empleado los conocimientos de un alumno de segundo curso de bachillerato, mientras que los materiales utilizados han sido cuidadosamente seleccionados con la finalidad de que fuesen fácilmente asequibles.

Por último, con ayuda de un simple capacímetro y del programa informático Excel (suelen darse algunas nociones en los centros), ha sido posible encontrar con un grado de precisión bastante elevado la permitividad eléctrica de un folio.

11 Contextualización del boletín de prácticas.

Una vez concluido el apartado anterior, se está en disposición de redactar la guía de laboratorio que será entregada a los alumnos. No obstante, antes se hará un breve resumen de los aspectos más importantes de la práctica, aunque algunos puntos ya han sido expuestos en secciones previas, se considera oportuno volver a mostrárselos al lector para su fácil comprensión de los conceptos que se mostrarán más adelante.

También podría entenderse esta sección como una especie de justificación que se entregaría a alguien ajeno al trabajo, con el objetivo de remarcar las líneas seguidas para llevar a cabo la práctica.

11.1 Justificación y resumen.

La experiencia que se planteará a continuación ha sido diseñada para realizarla con un curso de segundo de Bachillerato de la asignatura de Física, ya que se considera que hasta tal etapa educativa el alumno carece de los suficientes conocimientos y madurez como para que pudiese asimilar los conocimientos más significativos.

Aunque el núcleo del proyecto radica en el estudio y elaboración de un condensador, también se pretende (basándonos en la metodología S.T.E.M.) que el estudiante sea capaz de relacionar los fundamentos de teoría vistos en clase, con un caso práctico donde se encadenen los diferentes conceptos que intervienen. Además de transmitir que la parte experimental de la física es fundamental para el desarrollo de la sociedad actual.

También se persigue cierta interdisciplinaridad entre la asignatura de Física y otras como las de Tecnología o Química, donde la experiencia serviría para complementar parte del temario de estas materias.

Por otro lado, se considera que la práctica resultará sumamente ilustrativa, debido a que los pocos experimentos realizados en Bachillerato suelen estar más relacionados con el bloque de Dinámica y Cinemática, y no tanto con el de Electromagnetismo, y dentro de este, la Electrostática es una de las grandes olvidadas.

11.2 Planteamiento, desarrollo y temporalización.

La práctica ha sido concebida con la idea de que parte del trabajo fuese desarrollado en casa. El alumnado recibiría el guion con una semana de antelación a la sesión de laboratorio y deberá de ir respondiendo a todas las cuestiones teóricas, para posteriormente emplear parte de ellas en el laboratorio.

Aunque se pretende que los estudiantes trabajen de forma autónoma en casa, sí podrán consultar dudas al profesor llegado el caso.

En lo referente a la parte de laboratorio, se considera que tres sesiones de 50 minutos cada una es más que suficiente para llevar a cabo la tarea, pudiéndose aprovechar parte del restante tiempo en solventar dudas y analizar los resultados obtenidos.

11.3 Materiales.

Los materiales empleados se mencionarán en los siguientes apartados, en este, solamente se hará mención de que han sido escogidos de tal forma que sean extremadamente baratos y fáciles de conseguir para cualquier centro, proviniendo la mayoría de ellos de objetos cotidianos o del reciclaje.

La única excepción sería el uso de un capacímetro, no obstante, muchos multímetros también pueden medir capacidades, aunque con peor precisión. Razón por la que se contará con un capacímetro comprado por el centro, y el cual será empleado por los diferentes grupos de alumnos durante la práctica.

También es interesante comentar que existen calibres digitales con un precio cercano a los 10 euros y con la capacidad de medir el grosor de un folio, aunque se ha preferido emplear uno convencional por ser los disponibles en la mayoría de las aulas.

11.4 Evaluación de riesgos asociados.

No se aprecian riesgos significativos, a excepción de emplear herramientas cortantes como podrían ser tijeras. No obstante, al ser alumnos de segundo de bachillerato, se les presupone un mínimo de madurez como para trabajar responsablemente.

Destacar el hecho de que la práctica es llevada a cabo sin tener que emplear fuentes de alimentación o cualquier otra clase de utensilios con riesgo susceptible de descargas eléctricas.

11.5 Calificación.

Se puntuará sobre diez puntos y se tendrán en cuenta los siguientes porcentajes:

- 20 % resultados obtenidos en el laboratorio.
- 40 % desarrollo de la práctica y cuestiones que el docente hará durante la realización de esta.
- 40 % elaboración del cuaderno de laboratorio.

Para la elección de tales criterios, se ha priorizado la comprensión de conceptos frente al mero resultado obtenido, motivo por el cual, es la parte de los resultados la que menos porcentaje representa. También se ha considerado el hipotético caso de un alumno que por algún factor hubiese obtenido un resultado no satisfactorio, pero sí hubiera asimilado las ideas clave de la práctica.

11.6 Atención a la diversidad durante la práctica.

Aunque ya ha sido explicada la manera de proceder ante la aparición de problemas de acoso o de discriminación por cualquier índole durante el transcurso diario de las clases, aquí se verá

cómo tratar la diversidad presente en el aula durante la realización de la práctica. Por lo que los grupos de trabajo se crearán acorde los siguientes requisitos:

- Se pretende que exista paridad de sexos, si esto no fuera posible porque el alumnado de la clase no estuviera compuesto por proporciones semejantes, se intentará que en cada grupo exista al menos un miembro del género minoritario.
- Atendiendo a los expedientes académicos de cada estudiante, se realizarán agrupaciones heterogéneas en este sentido, con la finalidad de que los alumnos a los que cuesta un poco más seguir la asignatura sean ayudados por aquellos con mejores desempeños.
- Como la práctica tiene carácter transversal, se pretende que aquellos estudiantes matriculados en asignaturas cuyos conceptos sean aplicables a esta experiencia de laboratorio, por ejemplo, química y tecnología industrial, se repartan equitativamente entre los diferentes equipos.
- Se planteará un complemento a la práctica para aquellos estudiantes y/o grupos que posean un nivel superior y pudieran querer ampliar conocimientos.

Una vez presentados todos los aspectos más relevantes de la práctica, así como haber verificado experimentalmente su correcta validez y tener una visión de lo que se intenta transmitir al alumnado, se procederá a la redacción del boletín de prácticas.

12 Boletín de prácticas.

Durante esta primera parte teórica de la práctica, el alumnado deberá de trabajar de forma individual y fuera del horario escolar las diferentes cuestiones planteadas, así como haber realizado una lectura lo más profunda posible para recabar posibles dudas.

12.1 Marco teórico.

1. Objetivos.

- Comprender el concepto de condensador.
- Hallar teóricamente la expresión de la capacitancia.
- Construir un condensador casero con materiales cotidianos.
- Obtener experimentalmente la permitividad relativa de un folio de papel.

2. Definición.

En las ramas de la física de electromagnetismo y electrónica, un condensador, también llamado capacitor, es un utensilio empleado para almacenar energía gracias a la creación de un campo eléctrico. Las versiones más simples están compuestas por un único par de superficies conductoras, generalmente láminas o placas planas y paralelas, aunque es posible encontrar capacitores con multitud de formas y tamaños diferentes.

Estas superficies conductoras son fácilmente apreciables en los conocidos como condensadores variables, señalados en la *figura 1* mediante un círculo rojo, que tal como su nombre indica, pueden modificar su capacitancia entre un valor mínimo y otro máximo (más adelante veremos este concepto).

