

MEDICIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DEL PAPEL Y VIDRIO EN CAPACITORES

MEASUREMENT OF THE DIELECTRIC CONSTANT OF PAPER AND GLASS IN CAPACITOR



¹Germán Melo Mondragón, ²José Gregorio Doria Andrade,
³Susana Melo Londoño

¹*Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, Colombia*

²*Institución Universitaria Pascual Bravo, Colombia*

³*Universidad Nacional de Colombia, Colombia*

Recibido: 04-02-2024 Aprobado: 03-03-2024

RESUMEN

Los capacitores se utilizan en muchas aplicaciones de la ingeniería, pero una de sus propiedades importantes es que estos dispositivos pueden almacenar energía. La relación entre la capacitancia del capacitor cuando se introduce el dieléctrico C y cuando las placas se separan por el vacío C_0 se llama la constante dieléctrica K del material. La constante dieléctrica de un material llamada también permitividad relativa estática es una medida de la cantidad de flujo electrostático en un material, esta cantidad adimensional es una propiedad del material y su valor afecta la capacitancia de un condensador, en este artículo se presenta la medición experimental de la capacitancia en un capacitor de placas paralelas y en uno cilíndrico donde en su interior se colocó papel seco y vidrio común los cuales son comparados con los datos teóricos, a la vez, se elabora un applet en GeoGebra de estos dos casos y finalmente se simula en QuickField un capacitor cilíndrico con dieléctrico de constante K .

Palabras clave: capacitancia, capacitor, constante dieléctrica, material dieléctrico.

ABSTRACT

Capacitors are used in many engineering applications, but one of their important properties is that this device can store energy. The ratio of the capacitance of the capacitor when the dielectric C is introduced and when the plates are separated by the vacuum C_0 is called the dielectric constant K of the material. The dielectric constant of a material also called static relative permittivity is a measure of the amount of electrostatic flux in a material, this dimensionless quantity is a property of the material and its value affects the capacitance of a capacitor, This article presents the experimental measurement of capacitance in a parallel plate capacitor and a cylindrical one where inside was placed dry

Citación: Melo Mondragón, G., Doria Andrade, J. G., & Melo Londoño, S. (2024). Medición de la constante dieléctrica del papel y vidrio en capacitores. Publicaciones E Investigación, 18(1). <https://doi.org/10.22490/25394088.7794>

¹ gmelo@elpoli.edu.co - <https://orcid.org/0000-0003-3296-1191>

² j.doriaan@pascualbravo.edu.co - <https://orcid.org/0000-0002-8014-5589>

³ smelol@unal.edu.co - <https://orcid.org/0009-0009-7953-4024>

<https://doi.org/10.22490/25394088.7794>

paper and common glass which are compared with the theoretical data, while an applet is developed in GeoGebra of these two cases and finally a cylindrical capacitor with dielectric constant K is simulated in QuickFieldX

Key words: capacitance, capacitor, dielectric constant, dielectric material.



1. INTRODUCCIÓN

Un condensador o capacitor es un dispositivo empleado en circuitos eléctricos y electrónicos para almacenar energía eléctrica en forma de diferencia de potencial (o campo eléctrico). Está formado por dos conductores, generalmente en forma de placas, cilindros o láminas, separados por el vacío o por un material dieléctrico (Purcell, 1969). El concepto de capacitancia implica la comprensión de concentración de campo eléctrico entre las dos placas de un condensador, que depende del material dieléctrico entre ellas (Halliday *et al.*, 1993). Cuando se retira la fuente de voltaje del material, éste vuelve a su estado original no polarizado o permanece polarizado si los enlaces moleculares del material son débiles (Rubio Royo, 1985). La distinción entre los términos dieléctricos y los términos de aislamiento no es muy conocida (Saguay Tacuri & Torres Cuenca, 2012). Todos los materiales dieléctricos son aislantes, pero uno que se polariza fácilmente es un buen dieléctrico (Ohanian, 2010) y el propósito es aumentar la capacitancia del condensador en un factor K.

Los capacitores o condensadores se utilizan en muchas aplicaciones de la ingeniería. Entre estas se encuentran el almacenamiento de energía y para construir líneas de radiofrecuencia. Los de alta permeabilidad se utilizan a menudo para mejorar el rendimiento de los semiconductores. También se utilizan en transformadores, reóstatos, reactores en derivación, reactores de tierra, en pantallas de cristal líquido, osciladores de resonancia y dispositivos de microondas sintonizables.

