



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO PRÁCTICO N°3

Capacitores

MATERIA:

FÍSICA II

COMISIÓN:

Viernes de 14 a 16 hs

INTEGRANTES:

ALLAY ALFONSO, MARÍA MASHAEL (12605);

BORQUEZ PEREZ, JUAN MANUEL (13567);

30/04/2021

Tabla de contenidos

Introducción.....	4
Instrumentos a Utilizar.....	5
Capacitor Experimental de Placas Paralelas.....	6
Fuente de Carga Estática.....	6
Plano de Prueba.....	6
Experiencia 3.1 - Capacitor Eléctrico. $V = f(Q)$ con C constante.....	7
Objetivo.....	7
Procedimiento.....	7
Análisis de los Resultados.....	10
Experiencia 3.2 - Capacitor Eléctrico. $Q = f(C)$ con V constante.....	13
Objetivo.....	13
Procedimiento.....	13
Análisis de los Resultados.....	15
Experiencia 3.3 - Capacitor Eléctrico. $Q = f(V)$ con C constante.....	16
Objetivo.....	16
Procedimiento.....	16
Análisis de los Resultados.....	17
Experiencia 3.4 - Capacitor Eléctrico. $V = f(C)$ con Q constante.....	19

Objetivo.....	19
Procedimiento.....	19
Análisis de Resultados.....	21
Estimación de la Capacidad del Electrómetro.....	21
Experiencia 3.5 - Capacitor Eléctrico. $C = f(K)$	24
Objetivo.....	24
Procedimiento.....	24
Análisis de los Resultados.....	25
Conclusión.....	28

Introducción

En el presente trabajo realizaremos el trabajo práctico N°3 del laboratorio de Física II, llamado “Capacitores”.

A través del análisis de 5 experiencias realizadas en años anteriores podremos corroborar la definición de capacitancia para placas paralelas. Seremos capaces de observar como aumenta o disminuye C dependiendo de la distancia entre placas y materiales.

Instrumentos a Utilizar

En este trabajo práctico vamos a reforzar los conocimientos que hemos adquirido de anteriores trabajos respecto a los instrumentos en el laboratorio, como la doble jaula de Faraday (*Imagen 1*), un electrómetro (*Imagen 2*), observados en el trabajo práctico N°2, y la fuente de tensión (*Imagen 3*) vista brevemente en el trabajo práctico N°1.



Imagen 1: Doble Jaula de Faraday



Imagen 2: Electrómetro



Imagen 3: Fuente de tensión variable

Aparecen a su vez nuevos instrumentos:

Capacitor Experimental de Placas Paralelas (Imagen 4)

Está formado por dos placas planas circulares de 20cm de diámetro, una de ellas está fija y la otra placa es móvil, la separación entre ellas varía a partir de 1mm, esto se debe a que posee pequeños discos aislantes de 1mm de espesor para evitar que se toquen y poner en corto al capacitor. Sometidas estas placas a una diferencia de potencial adquieren una determinada carga eléctrica, positiva en una y negativa en la otra.



Imagen 4: Capacitor experimental de placas paralelas

Fuente de Carga Estática (Imagen 5)

Una esfera conductora conectada a la fuente de tensión ajustada en el rango 0-1000V



Imagen 5: Fuente de carga estática

Plano de Prueba

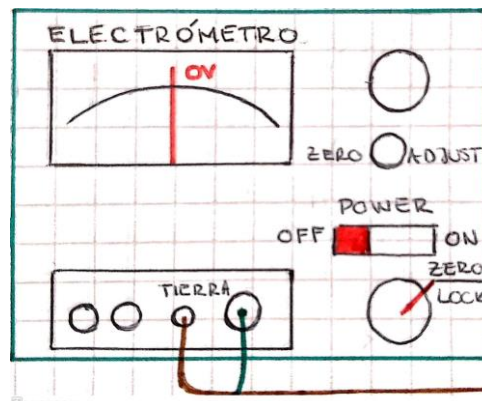
Una paleta constituida por un disco de material conductor y un mango aislante capaz de extraer carga y transportarla.