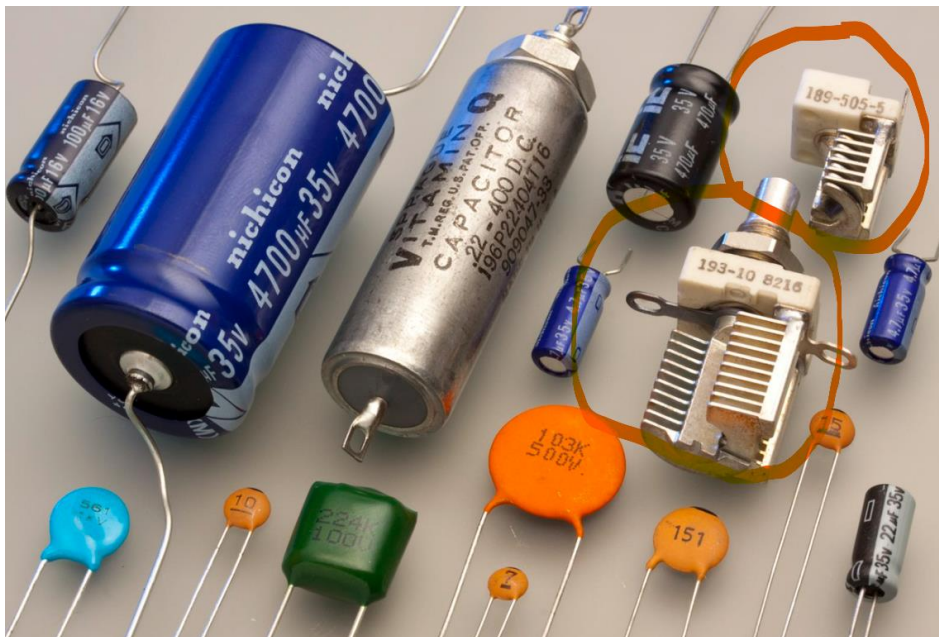


Imagen 1: diferentes tipos de condensadores.

Nosotros, por motivos de simplicidad, restringiremos los casos estudiados a condensadores plano-paralelos de dos caras.

1ª cuestión: ¿qué símbolos electrónicos usan para representar en un circuito a un condensador?
¿Y a un condensador variable?

3. Historia.

Aunque los condensadores estén estrechamente relacionados con la electrónica y esto pueda inducir a pensar que son productos de aparición relativamente reciente, nada más lejos de la realidad.

La historia de los condensadores se remonta al siglo XVIII, cuando el físico alemán Ewald Georg von Kleist y el inventor holandés Pieter van Musschenbroek descubrieron de manera independiente (en 1745 von Kleist y en 1746 van Musschenbroek) un dispositivo para almacenar carga eléctrica, conocido como “La botella de Leyden”, en honor a la universidad homónima donde el holandés desarrollaba su trabajo. Este dispositivo estaba compuesto por una botella de vidrio que contenía capas de metal en el interior (lleno de agua) y en el exterior, separadas por un aislante. El condensador de Leyden fue un hito en el desarrollo de la electricidad estática y jugó un papel importante en los experimentos de la época.

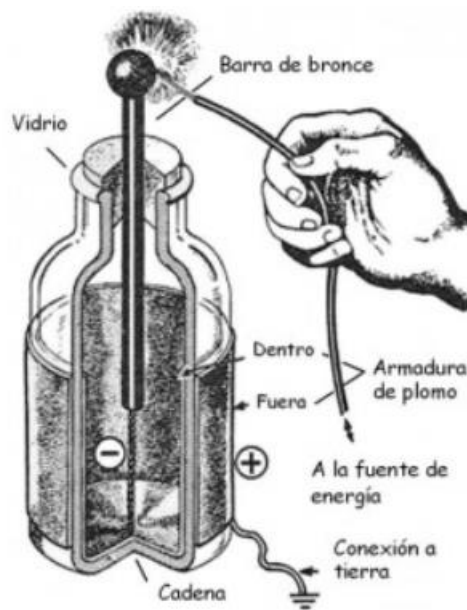


Imagen 2: esquema del condensador de Leyden.

En los siglos siguientes, los condensadores se fueron perfeccionando y se introdujeron nuevos diseños y materiales. A finales del siglo XIX, el físico alemán Hermann von Helmholtz desarrolló el primer condensador de placas paralelas, que consistía en dos láminas metálicas separadas por un material dieléctrico. Este diseño permitió una mayor capacidad de almacenamiento y se convirtió en la base para los capacitores modernos.

Con el avance de la electrónica, los condensadores se utilizaron cada vez más en una variedad de aplicaciones. En la década de 1950, se introdujeron los condensadores electrolíticos, que ofrecían una alta capacidad en un tamaño compacto. Estos condensadores se utilizaron en dispositivos electrónicos como radios, televisores y computadoras.

2ª cuestión: busca información y haz un breve resumen de la composición de los condensadores electrolíticos.

A medida que la tecnología avanzaba, surgieron nuevos tipos de condensadores, como los condensadores de película delgada, cerámicos, de tantalio y electrolíticos de aluminio, cada uno con características específicas y aplicaciones particulares, sin los cuales no sería posible entender los grandes avances que se han producido en nuestra sociedad actual, en especial en el marco de la electrónica.

4. Funcionamiento.

Para que sea posible la creación de un campo eléctrico y, por ende, el fenómeno de almacenamiento de energía, una placa deberá de quedar cargada positivamente, mientras que la otra lo hará de forma negativa, con lo que se conseguirá una situación de influencia total.

3º cuestión: define con tus propias palabras y a partir de lo visto en clase sobre dipolo eléctrico el concepto de influencia total.

Entre las dos láminas superficiales se encuentra un dieléctrico (en nuestro caso una hoja de papel). Esta separación, junto al campo eléctrico dan lugar a una diferencia de potencial. Recuerdese que si el campo es uniforme en la trayectoria:

$$\Delta V = \vec{E} \cdot \Delta \vec{d} \quad (1)$$

Siendo:

- ΔV la diferencia de potencial entre las placas.
- \vec{E} la magnitud del campo eléctrico.
- $\Delta \vec{d}$ la separación de las placas.

Un factor importante a tener en cuenta de los condensadores es que técnicamente no almacenan carga eléctrica, ya que lo que sucede realmente es una redistribución de esta entre las superficies, siendo la variación total de esta magnitud física nula al aplicar una diferencia de potencial.

A partir de lo anterior, es posible definir el concepto de capacidad, que no es más que el cociente de la carga (en valor absoluto) contenida en una de las placas externas, entre el valor absoluto de la diferencia de potencial a la que se encuentra sometido, es decir:

$$C = \frac{Q_{total}}{\Delta V} \quad (2)$$

Donde también es posible expresar para el caso de un condensador plano-paralelo:

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \quad (3)$$

Siendo:

- S la superficie de las placas del condensador.
- d la separación entre las placas, donde está contenido el dieléctrico, por ello también denotará el espesor de este.

- ϵ la permitividad eléctrica total del dieléctrico.

4º cuestión: deduce las fórmulas 2 y 3. Para ello deberás de:

- Suponer una carga genérica de igual módulo, pero diferente signo para ambas placas al ser sometidas a una diferencia de potencial.
- Empleando la Ley de Gauss, encontrar el campo eléctrico resultante en cada región del espacio.
- A partir del campo eléctrico calcular la diferencia de potencial resultante en función de la carga, la superficie, la separación de las placas y la permitividad eléctrica.
- Relacionar y expresar las magnitudes que sean constantes de la forma más adecuada hasta llegar a las expresiones pedidas.

5. Aplicaciones.

Decir que los capacitores tienen multitud de aplicaciones, muchas de las cuales cuentan con un alto grado de complejidad que escapa al nivel impartido en segundo de bachillerato, razón por la que únicamente se mencionarán algunos usos.

- Medicina: desfibriladores implantados. Almacenan energía proveniente de una batería en un condensador, para poder aplicarla en muy poco tiempo

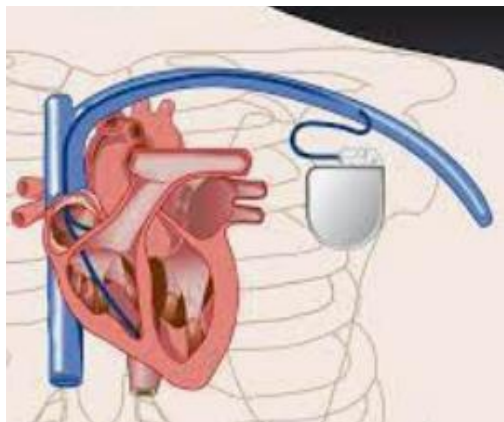


Imagen 3: desfibrilador implantado.