Los dieléctricos son materiales no metálicos de alta resistividad. Los tipos son:

- Gaseosos cuyo objetivo es prevenir descargas eléctricas, ejemplos: aire, nitrógeno y dióxido de carbono.
- El líquido, utilizado en equipos de alta tensión que es subproducto del petróleo, llamado aceite aislante y refrigerante.
- Sólidos, poseen una polarización permanente y son de mayor resistencia. Entre ellos están:
- Orgánicos como el papel, polipropileno, poliésteres.
- Inorgánicos como el vidrio, porcelana, mica, óxido de silicio entre otros.

2. MARCO TEÓRICO

En un capacitor de placas paralelas la capacitancia depende de los factores geométricos, en este caso el área A, la longitud de separación de las placas d y de la constante dieléctrica del material K. La ecuación para calcular la capacitancia está dada por Serway & Jewett (2018).

$$C = \frac{K\epsilon_0 A}{d} \quad (1)$$

Donde $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$ es la constante de permitividad del vacío.

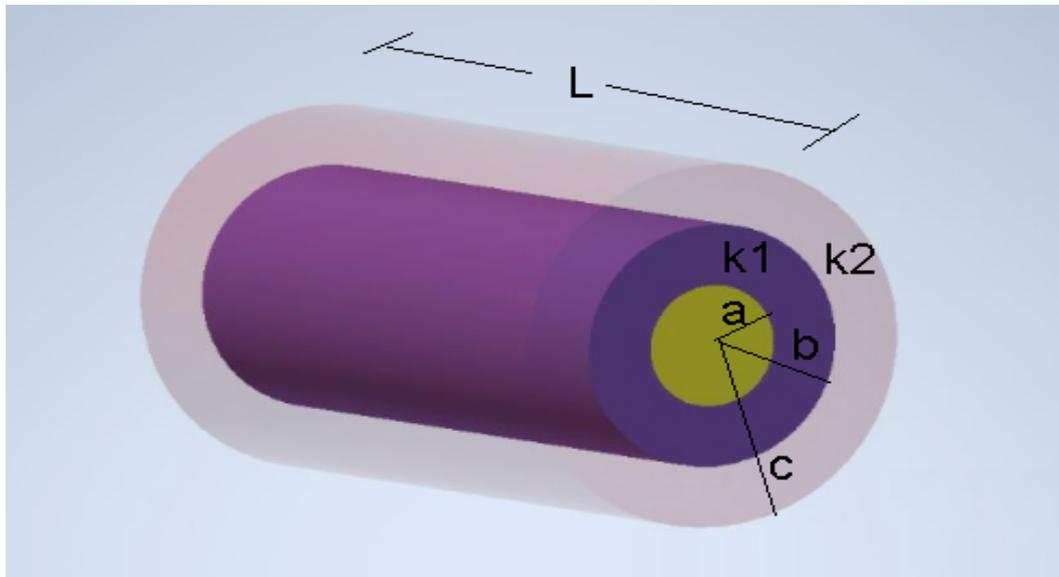
Para un capacitor cilíndrico la capacitancia de Longitud L radios Exterior R e interior r y con material dieléctrico k está dada por Serway & Jewett (2018)

$$C = \frac{2\pi K\epsilon_0 L}{\ln \frac{R}{r}} \quad (2)$$

Para un cilindro lleno en su interior de dos dieléctricos K1 y K2 en serie como se muestra en la representación esquemática de la Figura 1 con simetría radial se tiene la ecuación:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L K_1 K_2}{K_2 \ln\left(\frac{b}{a}\right) + K_1 \ln\left(\frac{c}{b}\right)} \quad (3)$$

Fig. 1. Representación esquemática de un condensador cilíndrico con dos dieléctricos que consiste en dos armaduras cilíndricas concéntricas de radios a y c con longitud L.



3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los métodos para medir las constantes dieléctricas utilizados en este trabajo son el método de placas paralelas y capacitor cilíndrico.