Experiencia 3.1 - Capacitor Eléctrico. $V = f(Q)$ con C constante.**Objetivo**

Mantener constante la capacitancia C del capacitor y observar la influencia que tiene la carga Q , suministrada a las armaduras, sobre la tensión V en bornes.

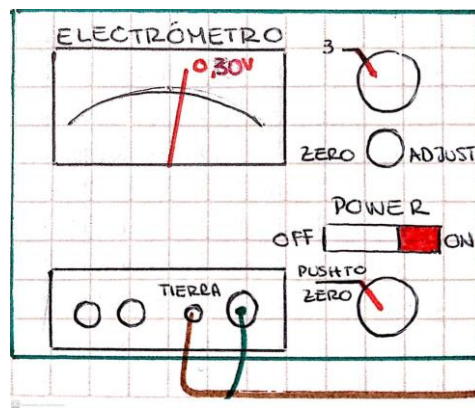
Procedimiento

- 1) Separar las placas una distancia $d = 2\text{mm}$ y no modificarla, manteniendo así la capacitancia C a un valor constante.
- 2) Con el electrómetro en la posición LOCK (*Dibujo 1*), conectar el electrómetro a los terminales del capacitor (si el capacitor está cargado, se descarga de forma segura). El cable rojo del electrómetro a la placa móvil y el negro a la placa fija (esta se conecta a GND), a su vez se conecta la masa del electrómetro a la masa de la fuente.



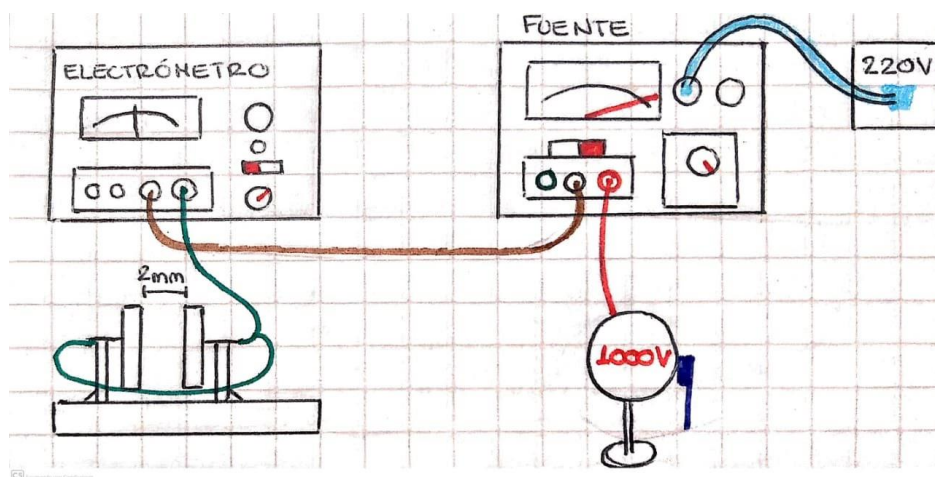
Dibujo 1

- 3) Desbloquear el electrómetro para medir la tensión entre las placas del capacitor (*Dibujo 2*).