- Baterías: almacenan energía en la frenada para devolverla al acelerar.
- Memorias y discos de estado sólido: la información se almacena en condensadores más o menos cargados. Se emplean miles de millones.
- Motores: arranque de motores monofásicos.
- Diferentes tipos de sensores: según las condiciones ambientales (humedad, presión, temperatura, etc.) la permitividad del dieléctrico puede cambiar, empleándose este hecho para la construcción de dispositivos basados en condensadores. El ejemplo del papel que se empleará durante la práctica como dieléctrico es un ejemplo de ello, ya que la celulosa absorbe humedad ambiental.



Imagen 4: motor monofásico.

12.2 Marco experimental.

En esta sección nos disponemos a construir un condensador y a determinar experimentalmente la permitividad relativa y absoluta de una hoja de papel.

6. Materiales.

- Calibre.
- Regla.
- Adhesivo escolar.
- Rotuladores.
- Un puñado de folios.
- Una lámina con unas medidas mínimas de 21 x 29,7 cm, aunque se recomienda que sea superior.
- Papel de aluminio.
- Tijeras.
- Capacímetro (será entregado por el profesor).
- Multímetro (será entregado por el profesor).
- Ordenador dotado de Excel (será aportado por el centro, aunque cada alumno podrá llevar el suyo).

5º cuestión: busca información y define por ti mismo lo que es un multímetro y un capacímetro.

7. Procedimiento experimental para la construcción de un condensador y determinación de las permitividades relativas y absolutas del papel.

- El primer paso es aplicar pegamento sobre la lámina de madera que servirá como soporte.
- Con sumo cuidado, cubrir toda la lámina con papel de aluminio, pasando un rodillo o ejerciendo presión para eliminar posibles burbujas de aire que hubieran podido quedar.
- Recortar varios rectángulos/cuadrados de papel de aluminio y de diferentes superficies, para ello, deberás de señalar con regla y rotulador el área deseada y cortar cuidadosamente con tijeras para que la lámina no quede arrugada. Estos trozos deben de quedar sueltos, sin pegar sobre ninguna clase de soporte, con 9 o 10 recortes será suficiente.
- Colocar sobre la cara de aluminio unida a la madera un folio de papel, que previamente habrás determinado su espesor con la ayuda del calibre.

6º cuestión: ¿cómo puedes determinar el espesor de un solo folio si el margen de error del calibre es superior a tal medida?

- Colocar la segunda placa de papel de aluminio sobre el folio, teniendo en cuenta que esta no podrá sobresalir de la superficie del papel.

7º cuestión: ¿Cuál de las dos placas de aluminio determinaría la superficie del condensador? Justifica tu respuesta.

- Colocar un segundo soporte (puede ser madera o cualquier otro material rígido) sin adhesivo sobre la segunda cara de aluminio y ejercer presión, se recomienda colocar un mismo objeto para que la presión aplicada siempre sea igual.
- Medir con el multímetro en configuración de ohmímetro la resistencia del montaje. En caso de no obtener un valor infinito de resistencia, analizar a qué se podría deber y solventarlo.

8º cuestión: A partir de la teoría estudiada sobre el funcionamiento de un condensador y del concepto de dieléctrico, ¿por qué crees que la resistencia debe ser infinita?

- Medir la capacidad del condensador fabricado. Para ello deberás colocar cada uno de los cables del capacitómetro sobre una de las dos placas conductoras.
- Repetir el proceso para cada superficie de papel de aluminio recortado.

Superficie	Capacidad

9ª cuestión: Adjuntar del fotos del proceso de construcción.

- Obtener con un ordenador las permitividades absolutas y relativas a partir de las fórmulas teóricas y los datos experimentales.

10ª cuestión: con la ayuda de Excel, de las expresiones obtenidas para la capacidad de un condensador y de los valores de las capacidades y las superficies medidos, ¿qué podrías hacer para calcular las permitividades absolutas y relativas del papel? Adjuntar todos los resultados.

Nota: cada magnitud que se hubiera obtenido tras una medición deberá de ir acompañada de su correspondiente error y explicación de la determinación de este.

8. Bibliografía.

- <https://parcialesingenieria.files.wordpress.com/2009/07/taller-y-laboratorio-resumen.pdf>
- <https://dle.rae.es/condensador#4EZXqez>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Condensador_el%C3%A9ctrico
- https://web.archive.org/web/20081218083815/http://www.powerdesigners.com/InfoWeb/design_center/Design_Tips/Electrolytics/Caps.shtm
- <https://diarium.usal.es/elenamoro/2015/03/16/botella-de-leyden/>
- <https://helloauto.com/glosario/condensador>

13 Criterios para la elaboración del informe de laboratorio.

Recuérdese que el alumnado deberá de entregar un informe de carácter individual sobre la práctica, debido a la rica diversidad que está presente en las clases de bachillerato de nuestra sociedad actual, se dejará a la libre elección de los estudiantes el formato que ellos consideren más adecuado. No obstante, sí habrá unas pautas comunes de obligado cumplimiento que se expondrán a continuación.

El formato de entrega comprenderá un máximo de 10 páginas A4, con tamaño de letra de 12 puntos (Times New Roman o Calibri) e interlineado el que aparece por defecto en Word. El motivo de esta extensión, a priori tan larga, se fundamenta en que solamente se hará una práctica durante el trimestre, por ello se busca que sea lo más completa posible. Deberán de aparecer los siguientes apartados:

- Breve resumen de la práctica a partir de lo que ha comprendido el alumno (No sobrepasar una página).
- Objetivos de la experiencia que el alumno juzgue como los más importantes (pueden coincidir con los que aparecen en el guion)
- Materiales (Deberá de adjuntar fotos y la una breve explicación del funcionamiento y uso).
- Procedimiento experimental seguido en el laboratorio.
- Datos y resultados obtenidos, también se pueden incluir fotografías o tablas si fuesen necesarias.
- Conclusiones e ideas más importantes que se han extraído, en caso de no haber obtenido un resultado correcto o parecido al esperado, indicar la causa.
- Respuesta a las cuestiones que aparecen en el guion.
- Bibliografía empleada.

14 Experiencia complementaria a la práctica.

La idea de este apartado es brindar a todos aquellos alumnos que así lo deseen, la oportunidad de ampliar sus conocimientos, para lo que se pretende que analicen las conexiones en serie y en paralelo de condensadores y que demuestren, como objetivo final, las leyes que rigen dichas asociaciones.

La experiencia se fundamenta en el hecho de que la mayoría de los estudiantes universitarios suelen confundir las fórmulas que rigen el comportamiento de los condensadores con sus análogas para el caso de resistencias, radicando el origen de tal problemática en una falta de comprensión de los conceptos en los que se sustentan tales expresiones.

Para llevar a cabo el experimento, será el propio profesor quien haga el montaje experimental, esto se debe a la falta de tiempo y a lo complicado que resulta colocar dos condensadores en serie y en paralelo sin usar ninguna clase de adhesivo, únicamente ejerciendo presión.

Decir que esta última experiencia optativa no es fácil, y mucho menos para el nivel de un alumno de segundo de bachillerato, razón por que se ha decidido subir medio punto la nota final de la asignatura en el primer trimestre a todos aquellos estudiantes que la realicen con éxito.

Respecto al montaje experimental, el procedimiento es análogo al seguido anteriormente, la única diferencia reseñable es que se necesitarán varias placas de papel de aluminio de la misma superficie, sin importar el tamaño de estas. En nuestro caso se ha trabajado con áreas de $10 \times 10 \text{ cm}^2$, donde una vez más, se ha usado la armadura de papel de aluminio sobre soporte de madera.