3.1 Capacitor de placas paralelas con dieléctricos papel y vidrio

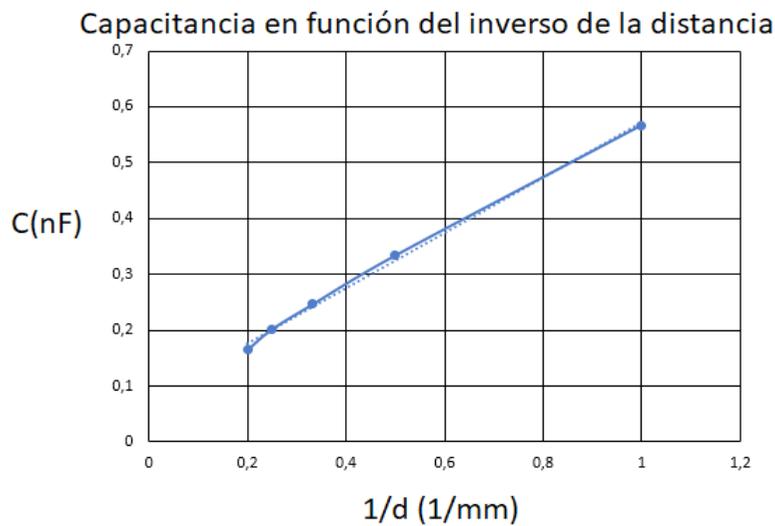
La Tabla 1 muestra los datos experimentales que se midieron en un capacitor de placas paralelas de área constante 0.0176715 m². Entre las placas se coloca papel como medio dieléctrico y se va aumentando la distancia de separación.

TABLA 1

Papel		
d (mm)	1/d (1/mm)	C (nF)
1	1	0.567
2	0.5	0.334
3	0.333	0.247
4	0.25	0.202
5	0.2	0.165

La gráfica de capacitancia en función del inverso de la distancia se muestra en la Figura 2.

Fig. 2. Capacitancia en función del inverso de la distancia en un capacitor de placas paralelas, el dieléctrico es papel y la ecuación de regresión lineal es $y=0.4941x+0.0774$



Con la pendiente obtenida e igualando al término $K\epsilon_0 A$ de la ecuación (1) se halla una constante dieléctrica del papel $K = 3.2$ y un porcentaje de error del 8.6 % al comparar con el teórico de 3.5.

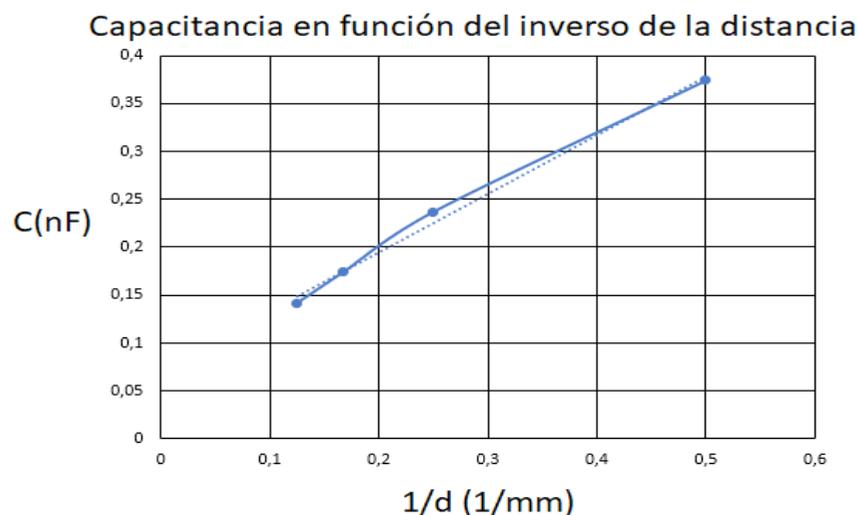
La Tabla 2 muestra los datos experimentales obtenidos en capacitor de placas paralelas de área constante 0.01767 m^2 . Entre las placas se coloca vidrio común como medio dieléctrico y se va aumentando la distancia de separación.

TABLA 2

Vidrio común		
d (mm)	1/d (1/mm)	C (nF)
2	0.5	0.374
4	0.25	0.237
6	0.167	0.174
8	0.125	0.142

La grafica de capacitancia en función del inverso de la distancia se muestra en la Figura 3.