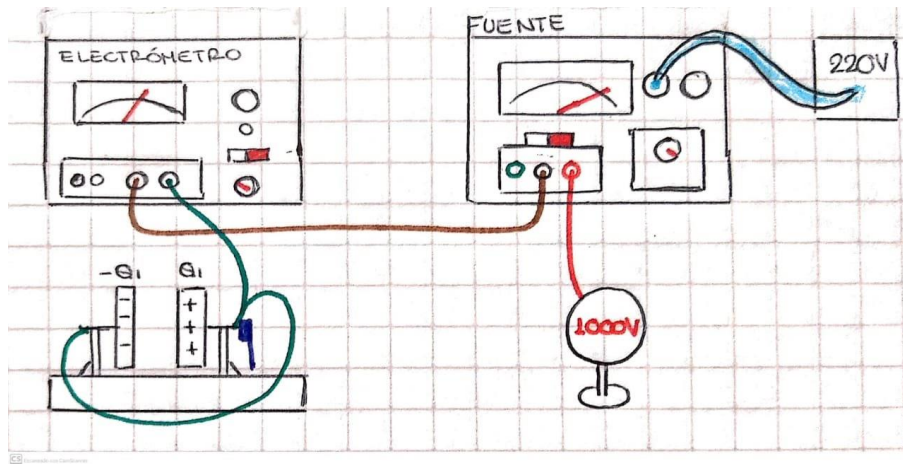
Dibujo 2

4) Tocar con el plano de prueba la esfera que está conectada al terminal + de la fuente de tensión regulada a 1000V (Dibujo 3) y luego tocar la cara externa de la placa + (la placa móvil) (Dibujo 4).



Dibujo 3

Ya con el electrómetro desbloqueado según el dibujo se puede proceder a medir las tensiones.



Dibujo 4

- 5) Repetir 3 veces.
- 6) Tomar lectura de los valores de tensión para cada una de las operaciones de carga y registrarlas.
- 7) Analizar los valores registrados de V e informar como función de Q para C constante.
- 8) Luego repetir para otro valor de C , con $d = 4\text{mm}$.

La **TABLA 1** contiene las mediciones de la experiencia realizadas por un grupo de estudiantes.

Potencial medido	Distancia entre placas	
	2 mm	4 mm
1° Medida	0.30 V	0.45 V
2° Medida	0.51 V	0.90 V
3° Medida	0.75 V	1.35 V

TABLA 1

La **TABLA 2** contiene otras mediciones realizadas para el mismo ensayo

Potencial medido	Distancia entre placas	
	2mm	4mm
1° Medida	0.30 V	0.55 V
2° Medida	0.45 V	0.95 V
3° Medida	0.85 V	1.55 V

TABLA 2

Análisis de los Resultados

En principio puede aceptarse que, por cada toque de la esfera con el plano de prueba, este adquiere la misma carga ΔQ y que se descarga completamente por cada toque con la armadura + del condensador.

En estas condiciones, si para una carga Q_a en el condensador la tensión entre las placas es V_a y para una carga Q_b mayor la tensión entre las placas es V_b , tenemos:

$$CV_a = Q_a$$

$$CV_b = Q_b$$

$$C(V_b - V_a) = Q_b - Q_a$$

$$C = (Q_b - Q_a) / (V_b - V_a)$$

$$C = \Delta Q / \Delta V$$

Es decir, que si ΔQ es el mismo en cada toque, es esperable que los aumentos de tensión también sean iguales por cada toque del capacitor.

Por otro lado, de acuerdo a la fórmula de la capacidad para condensadores de placas paralelas con vacío:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Es esperable que al duplicar la distancia d entre las placas, la capacidad C disminuya a la mitad de su valor, con lo cual para la misma carga Q almacenada en el condensador (es esperable que la carga Q que hay en el condensador para las operaciones de carga correspondientes cuando $d=2\text{ mm}$ y $d=4\text{ mm}$ sea la misma) la tensión debería aumentar en un factor de 2.

En la *TABLA 3* se indican los datos de la *TABLA 2* junto con las variaciones de tensión en las operaciones de carga y las comparaciones de las tensiones en las mediciones correspondientes.

Potencial medido	Distancia entre placas				
	2mm		4mm		Razón de las tensiones (un decimal)
	Tensión	ΔV	Tensión	ΔV	
1° Medida	0.30 V	0.30 V	0.55 V	0.55 V	1.8
2° Medida	0.45 V	0.15 V	0.95 V	0.40 V	2.1
3° Medida	0.85 V	0.40 V	1.55 V	0.60 V	1.8

TABLA 3

En la *TABLA 3* observamos que la variación de tensión en las operaciones de carga para ambas separaciones no tiene un valor constante, es aproximadamente de 0,3 V para la separación de 2mm y aproximadamente de 0,5 V para la separación de 4mm. Se observa también que la razón entre la tensión en el capacitor para 4 mm y la tensión para 2 mm es aproximadamente de 2 para las mediciones correspondientes.