A partir de ahora se seguirán dos procedimientos distintos según el tipo de conexión:

- **En serie:** en este caso se usarán dos capas de dieléctrico, para ello se doblará un folio por la mitad y se introducirá entre medias un cuadrado de papel de aluminio de $10 \times 10 \text{ cm}^2$. La situación es análoga a conectar en serie dos condensadores de una única capa de dieléctrico con iguales dimensiones.



Imagen 38: modo de colocación de la lámina intermedia.

Posteriormente se situarán las capas sobre la placa conductora de mayor tamaño y se colocará la última cara externa del condensador, con la precaución de que las superficies de los conductores de $10 \times 10 \text{ cm}^2$ coincidan la una sobre la otra. Finalmente se tiene: placa de aluminio + folio + placa de aluminio + folio + placa de aluminio.



Imagen 39: montaje final de la conexión en serie antes de tomar las medidas.

Por último, se ejercerá presión de forma análoga a lo ya explicado en el apartado donde se mostraba la construcción de un condensador. Posteriormente se tomará el valor de la capacidad con un capacímetro.



Imagen 40: medida de la capacidad del condensador en serie.

- **En paralelo:** sobre la cara externa de mayor tamaño se situará un folio, colocándose sobre el mismo dos placas de papel de aluminio de $10 \times 10 \text{ cm}^2$, sin que estas se lleguen a tocar.



Imagen 41: montaje experimental de dos condensadores en paralelo.

Para tomar el valor de la capacidad en paralelo, se volverá a ejercer presión y una de las pinzas del capacímetro será situada sobre los salientes de las capas externas de los condensadores, estando los mismos unidos entre sí, a diferencia del resto de las áreas de las capas externas. Para la recogida de datos se procederá de forma análoga a los casos anteriores.



Imagen 42: medida de la capacidad de dos condensadores de una única capa de dieléctrico (papel) conectados en serie.

Los datos obtenidos de las capacidades para las conexiones en serie y en paralelo, junto al resultado hallado para el caso de un solo condensador de igual superficie son los siguientes:

- **Una sola capa:**

$$C = (1,47 \pm 0,01)nF$$

- **Dos condensadores en serie:**

$$C = (0,71 \pm 0,01)nF$$

- **Dos condensadores en paralelo:**

$$C = (3,05 \pm 0,01)nF$$

No obstante, antes de proceder por parte del profesorado a mostrar los datos a los alumnos, se les explicará un poco el proceso de montaje descrito en los párrafos anteriores. También se realizará un breve coloquio sobre qué es lo que ellos esperan obtener al medirse las capacidades de los condensadores, centrando el debate en la cuestión de: ¿cuál será mayor y por qué?

Para provocarles un conflicto cognitivo se les pondrá como ejemplo el caso de dos resistencias de igual valor que se conectan en serie y posteriormente en paralelo.

Una vez que todos los estudiantes hubiesen dado su opinión al respecto, se tomarán las capacidades. Por parte del docente se remarcará el hecho fundamental de que la capacidad en serie es aproximadamente la mitad de la medida para un solo condensador, mientras que, para la configuración en paralelo el resultado es ligeramente superior al doble del caso individual.

Concluida esta parte, se les mandará como tarea que justifiquen con los conceptos estudiados el fenómeno que acaban de ver, cuya justificación queda recogida en las siguientes líneas y se usará como guía de referencia para evaluar la completitud del informe referente a esta parte que entregarán todos aquellos alumnos que así lo hubiesen decidido.

- **En serie:** se tendría el siguiente esquema:

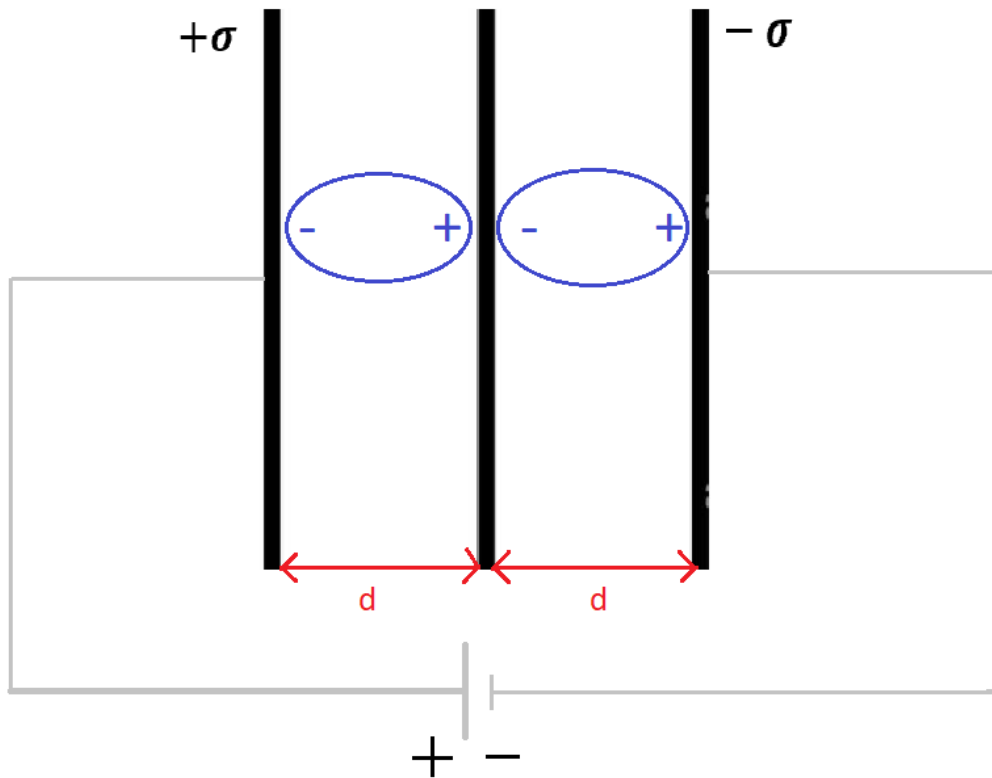


Imagen 43: esquema de conexión en serie de dos condensadores .

La fuente de alimentación nos indica el signo de la densidad de carga adquirida en cada una de las dos placas externas. Queda por determinar cómo se comporta la lámina central, cuya carga total es cero.

En primer lugar, se deberá de calcular con la ayuda de la Ley de Gauss los campos creados por las láminas laterales con densidades de carga homogéneas. Se empezará por aquella con carga positiva, donde se aplicará un cilindro como superficie de integración:

$$\Phi_{E_+} = \vec{E}_+ \cdot \vec{S} = \vec{E}_+ \cdot \vec{S}_{base\ 1} + \vec{E}_+ \cdot \vec{S}_{base\ 2} + \vec{E}_+ \cdot \vec{S}_{lateral} = \frac{\sigma S_{base\ 1}}{\epsilon}$$

Como las bases de un cilindro son iguales y el campo es perpendicular a la superficie lateral, queda:

$$2\vec{E}_+ \cdot \vec{S}_{base\ 1} = \frac{\sigma S_{base\ 1}}{\epsilon}$$

$$E_+ = \frac{\sigma}{2\epsilon}$$

Para el caso de la placa con carga negativa se procederá de forma análoga:

$$\Phi_{E_-} = \vec{E}_- \cdot \vec{S} = \vec{E}_- \cdot \vec{S}_{base1} + \vec{E}_- \cdot \vec{S}_{base2} + \vec{E}_- \cdot \vec{S}_{lateral} = \frac{-\sigma S_{base1}}{\epsilon}$$

$$2\vec{E}_- \cdot \vec{S}_{base1} = \frac{-\sigma S_{base1}}{\epsilon}$$

$$E_- = -\frac{\sigma}{2\epsilon}$$

A continuación, se mostrarán las direcciones y sentidos de los campos calculados, donde todos serán paralelos a los vectores superficie de los planos:

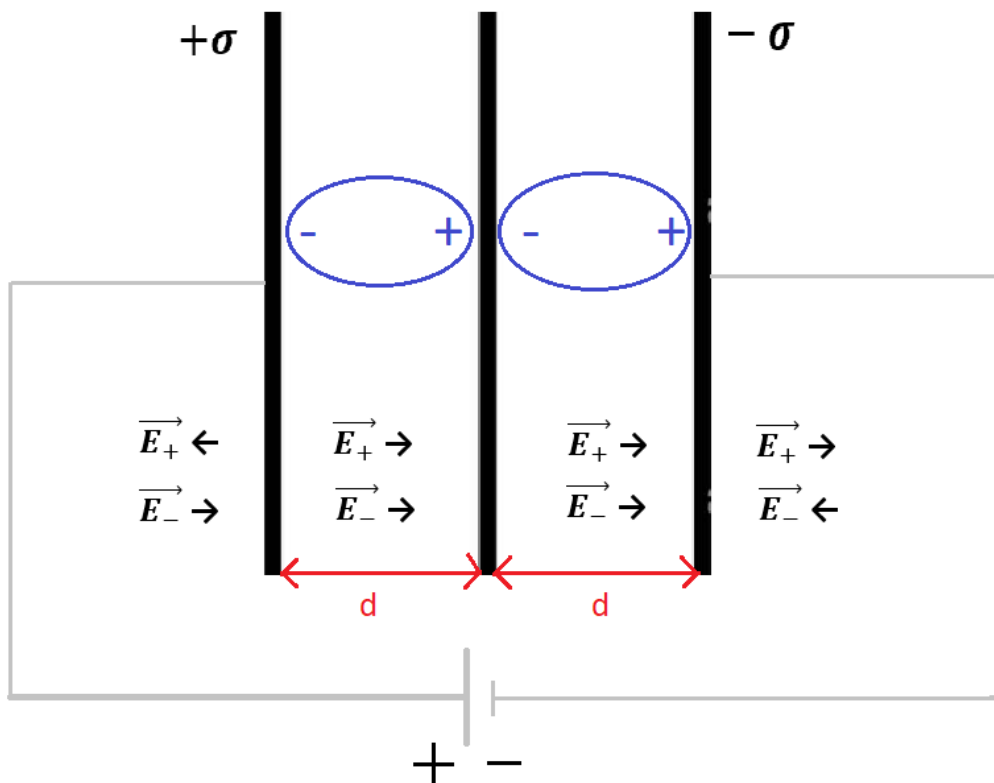


Imagen 44: campos eléctricos creados por las densidades de carga de las láminas superficiales.

A continuación, se introducirá un vector unitario, \vec{u} , perpendicular a las armaduras de la imagen 44, donde se tomará de izquierda a derecha como su sentido positivo. Atendiendo a esta última consideración y al esquema de la imagen anterior, se calculará el campo en cada región del espacio.

Nótese que se han introducido los subíndices + y – para indicar si el campo es creado por una densidad superficial de carga positiva o negativa, sin hacer mención del signo del campo, si no que será \vec{u} el encargado de definirlo. También se debe de recordar para no perderse en posteriores cálculos que: $|E_+| = |E_-|$.

- **1º zona externa del condensador:**

$$\vec{E}_{total} = E_+(-\vec{u}) + E_-\vec{u}$$

$$\vec{E}_{total} = \frac{\sigma}{2\varepsilon}(-\vec{u}) + \frac{\sigma}{2\varepsilon}\vec{u} = 0$$

- **2º zona externa del condensador:**

$$\vec{E}_{total} = E_+\vec{u} + E_(-\vec{u})$$

$$\vec{E}_{total} = \frac{\sigma}{2\varepsilon}\vec{u} + \frac{\sigma}{2\varepsilon}(-\vec{u}) = 0$$

- **Regiones contenidas entre las placas:**

$$\vec{E}_{total} = E_+\vec{u} + E_-\vec{u}$$

$$\vec{E}_{total} = \frac{\sigma}{2\varepsilon}\vec{u} + \frac{\sigma}{2\varepsilon}\vec{u} = \frac{\sigma}{\varepsilon}\vec{u}$$

Sin embargo, aún queda por determinar el comportamiento de la lámina central, para lo que se tendrá en cuenta que esta lámina tiene un espesor diferente a cero, circunstancia que, hasta ahora, no ha sido necesario considerar. Lo anterior se traduce en que los campos eléctricos calculados anteriormente inducirán sobre cada una de las superficies laterales de mayor tamaño de la placa una densidad de carga superficial de igual módulo y diferente signo, recuérdese que la carga total de la lámina es cero.

La circunstancia previa se debe a que el campo eléctrico positivo/negativo atrae/repele a los electrones, quedando regiones con exceso de carga negativa al desplazarse. Las regiones cuyos átomos han perdido electrones, quedarán cargadas positivamente.

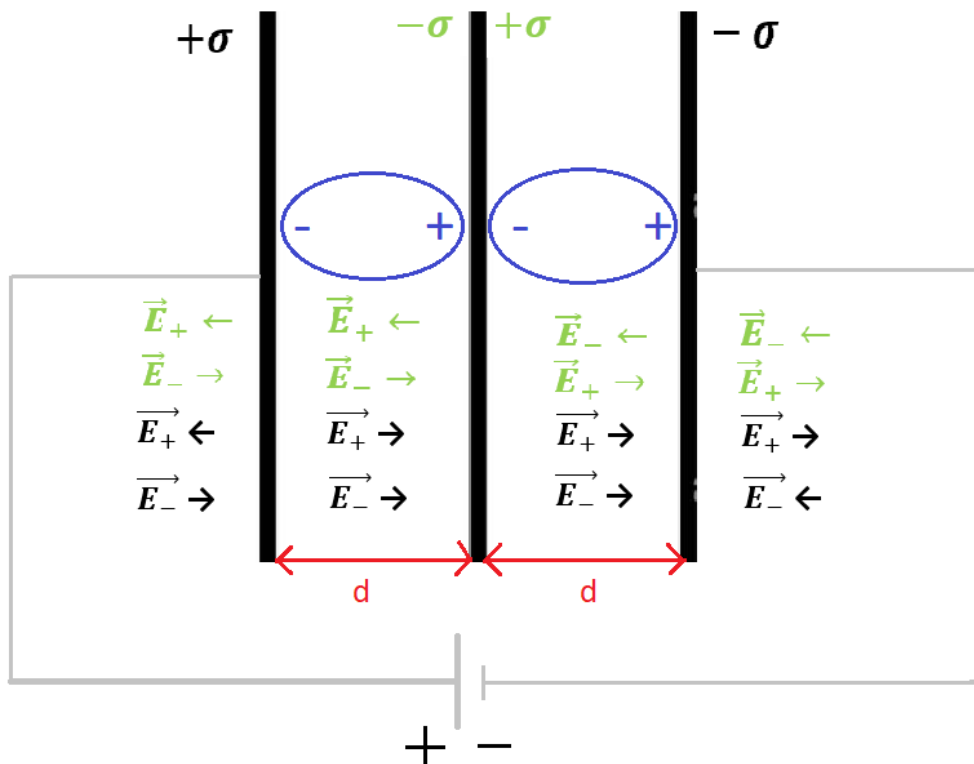


Imagen 45: campos eléctricos resultantes.