Fig. 3. Capacitancia en función del inverso de la distancia en un capacitor de placas paralelas, el dieléctrico es vidrio común y la ecuación de regresión lineal es $y=0.6098x+0.0729$



Con la pendiente obtenida e igualando el término $K\epsilon_0 A$ de la ecuación (1) se halla una constante dieléctrica del vidrio $K = 3.9$ y un porcentaje de error del 7.1% al compararlo con el teórico de 4.2.

3.2 Placas paralelas dieléctricos en serie vidrio y papel

Cuando se colocan dos materiales dieléctricos en serie dentro del capacitor de placas paralelas la fórmula para hallar la capacitancia está dada por:

$$C = \frac{2\epsilon_0 K_1 K_2 A}{(K_1 + K_2)d} \quad (4)$$

Para una distancia de separación constante de 4 mm (cada material tiene un ancho de 2mm), un área de las placas 0.0176715 m^2 y con los valores de la constante dieléctrica de papel $K=3.2$ y del vidrio $K=3.9$ se obtiene con la ecuación (4) un C teórico = 0.137 nF y un C experimental = 0.124 nF con un porcentaje de error del 9.5 %.

3.3 Placas paralelas dieléctricas en paralelo vidrio y papel

Si se tienen dos materiales dieléctricos en paralelo dentro del capacitor de placas paralelas la fórmula para hallar la capacitancia está dada por:

$$C = \frac{2\epsilon_0(K_1 + K_2)A}{d} \quad (5)$$

Con los mismos valores del área, pero ahora una distancia de separación de 2mm entre las placas y cada material cubriendo la mitad del área se obtiene con la ecuación (5) un C teórico = 0.277 nF y un C experimental = 0.224 nF y un porcentaje de error del 19.1 %.

3.4 Otra forma de medir la constante dieléctrica del vidrio en capacitor de placas paralelas

Una manera directa de medir la capacitancia es utilizar la fórmula

$$K = \epsilon_r = \frac{C_{\text{dieléctrico}}}{C_{\text{aire}}} \quad (6)$$

Donde se mide la capacitancia con dieléctrico y con aire para la misma área y distancia de separación, los valores medidos experimentalmente son:

$$C_{\text{dieléctrico}} = 0.079 \text{ nF} \pm 0.001 \text{ nF}$$

$$C_{\text{aire}} = 0.324 \text{ nF} \pm 0.001 \text{ nF}$$

Con lo cual se obtiene al utilizar la ecuación (6) una $K = 4.1$ para el vidrio con un porcentaje de error del 2.4 %.

3.5 Capacitor cilíndrico con dieléctrico papel

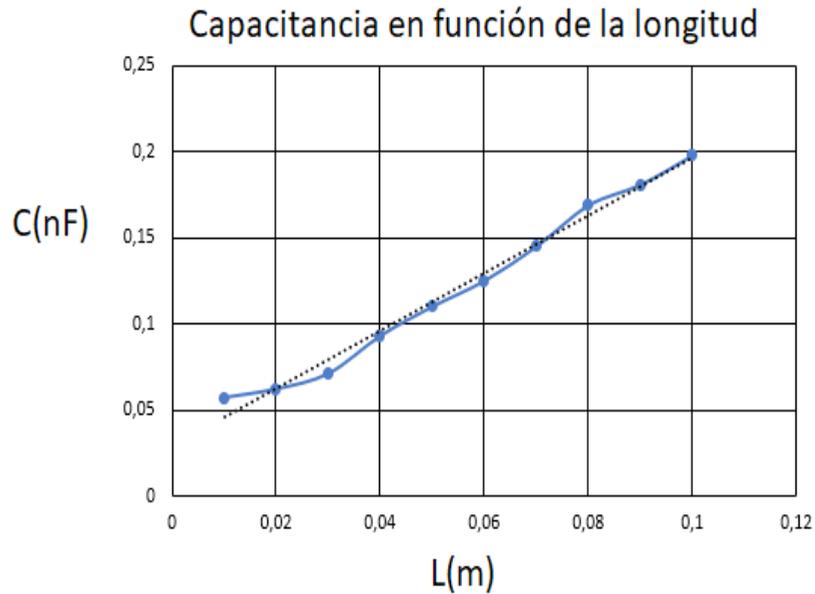
La Tabla 3 muestra los datos experimentales que se midieron en un capacitor cilíndrico de radio interior 0.65 mm y radio exterior 0.73 mm. Entre las los cilindros se coloca papel como material dieléctrico y se varia la longitud del cilindro.