La *TABLA 4* es análoga a la *TABLA 3*, pero para los datos en la *TABLA 1*:

Potencial medido	Distancia entre placas				
	2mm		4mm		Razón de las tensiones (un decimal)
	Tensión	ΔV	Tensión	ΔV	
1° Medida	0.30 V	0.30 V	0.45 V	0.45 V	1.5
2° Medida	0.51 V	0.21 V	0.90 V	0.45 V	1.8
3° Medida	0.75 V	0.24 V	1.35 V	0.45V	1.8

TABLA 4

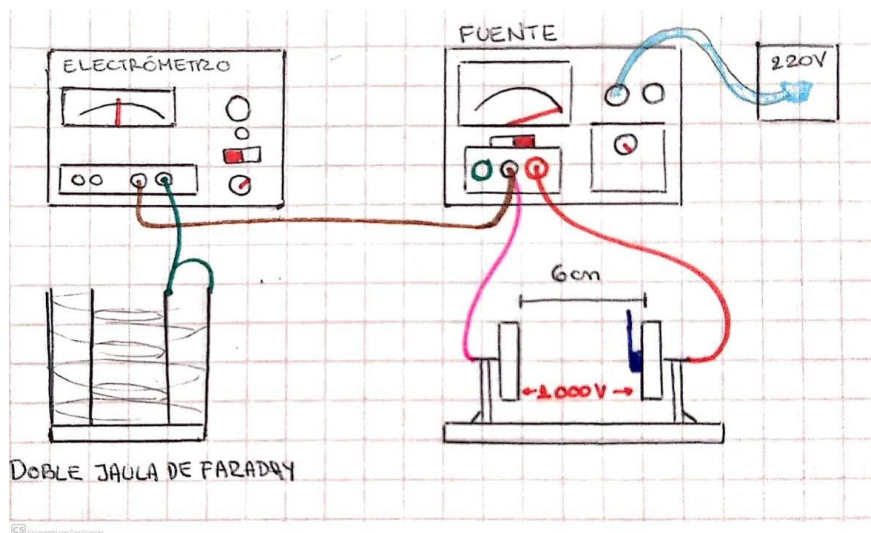
Podemos comparar los resultados de las tablas 2 y 1 observando las tablas 3 y 4. Vemos que para el ensayo correspondiente a la tabla 1, para la separación de 4mm entre las placas, la variación de la tensión para las operaciones de carga sí tiene un valor uniforme de 0.45 V, en tanto que es más errática para la separación de 2mm teniendo una variación aproximada entre mediciones de 0.25 V. La razón de las tensiones en las mediciones correspondientes es aproximadamente igual a 2, pero se alejan más de 2 que para la experiencia de la tabla 1.

Experiencia 3.2 - Capacitor Eléctrico. $Q = f(C)$ con V constante.**Objetivo**

Mantener constante la tensión V y observar la influencia que el valor C (variable) tiene sobre la carga Q que aparece sobre las armaduras.