Como puede apreciarse en el esquema superior, la introducción de estos nuevos campos no altera en nada el resultado obtenido, aunque para ello debe de considerarse que las densidades de carga creadas sobre el conductor intermedio son de igual módulo que las de las placas externas, ¿cómo es posible justificar esta premisa? Pues bien, para el nivel de segundo de bachillerato se seguirá el siguiente razonamiento:

Inicialmente tendremos nuestra lamina conductora central con carga y densidad en su superficie igual a cero, una vez sometida al campo creado por las placas externas, cuyo módulo es $\frac{\sigma}{\epsilon}$, empezarán a circular electrones desde un extremo del conductor hacia el más alejado, produciéndose densidades de cargas positivas y negativas, tal como se había explicado anteriormente. Se producirá un flujo de electrones hasta que se alcance una situación de equilibrio, que no será más que cuando el campo creado por estas nuevas densidades superficiales de carga es el opuesto del valor del campo que las ha originado (el campo total debe de ser cero), es decir:

$$\frac{\sigma}{\epsilon} \vec{u} + \vec{E}_+ + \vec{E}_- = 0$$

Como los nuevos campos tienen igual módulo, dirección y sentido dentro del conductor:

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = 2|\vec{E}_+|$$

$$|\vec{E}_+| = |\vec{E}_-| = \frac{\sigma}{2\varepsilon}$$

Por lo tanto, se concluye que las densidades de carga superficiales del conductor intermedio tienen igual módulo que las externas.

Otra forma alternativa de explicarlo hubiese sido aplicando la Ley de Gauss al conductor, como la carga efectiva en su interior es cero, la suma de todos los campos que actúan también deberán de dar resultado nulo.

A continuación, se proseguirá con el cálculo de la capacidad resultante del sistema conectado en serie, donde una vez obtenidos los campos se podrá determinar el potencial:

$$C = \frac{Q_{total}}{\Delta V} = \frac{\sigma S}{\frac{\sigma}{\varepsilon}d + \frac{\sigma}{\varepsilon}d} = \frac{S}{\frac{d}{\varepsilon} + \frac{d}{\varepsilon}} \quad (26)$$

Por comparativa con la fórmula obtenida para la capacidad de un solo condensador y operando un poco con la ecuación:

$$\frac{1}{C} = \frac{\frac{\sigma}{\varepsilon}d + \frac{\sigma}{\varepsilon}d}{S} = \frac{1}{C_{inicial}} + \frac{1}{C_{inicial}} \quad (27)$$

Finalmente se ha obtenido que la expresión para hallar la capacidad resultante de una configuración en serie es análoga a la que se emplea para determinar la resistencia en paralelo:

$$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_j} \quad (28)$$

- Configuración en paralelo:

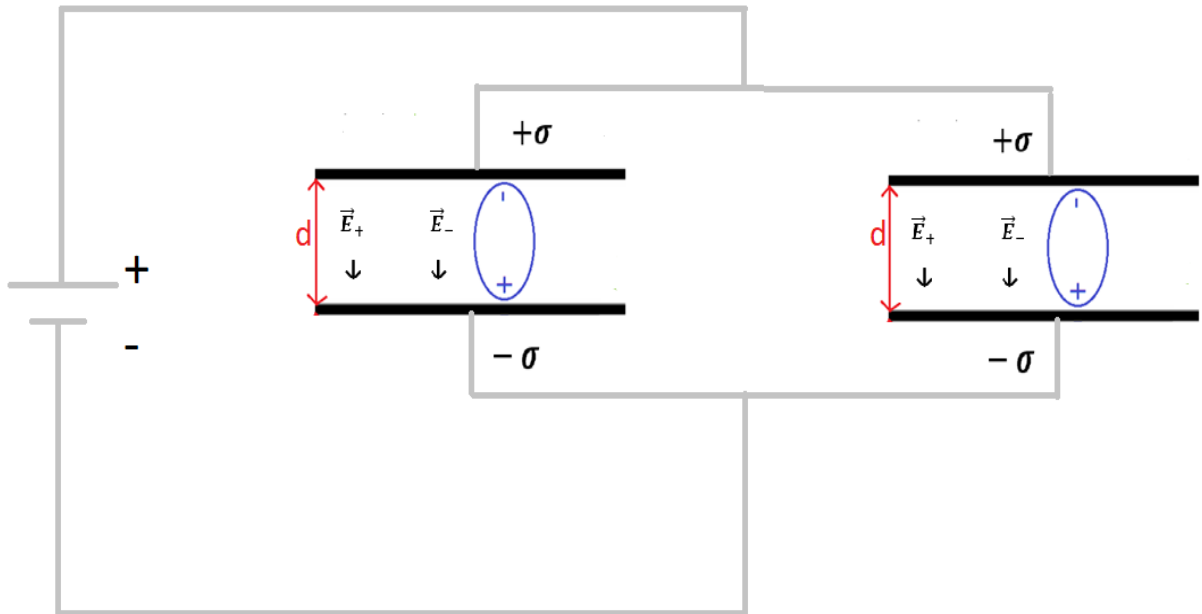


Imagen 46: configuración en paralelo.

En este caso, por motivos de simplicidad se omitirá el cálculo de los campos eléctricos y se pasará directamente al valor de estos según las zonas:

- 1ª zona externa del condensador:

$$\vec{E}_{total} = E_+(-\vec{u}) + E_-\vec{u}$$

$$\vec{E}_{total} = \frac{\sigma}{2\epsilon}(-\vec{u}) + \frac{\sigma}{2\epsilon}\vec{u} = 0$$

- 2ª zona externa del condensador:

$$\vec{E}_{total} = E_+\vec{u} + E_(-\vec{u})$$

$$\vec{E}_{total} = \frac{\sigma}{2\epsilon}\vec{u} + \frac{\sigma}{2\epsilon}(-\vec{u}) = 0$$

- Regiones contenidas entre las placas:

$$\vec{E}_{total} = E_+\vec{u} + E_-\vec{u}$$

$$\vec{E}_{total} = \frac{\sigma}{2\epsilon}\vec{u} + \frac{\sigma}{2\epsilon}\vec{u} = \frac{\sigma}{\epsilon}\vec{u}$$

Donde en este caso el vector \vec{u} es paralelo a los vectores normales de las superficies de las placas conductoras, y adopta el signo positivo al ir de arriba hacia abajo.

Para calcular la capacidad total debe tenerse en cuenta que el potencial de ambos condensadores es el mismo, pero en la región donde se produce está diferencia de tensión la carga es el doble:

$$C = \frac{Q_{total}}{\Delta V} = \frac{\sigma S + \sigma S}{\frac{\sigma}{\epsilon} d} = \frac{S + S}{\frac{d}{\epsilon}} \quad (29)$$

Comparando con la capacidad de un solo condensador:

$$C = \frac{\epsilon S + \epsilon S}{d} = C_{inicial} + C_{inicial} \quad (30)$$

Generalizando la expresión anterior:

$$C = \sum C_j \quad (31)$$

Todos aquellos alumnos que hubieran realizado un procedimiento similar al aquí mostrado habrían deducido las fórmulas para calcular la capacidad equivalente en las configuraciones de en serie y en paralelo, justificando sendas expresiones los resultados experimentales obtenidos al comienzo de este mismo apartado.

15 Conclusiones.

Una vez concluido el trabajo, se pueden extraer las siguientes conclusiones acerca del mismo:

- Se ha elaborado con éxito una base pedagógica previa a la práctica, mediante la cual se ha justificado la necesidad de llevar a cabo la experiencia, así como esta puede encajar en un curso de segundo de bachillerato acorde a los nuevos estándares educativos y de aprendizaje.
- Ha sido posible elaborar con los conocimientos y técnicas de los que dispone un alumno promedio de segundo curso de bachillerato un marco teórico que a posteriori hiciese posible un estudio experimental sobre condensadores. Principalmente se ha profundizado en el fundamento de la Ley de Gauss, así como en sus posibles aplicaciones.
- Se ha comprobado que es posible construir un condensador con materiales cotidianos, para su posterior verificación se ha determinado la permitividad relativa y absoluta de una hoja de papel. Donde para la permitividad relativa se obtuvo que: $\epsilon_r = (1,54 \pm 0,07)$, dato muy cercano al que se puede encontrar en la mayoría de la bibliografía consultada: $\epsilon_r = 1,50$. Esta pequeña discrepancia, se debe, a parte del error puramente experimental, a que el papel está compuesto por celulosa y esta tiene la propiedad de absorber humedad ambiental, cambiando por ello el valor de su permitividad relativa.
- Al haber seguido muchas de las guías que aparecen en YouTube o cualquier otra plataforma de internet, se han encontrado multitud de incongruencias desde el punto de vista físico, como puede ser emplear pegamento líquido para unir el dieléctrico a las placas conductoras, obteniéndose de este modo la pérdida de las propiedades dieléctricas del material.
- Durante la selección de los materiales que se emplearían como dieléctricos, se ha concluido que el papel de folio es el que resulta más adecuado. Por otro lado, la mayoría de los restantes candidatos han sido descartados al no haberse podido encontrar un método mediante el cual obtener sus espesores.
- En el proceso de elaboración y testado del capacitor se ha puesto de manifiesto el enorme trabajo existente detrás de una práctica aparentemente tan simple como la que atañe a este trabajo, factor que demuestra que para implementar una práctica es necesario un arduo proceso de verificación.
- Para atender a todos aquellos alumnos que desearan ampliar conocimientos o que la práctica les hubiese resultado relativamente fácil, se ha planteado una parte complementaria donde se han deducido las expresiones que rigen el cálculo de la capacidad resultante de conectar condensadores en serie y en paralelo (cada tipo de configuración por separado).

16 Prospectiva.

En este último apartado se pretende recopilar una serie de puntos para complementar o mejorar la práctica sobre el estudio de condensadores, aunque que por diversos motivos no ha sido posible plasmarlos a lo largo del trabajo.

- Durante la fabricación del condensador, pudo comprobarse que según variase la presión ejercida para mantener fijos todos los elementos, se obtenían valores distintos de capacidades. Esta circunstancia podría ser empleado para elaborar un dispositivo que calculase la fuerza ejercida a partir de la capacidad medida. Por extrapolación, también podrían estudiarle la relación existente entre capacidad y parámetros ambientales como la humedad y la temperatura.
- Como línea de continuación a la parte complementaria basada en el estudio de conexiones en serie y en paralelo de condensadores, se consideraría interesante que los alumnos trabajasen con circuitos eléctricos que contarán con varios condensadores en diferentes configuraciones.
- Se puede estudiar el fenómeno de ruptura del dieléctrico, que no es más que cuando al aplicar una diferencia de potencial lo suficientemente grande, el aislante pasa a ser conductor. Para ello, se realizaría una experiencia de cátedra donde se cargaría un condensador que usara aire como dieléctrico hasta que se produjera una chispa entre sus armaduras, lo que indicaría la rotura del dieléctrico.

Posteriormente se relacionarían estos conceptos con los relámpagos producidos en las tormentas, de tal forma que los estudiantes sean capaces de apreciar las similitudes.

- Como principal línea de continuación estaría la implementación de la práctica a una situación real de enseñanza, ya que durante el desarrollo del trabajo no ha sido posible realizarla con alumnos.

17 Bibliografía.

- Cantoritos. (2017, 31 de mayo). *Cómo obtener incertidumbre de la pendiente y de la ordenada al origen con Excel 2013* [video]. https://www.youtube.com/watch?v=Jl-IH_CCcRU (consultado: 2023, 27 de mayo)
- Carles Bótia. (2017, 17 de noviembre). *FABRICACION DE UN CONDENSADOR CASERO (capacitor)* [video]. <https://www.youtube.com/watch?v=2PcmVxWtnh8> (consultado: 2023, 10 de abril).
- Centro de Estudios Académicos (1994). *OPOSICIONES A INGRESO EN EL CUERPO DE PROFESORES DE ENSEÑANZA SECUNDARIA, FÍSICA Y QUÍMICA*.
- Diego-Mantecón, J. M., Ortiz-Laso, Z., Lavicza, Z (2021). *Proyectos STEAM con formato KIKS para el desarrollo de competencias clave*. Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación 29 (66).
- Dorf, Richard C., Svoboda, James A. (2001). *Introduction to Electric Circuits*. John Wiley & Sons.
- Herrán Gascón, A., Cortina Selva, M. y González Sánchez, I. (2006). *La muerte y su didáctica. Manual para educación infantil, primaria y secundaria*. Universitas.
- Jefatura de Estado (2022). *DECRETO 40/2022, DE 29 DE SEPTIEMBRE, POR EL QUE SE ESTABLECE LA ORDENACIÓN Y CURRÍCULO DE BACHILLERATO EN LA COMUNIDAD DE CASTILLA Y LEÓN*. (BOCYL)
- Jefatura de Estado (2020). *LEY ORGÁNICA 3/2020, DE 29 DE DICIEMBRE, POR LA QUE SE MODIFICA LA LEY ORGÁNICA 2/2006, DE 3 DE MAYO, DE EDUCACIÓN*. (BOE)
- Jefatura de Estado (2022). *REAL DECRETO 243/2022, DE 5 DE ABRIL, POR EL QUE SE ESTABLECEN LA ORDENACIÓN Y LAS ENSEÑANZAS MÍNIMAS DEL BACHILLERATO*. (BOE).
- Kolb, David A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice-Hall.
- López Melero, M. (2004). *Construyendo una escuela sin exclusiones. Una forma de trabajar con proyectos en el aula*. Aljibe.
- Magister (2003). *OPOSICIONES AL CUERPO DE MAESTROS, RAMA PEDAGOGÍA TERAPEÚTICA*.
- Robotic Arts. (2015, 22 de julio). *Condensador Casero || Diseñalo tú mismo* [video]. <https://www.youtube.com/watch?v=QQlBHqVLk0w> (consultado: 2023, 10 de abril)

- Rodríguez, Luis; Fernández, Rosario; Escudero, Tomás (2002). Aprendizaje entre iguales y construcción de conceptos. *Infancia y aprendizaje* **25** (3): 277-297
- Schunk, D.H. (2008). *Learning theories: An educational perspective*. Prentice Hall.
- Schunk, D.H. (2008). *Metacognition, self-regulation, and self-regulated learning: research recommendations*. *Educational psychology review*, 20(4), 463-467.
- Trillo, J. (Ed.). (2001). *El legado pedagógico del siglo XX para la escuela del siglo XXI*. Graó.
- Vicerrectoría Académica, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. «[El aprendizaje basado en problemas como técnica didáctica](#)». *Dirección de Investigación y Desarrollo Educativo*. (Consultado: 2023, 3 de abril).

17.1 Imágenes.

- **Imagen 1:** (recuperada: 2023, 20 de marzo)
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- **Imagen 2:** (recuperada: 2023, 20 de marzo)
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- **Imagen 3:** (recuperada: 2023, 28 de marzo)
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- **Imagen 4:** (recuperada: 2023, 2 de abril)
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- **Imagen 5:** (recuperada: 2023, 28 de marzo)
<https://www.virtualplus.com/aprendizaje-por-competencias/>
- **Imagen 6:** (recuperada: 2023, 25 de marzo)
<https://www.educaryjugar.com/docentes/guia-aprendizaje-basado-en-proyectos/>
- **Imagen 7:** (recuperada: 2023, 20 de marzo)
https://es.wikipedia.org/wiki/Educaci%C3%B3n_STEM#/media/Archivo:Educaci%C3%B3n_STEAM.jpg