TABLA 3

L (m)	C (nF)
0.01	0.057
0.02	0.062
0.03	0.071
0.04	0.093
0.05	0.11
0.06	0.125
0.07	0.145
0.08	0.169
0.09	0.181
0.1	0.198

La grafica de capacitancia en función del inverso de la distancia se muestra en la Figura 4.

Fig. 4. Capacitancia en función de la distancia en un capacitor cilíndrico el material dieléctrico es papel.



La técnica utilizada de tomar varias mediciones es para disminuir el error en la medida de la constante dieléctrica K que es muy sensible a factores externos (Knowlton, 1956). De la gráfica C vs L se halla la pendiente de la recta, esta pendiente corresponde al factor que acompaña a L de la ecuación (2).

Con una pendiente m de 1.6745×10^{-19} nF/m se obtiene una constante dieléctrica del papel de 3.5 con un

porcentaje de error del 0 % al compararlo con el valor teórico.

La Figura 5 muestra la fotografía del equipo utilizado, multímetro y capacitor cilíndrico.

Fig. 5. Fotografía del equipo utilizado al medir la capacitancia en un capacitor cilíndrico con material dieléctrico papel.



3.6 Capacitor cilíndrico con dieléctrico papel y vidrio en serie

Ahora se muestran los resultados obtenidos con el mismo capacitor cilíndrico, en su interior hay papel y vidrio común. Para este caso con dos dieléctricos con configuración en serie y con el objetivo de obtener la constante dieléctrica para el vidrio ya que la constante dieléctrica del papel es conocida en el proceso anterior.

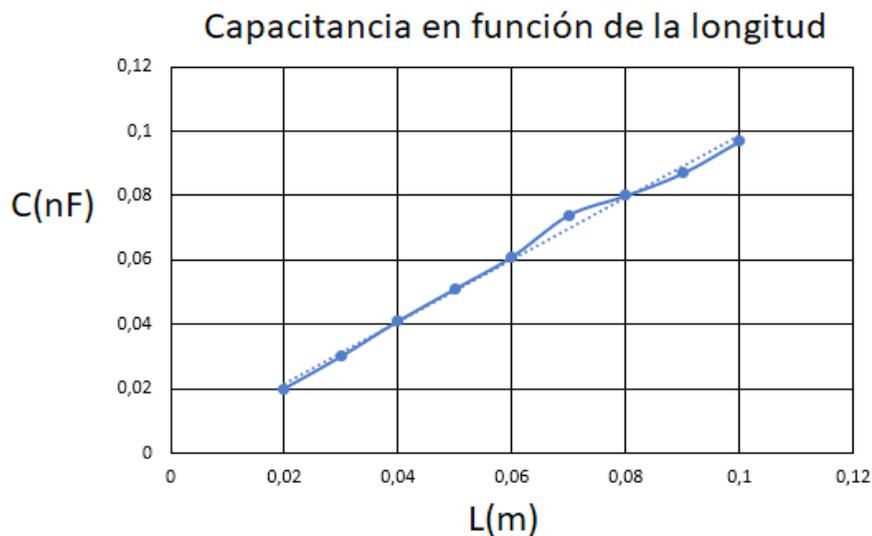
La Tabla 4 muestra los datos experimentales del capacitor cilíndrico con dos dieléctricos papel y vidrio en su interior variando la longitud.

TABLA 4

L (m)	C (nF)
0.02	0.002
0.03	0.003
0.04	0.041
0.05	0.051
0.06	0.061
0.07	0.074
0.08	0.08
0.09	0.087
0.1	0.097

La gráfica de capacitancia en función del inverso de la distancia se muestra en la Figura 6.

Fig. 6. Capacitancia en función de la distancia en un capacitor cilíndrico el material dieléctrico es papel y vidrio en serie.



De igual manera como se procedió en el cálculo anterior se halla la pendiente y conociendo este valor se despeja K del vidrio utilizando la ecuación (3), los radios son $a=0.55$ mm $b=0.65$ mm y $c=0.70$ mm y k del papel 3.5

$$m = \frac{2\pi\epsilon_0 K_{papel} K_{vidrio}}{K_{vidrio} \ln\left(\frac{b}{a}\right) + K_{papel} \ln\left(\frac{c}{b}\right)}$$

Con una pendiente de 0.9967×10^{-9} nF/m se calcula una constante dieléctrica del vidrio de 75 que está en los rangos reportados en la literatura (Zemansky & Freedman, 2004). Es de aclarar que estos valores son muy sensibles a los equipos utilizados en su medición y al tipo de material.