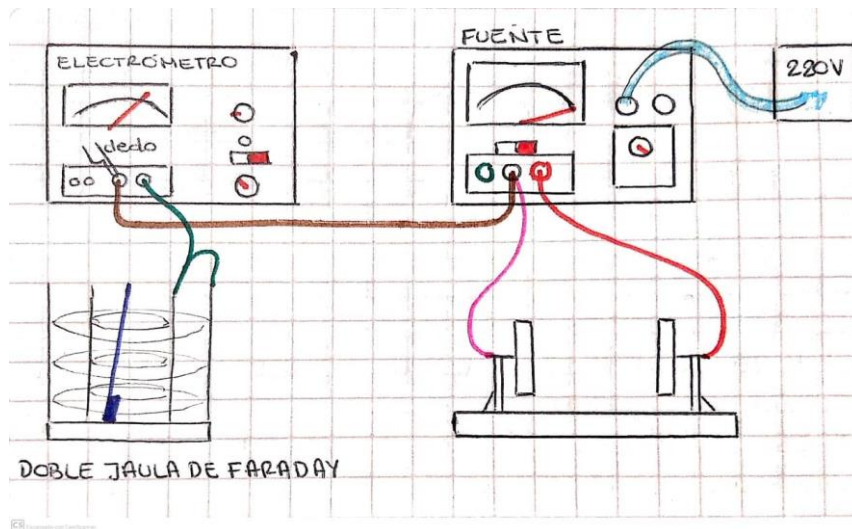
Procedimiento

- 1) Conectar el capacitor a la fuente de alta tensión y el electrómetro a la doble jaula de Faraday manteniendo unidas las masas.
- 2) Seleccionar un primer valor de C separando las placas una distancia $d = 6\text{cm}$ y llevar la tensión V alrededor de 1000 V .
- 3) Con el plano de prueba previamente descargado, tocar la parte central interna de la placa (Dibujo 5).



Dibujo 5

- 4) Llevar el plano de prueba al interior de la cubeta y la lectura del electrómetro dará una idea de la cantidad de carga Q que el plano de prueba capturó en la superficie de contacto (*Dibujo 6*).



Dibujo 6

Durante toda la medición el operador debe tocar con un dedo el terminal GND del electrómetro, para evitar efectos de inducción.

- 5) Repetir los pasos de 3 a 4 dos veces más.
- 6) Analizar los valores registrados e informar.
- 7) Descargar correctamente todos los elementos.
- 8) Variar la capacitancia C juntando las placas y adoptando $d = 3\text{cm}$.
- 9) Repetir los pasos de 3 a 6 para $d = 3\text{cm}$.

Ordenamos los valores obtenidos en una tabla

		d=0,06m	d=0,03m
	Q	V	V
Toque 1	Q1	3V	4,5V
Toque 2	Q2	4,5V	9V
Toque 3	Q3	6V	12V

TABLA 5

Análisis de los Resultados

Utilizamos en esta experiencia la fórmula de la capacidad para condensadores de placas paralelas con vacío:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Aún sin observar los valores podemos analizar la ecuación y los datos que nos dan para llegar a una resolución lógica. Sabemos que el área de las placas es un valor constante, al igual que la constante $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{C}^2/\text{Nm}^2$. Nuestra variable será entonces la distancia entre las placas, cuanto mayor sea la distancia entre las placas menor será el valor de capacitancia, efectivamente ambas tablas demuestran este análisis, ya que al juntarlas 3cm la capacitancia se duplica.

Para el capacitor de 6cm tengo incrementos en promedio de 2V para cada aporte de cargas Q6 a la jaula y para el de 3cm esos incrementos casi se duplican siendo en promedio de 4V por cada aporte de cargas Q3.

Se cumple entonces que la capacitancia es inversamente proporcional a la separación entre placas.

Experiencia 3.3 - Capacitor Eléctrico. $Q = f(V)$ con C constante.***Objetivo***

Mantener la capacitancia C constante y observar la influencia de la tensión V en el capacitor sobre los valores de Q .

Procedimiento

- 1) Dejar el condensador conectado a la fuente de alta tensión con la separación $d = 3$ cm entre placas.
- 2) Regular la tensión de la fuente a $V = 400$ V y explorar la carga con el procedimiento descrito en la experiencia anterior.
- 3) Descargar la jaula, duplicar la tensión ($V = 800$ V) y repetir la operación
- 4) Analizar los valores registrados, comparando resultados e informar Q (representado por los valores de V en la doble jaula medidos con el electrómetro) como función de V .

La imagen a continuación muestra la conexión del capacitor y la jaula (*Figura 1*).