- **Imagen 8:** fuente propia.
- **Imagen 9:** (recuperada: 2023, 29 de abril)
<http://entenderlasmates.blogspot.com/2019/06/algunas-aplicaciones-del-calculo.html>
- **Imagen 10:** (recuperada: 2023, 29 de abril) <https://es.quora.com/Qu%C3%A9-es-la-integral-de-una-constante>
- **Imagen 11:** (recuperada: 2023, 29 de abril)
https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Gauss.
- **Imagen 12:** (recuperada: 2023, 29 de abril)
<https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/electro/gauss.html#:~:text=El%20flujo%20del%20campo%20el%C3%A9ctrico%20a%20trav%C3%A9s%20de%20cualquier%20superficie,por%20la%20constante%20CE%B50>
- **Imagen 13:** (recuperada: 2023, 5 de marzo)
http://laplace.us.es/wiki/index.php/Campo_debido_a_una_esfera_cargada_uniformemente
- **Imagen 14:** (recuperada: 2023, 27 de abril)
https://edeja.juntadeandalucia.es/bancorecursos/file/80810f4a-6906-4c1c-a90f-1c80d0e0a9f1/1/es-an_2014112113_9112134.zip/ODE-b9911f37-acd2-34de-a431bfec8c982b3b/22_campo_elctrico_creado_por_un_hilo_cargado.html?temp.hn=temp.rue&temp.hb=true
- **Imagen 15:** (recuperada: 2023, 2 de mayo)
<https://unicrom.com/clasificacion-tipos-condensadores-capacitores/>
- **Imagen 16:** (recuperada: 2023, 29 de abril)
https://es.wikipedia.org/wiki/Influencia_total
- **Imagen 17:** (recuperada: 2023, 29 de abril)
http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro16/14_ley_de_gauss.html
- **Imagen 18:** (recuperada: 2023, 17 de abril)
<https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/electro/gauss.html#:~:text=El%20flujo%20del%20campo%20el%C3%A9ctrico%20a%20trav%C3%A9s%20de%20cualquier%20superficie,por%20la%20constante%20CE%B50>
- **Imagen 19:** (recuperada: 2023, 13 de mayo)
<https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/electro/gauss.html#:~:text=El%20flujo%20del%20campo%20el%C3%A9ctrico%20a%20trav%C3%A9s%20de%20cualquier%20superficie,por%20la%20constante%20CE%B50>.

- **Imagen 20:** (recuperada: 2023, 20 de abril)
https://es.wikipedia.org/wiki/Diel%C3%A9ctrico#Polarizaci%C3%B3n_dipolar
- **Imagen 21:** fuente propia.
- **Imagen 22:** fuente propia.
- **Imagen 23:** fuente propia.
- **Imagen 24:** fuente propia.
- **Imagen 25:** (recuperada: 2023, 1 de mayo)
amazon.es/QWORK-Transparente-Impresora-Copiadora-Retroproyector/dp/B0B151HQJK?ref_=Oct_d_obs_d_4352989031_2&pd_rd_w=nriX7&content-id=amzn1.sym.67380c45-9132-4fa1-a3d8-5030f179e528&p
- **Imagen 26:** fuente propia.
- **Imagen 27:** fuente propia.
- **Imagen 28:** fuente propia.
- **Imagen 29:** fuente propia.
- **Imagen 30:** fuente propia.
- **Imagen 31:** fuente propia.
- **Imagen 32:** fuente propia.
- **Imagen 33:** fuente propia.
- **Imagen 34:** fuente propia.
- **Imagen 35:** fuente propia.
- **Imagen 36:** fuente propia.
- **Imagen 37:** fuente propia.
- **Imagen 38:** fuente propia.
- **Imagen 39:** fuente propia.
- **Imagen 40:** fuente propia.

- **Imagen 41:** fuente propia.
- **Imagen 42:** fuente propia.
- **Imagen 43:** fuente propia.
- **Imagen 44:** fuente propia.
- **Imagen 45:** fuente propia.
- **Imagen 46:** fuente propia.

18 Anexo.

A continuación, se mostrarán los valores obtenidos durante la toma de datos experimentales, así como sus correspondientes errores.

Superficie/espesor (m)	Capacidad (nF)
354±7	4,89±0,01
225±6	3,78±0,01
199±4	3,02±0,01
89±3	1,47±0,01
75±3	1,24±0,01
62±2	1,27±0,01
57±2	1,05±0,01
53±2	1,07±0,01
22±1	0,43±0,01

Para el error de la capacidad se ha utilizado el dado por el capacitmetro, el cual era capaz de dar medidas con una precisión de ±0,01nF.

Respecto al error de la superficie/espesor se ha empleado un método capaz de ser comprendido por los alumnos de física de segundo de bachillerato, quienes ya tienen un nivel relativamente avanzado en lo que a derivar se refiere. A continuación, se procede a explicar el método tomando como referencia la expresión de la superficie entre el espesor:

$$\frac{S}{e} = \frac{l_1 \cdot l_2}{e}$$

Se ha representado el espesor del dieléctrico como e en lugar de d para evitar confusiones respecto a la notación.

Si se toma el diferencial a la expresión anterior considerando a l_1 , l_2 y a e como variables independientes entre sí (cada una aporta una incertidumbre sin relación con el resto), queda:

$$d\left(\frac{S}{e}\right) = \frac{1}{e} \cdot \frac{\partial S}{\partial l_1} dl_1 + \frac{1}{e} \cdot \frac{\partial S}{\partial l_2} dl_2 + S \cdot \frac{\partial\left(\frac{1}{e}\right)}{\partial e} de$$

$$d\left(\frac{S}{e}\right) = \frac{l_2}{e} dl_1 + \frac{l_1}{e} dl_2 - \frac{S}{e^2} de$$

Ahora bien, el error cometido al medir los lados de los condensadores es muy pequeño en comparación con la magnitud de estos, se podrá aproximar la diferencial como un incremento, que en este caso sería la incertidumbre:

$$\Delta\left(\frac{S}{e}\right) = \frac{l_2}{e} \Delta l_1 + \frac{l_1}{e} \Delta l_2 - \frac{S}{e^2} \Delta e$$

Como es lógico, los errores cometidos en las distintas variables no pueden hacer disminuir los errores en el resto, por lo que se tomarán los valores absolutos para las expresiones resultantes de las derivadas parciales:

$$\Delta\left(\frac{S}{e}\right) = \left|\frac{l_2}{e}\right| \Delta l_1 + \left|\frac{l_1}{e}\right| \Delta l_2 + \left|\frac{S}{e^2}\right| \Delta e$$

Y esta ha sido la expresión que se ha empleado para determinar el error indirecto en el cálculo de la e y la superficie/espesor.

A modo de ejemplo se expondrá el cálculo de $\Delta\left(\frac{S}{e}\right)$ para el condensador de mayor tamaño, aquel cuyos lados tenían una longitud de $(20,0 \pm 0,1) \text{ cm}$ y el espesor del dieléctrico, al igual que en el resto, era de $(0,0113 \pm 0,0001) \text{ cm}$:

$$\begin{aligned} \Delta\left(\frac{S}{e}\right) &= \left|\frac{l_2}{e}\right| \Delta l_1 + \left|\frac{l_1}{e}\right| \Delta l_2 + \left|\frac{S}{e^2}\right| \Delta e = \\ &= \left|\frac{20 \text{ cm}}{0,0113 \text{ cm}}\right| 0,1 \text{ cm} + \left|\frac{20 \text{ cm}}{0,0113 \text{ cm}}\right| 0,1 \text{ cm} + \left|\frac{400 \text{ cm}^2}{(0,0113)^2 \text{ cm}^2}\right| 0,0001 \text{ cm} = \end{aligned}$$

$$= 2 \left| \frac{20 \text{ cm}}{0,0113 \text{ cm}} \right| 0,1 \text{ cm} + \left| \frac{400 \text{ cm}^2}{(0,0113)^2 \text{ cm}^2} \right| 0,0001 \text{ cm} =$$

$$= \Delta \left(\frac{S}{e} \right) = 667 \text{ cm} = 6,67 \text{ m} \approx 7 \text{ m}$$

Por lo tanto, para tal condensador se tendrá que:

$$\frac{S}{e} = \frac{S}{d} = (354 \pm 7) \text{ m}$$

Respecto al error dado para el cálculo de la permitividad, se ha utilizado el suministrado por Excel, la forma de programarlo se muestra en la siguiente dirección: https://www.youtube.com/watch?v=Jl-IH_CCcRU

	m	n
	0,01363789	0,3039515
incer.	0,00064499	0,1052102
r2	0,9845844	0,200087
	447,085407	7