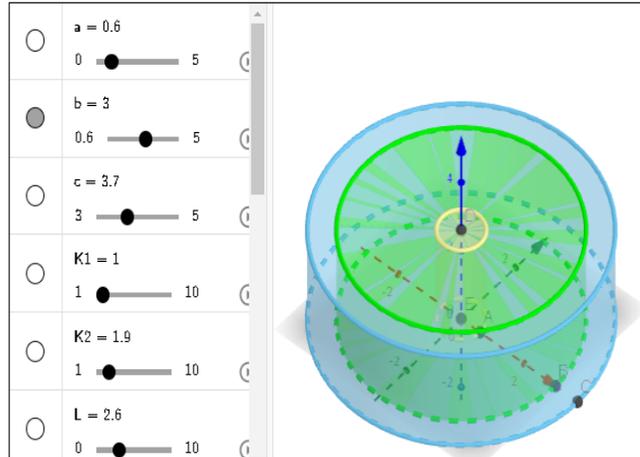
La Figura 7 muestra uno de los applets en GeoGebra para un capacitor cilíndrico con dieléctrico K y con dos dieléctricos en serie dentro del cilindro respectivamente. El usuario puede variar los radios y longitud, debe tener presente las unidades utilizadas.

Fig. 7. Applet en GeoGebra para un capacitor cilíndrico con dos dieléctricos K1 y K2.

Capacitancia de un cilindro con dos dieléctricos en serie

Autor: Germán

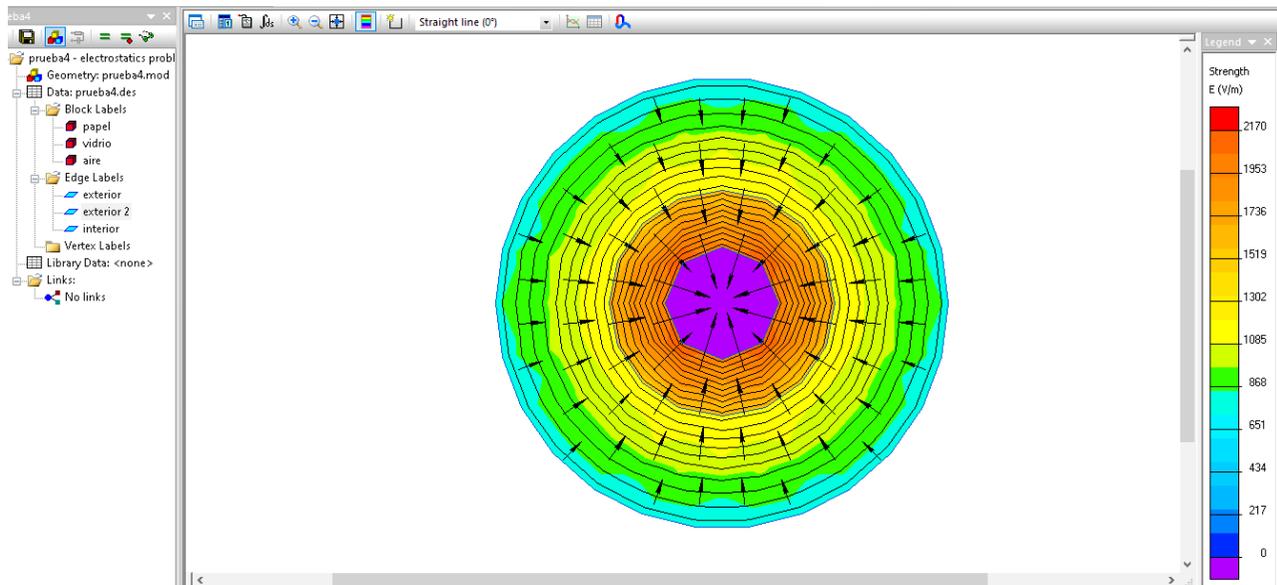
Calcula la capacitancia en faradios de un cilindro de longitud L en cm y el usuario puede seleccionar los radios de los dos cilindros en mm y el c es mayor que b y este mayor que a . Las constantes dieléctricas de los materiales en serie desde 1 hasta 10



La Figura 8 muestra la simulación realizada en QuickField Student versión 6.0 de un capacitor cilíndrico con los dos dieléctricos papel $K=3.5$ y vidrio $K=7.5$ y que es el problema tratado en este artículo, el programa muestra las líneas de campo y su intensidad

en V/m a color dentro del cilindro tanto en su interior como en la barra vertical derecha. Se asignaron unos valores de potencial en voltios y la distancia están en mm con simetría polar, la imagen esta ampliada desde el programa.