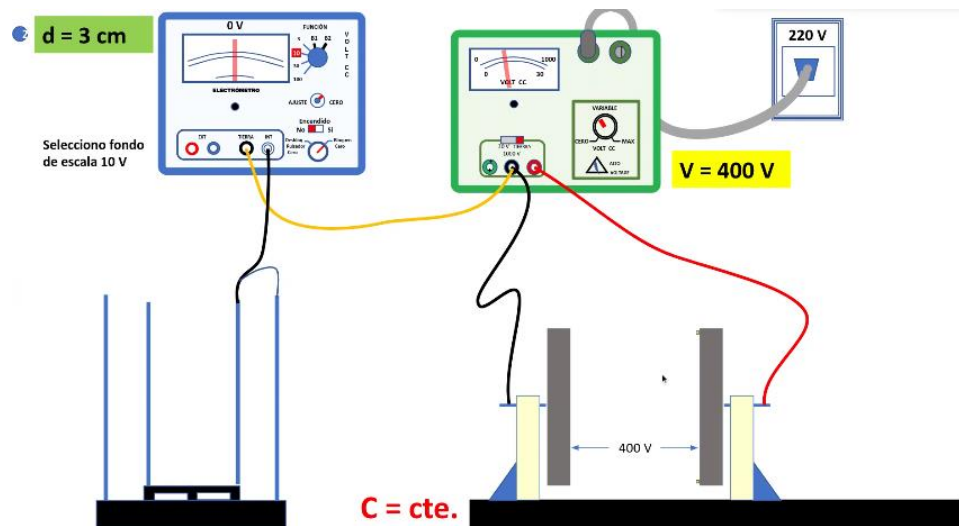


Figura 1

En la TABLA 6 se indican los resultados obtenidos en la experiencia realizada por un grupo de estudiantes.

Distancia entre placas	Tensión de la fuente	Tensión en la jaula
3cm	400V	1V
3cm	800V	1,5V

TABLA 6

Análisis de los Resultados

Podemos considerar que la lectura del electrómetro en voltios es directamente proporcional al valor de la carga en la doble jaula. A su vez podemos considerar que la placa de prueba toma una carga directamente proporcional a la carga total en el capacitor y que se descarga completamente cuando toca la jaula interna. En esta situación podemos decir que la lectura del electrómetro es directamente proporcional a la carga en el capacitor, luego teniendo en cuenta la relación entre la capacidad, la tensión y la carga en el capacitor, es esperable que la lectura del electrómetro aumente en un factor de dos con la duplicación de la tensión entre las placas del capacitor. Si bien se ve un aumento, en el sentido de la proporcionalidad entre

voltaje y carga en la experiencia, se observa que la lectura aumenta en un factor de 1.5.

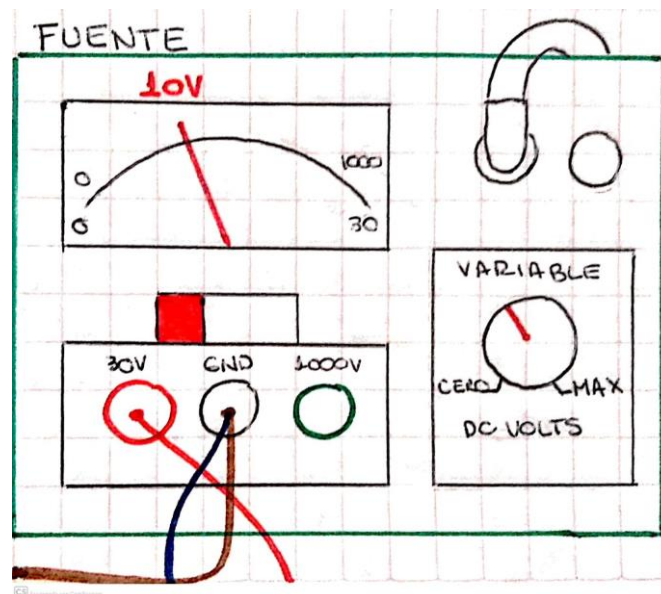
Pueden ser múltiples las causas que expliquen esta diferencia.

Experiencia 3.4 - Capacitor Eléctrico. $V = f(C)$ con Q constante.**Objetivo**

Mantener la carga Q constante y observar la influencia que la capacitancia C tiene sobre la tensión en bornes.

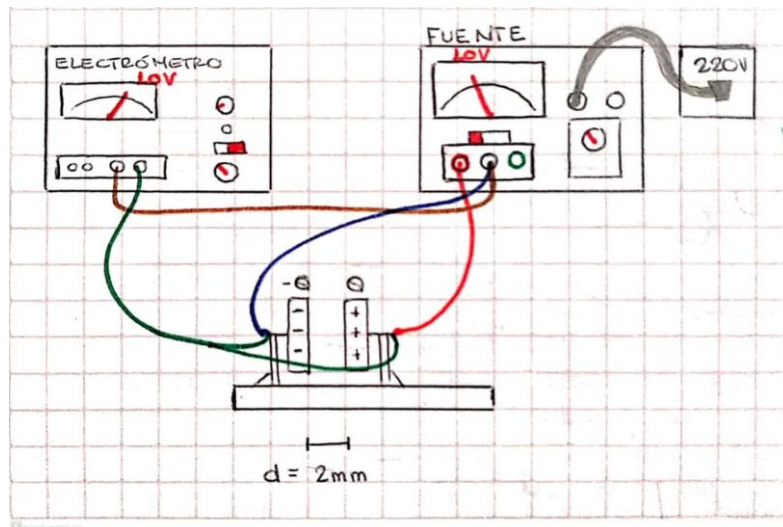
Procedimiento

- 1) Conectar los terminales del capacitor al electrómetro en posición LOCK.
- 2) Selección el valor de C ajustando la separación de las placas a 2 mm.
- 3) Vamos a habilitar la salida a 30V y la regulamos a 10V (*Dibujo 7*).



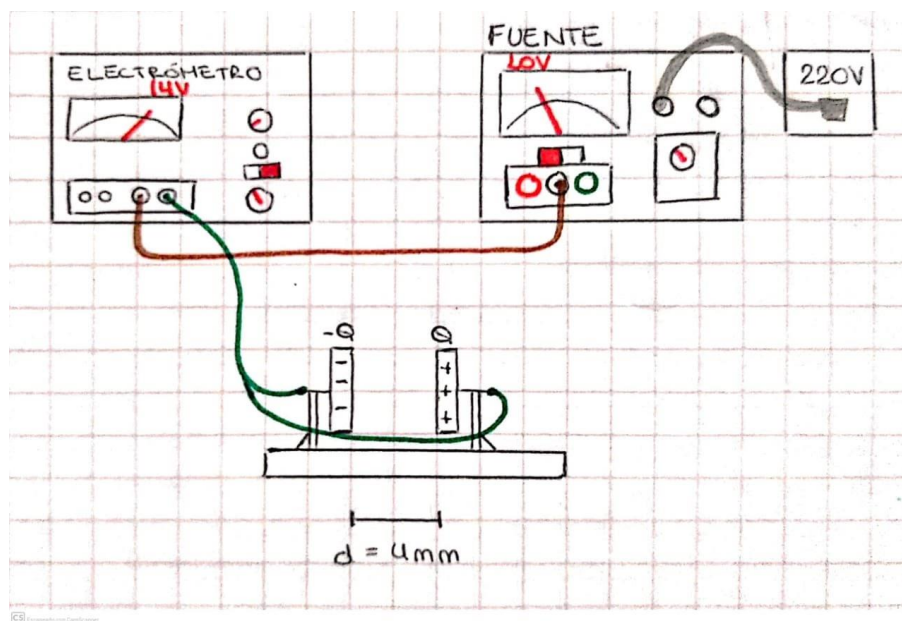
Dibujo 7

- 4) Con conductores conectados a los bornes de la fuente tocar brevemente los bornes del capacitor, que quedará cargado con una carga fija y a una tensión del orden de los 10 V, indicada por el electrómetro (*Dibujo 8*).



Dibujo 8

5) Variando la separación entre las placas puede observar la influencia de la capacidad sobre la tensión en bornes (Dibujo 9).