Fig. 8. Resultado obtenido con el programa QuickField Student de un capacitor cilíndrico con dos dieléctricos papel interior y vidrio exterior.



4. CONCLUSIÓN

En este artículo se calcula la constante dieléctrica en placas paralelas obteniendo un valor de 3.2 para papel y de 3.9 para el vidrio común el cual está en el rango de los datos teóricos reportados por la literatura, pero para el vidrio tiene un porcentaje de error alto con este método. Se verifican experimentalmente las fórmulas en un capacitor de placas paralelas de dos medios dieléctricos tanto en serie como en paralelo.

Se halla la constante dieléctrica del papel en un capacitor cilíndrico obteniendo un valor de 3.5 siendo más exacta que la obtenida con el capacitor de placas paralelas, y la constante dieléctrica del vidrio en un capacitor cilíndrico con dos dieléctricos en serie de papel y vidrio es de 7.5 el cual reduce el porcentaje de error obtenido en placas paralelas, hay que tener presente que los rangos de las tablas pueden variar de acuerdo a las propiedades de los mismos (Blanco, 2024).

Los resultados experimentales de capacitancia con dos dieléctricos en serie papel y vidrio en un capacitor cilíndrico son escasos en la literatura, lo que se encuentra son ejercicios teóricos del tema (Electricidad y magnetismo, 2024). Se elabora un Applet en GeoGebra simulando un capacitor cilíndrico con un dieléctrico y dos dieléctricos en serie, la aplicación entrega al usuario la capacitancia y este puede variar los valores de las constantes dieléctricas.

Se simuló en QuickField el capacitor cilíndrico con los dos medios papel y vidrio en serie para ilustrar el campo eléctrico dentro del capacitor.

Si bien en los laboratorios de física se calculan estas constantes en configuración de placa paralelas o en un capacitor cilíndrico para un solo dieléctrico, son escasos los reportes en estas constantes en un capacitor cilíndrico en serie como se reporta en este trabajo.

Con este tipo de resultados se fomenta la investigación básica desde los laboratorios de física en universidades e instituciones de educación superior.

AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos a la UNAD por la invitación a participar con la ponencia en el Segundo Congreso Internacional de Investigación y Enseñanza de la Física “La física: motor de la innovación en la transición energética” 2023.

REFERENCIAS

- Blanco, A. (2024). Propiedades fundamentales de los materiales dieléctricos. *Altium*.
<https://resources.altium.com/es/p/fundamental-properties-of-dielectric-materials>
- Electricidad y magnetismo (2024).
<http://srv2.fis.puc.cl/~mbanados/Cursos/ElectricidadMagnetismo/Interrogaciones/Pauta-I2-1-2013.pdf>
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (1993). *Física para estudiantes de ciencias e ingeniería*. Cuarta edición. John Wiley & Sons, Inc.
- Knowlton, A. E. (1956). *Manual estándar del ingeniero electricista*. Editorial Labor.
- Ohanian, H. C. (2010). *Física para ingeniería y ciencias*. Volumen 2. Tercera edición. Interamericana de México. McGraw-Hill.
- Purcell, E. M. (1969). *Berkeley physics course*. Vol. 2. Electricidad y magnetismo. Editorial Reverté.
- Rubio Royo, F. (1985). *Física conceptos básicos*. Tercera edición. Editorial Interinsular Canaria S.A.
- Saguay Tacuri, M. F., & Torres Cuenca, R. A. (2012). *Análisis de comportamiento de medios dieléctricos ante las altas tensiones*. (Tesis de grado) Universidad de Cuenca.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Física para ciencias e ingeniería*. Décima edición. Cengage.
- Zemansky, S. & Freedman, Y. (2004). *Física universitaria*. Editorial Pearson Educación.