Dibujo 9

6) Hacer lecturas con $d = 4\text{mm}$ y $d = 6\text{mm}$.

7) Comparar los valores medidos

Separación del capacitor	ddp
2mm	10V
4mm	14V
6mm	18V

TABLA 7

Análisis de los Resultados

Como vimos en la experiencia 3.2 al aumentar la distancia entre las placas disminuye la capacitancia, al disminuir la capacitancia aumenta el diferencial de potencia.

$$V = \frac{Q}{C}$$

Se cumple así que el potencial es inversamente proporcional a la capacitancia.

Estimación de la Capacidad del Electrómetro

La llamaremos C_x . Usar en el cálculo las mediciones de tensión hechas con $d = 2\text{mm}$ y 6mm . Indicar con C la capacidad del condensador cuando d es 2mm y con $C/3$ cuando d es 6mm (la triplicación de la separación de las placas hace caer la capacidad a un tercio del valor original). Si Q es la carga del conjunto condensador y electrómetro que no cambia, e indicamos con V la lectura del electrómetro con 2mm de separación y V' cuando des 6mm , podemos escribir las siguientes relaciones:

$$\begin{cases} C + C_x = \frac{q}{V} \\ \frac{C}{3} + C_x = \frac{q}{V'} \end{cases}$$

$$C_x = C \frac{V - \frac{V'}{3}}{V' - V}$$

La capacidad C se calcula teniendo en cuenta que se trata de un capacitor plano de placas circulares de 20cm de diámetro y una separación de 2mm. Hablamos de una estimación y no propiamente de un cálculo, por cuanto las mediciones están fuertemente afectadas por errores que provienen de inducciones espurias y de la capacidad distribuida de los cables de conexión.

Anotamos los datos que utilizaremos:

$$A = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$d = 0,002 \text{ m}$$

$$V = 10 \text{ V}$$

$$V' = 18 \text{ V}$$

$$C = \epsilon_0 \cdot A / d = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{Nm}^2 \cdot 0,0314 \text{ m}^2 / 0,002 \text{ m} = 1,39 \cdot 10^{-10} \text{ F}$$

$$C_x = 1,39 \cdot 10^{-10} \text{ F} \cdot \left\{ (10 \text{ V} - 18 \text{ V} / 3) / 18 \text{ V} - 10 \text{ V} \right\} = 1,39 \cdot 10^{-10} \text{ F} \cdot 1/2 = 7,0 \cdot 10^{-11} \text{ F} = 70 \text{ pF}$$

Al calcular la capacitancia del electrómetro nos da un valor de 70pF, que difiere del dato brindado en el trabajo, 30pF, esto se debe a que hablamos de una estimación y no un cálculo.

Errores en la separación del capacitor también influyen en esta estimación.

Si calculamos con un error de 2 decimas de mm en el capacitor podría llevar a que la supuesta relación de 3 entre capacitores se reduzca a 2,6 o crezca a 3,4.

El manual de instrucciones del electrómetro nos dice que con los cables la capacitancia total es aproximadamente de 150pF (*Figura 2*).

https://demolab.phys.virginia.edu/demos/documents/Pasco_ES-9054B.pdf

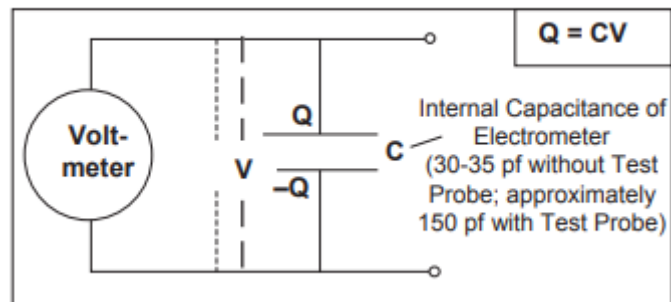


Figura 2

Experiencia 3.5 - Capacitor Eléctrico. $C = f(K)$ ***Objetivo***

Mantener la carga Q constante. Estudiar la influencia del dieléctrico en la capacitancia.

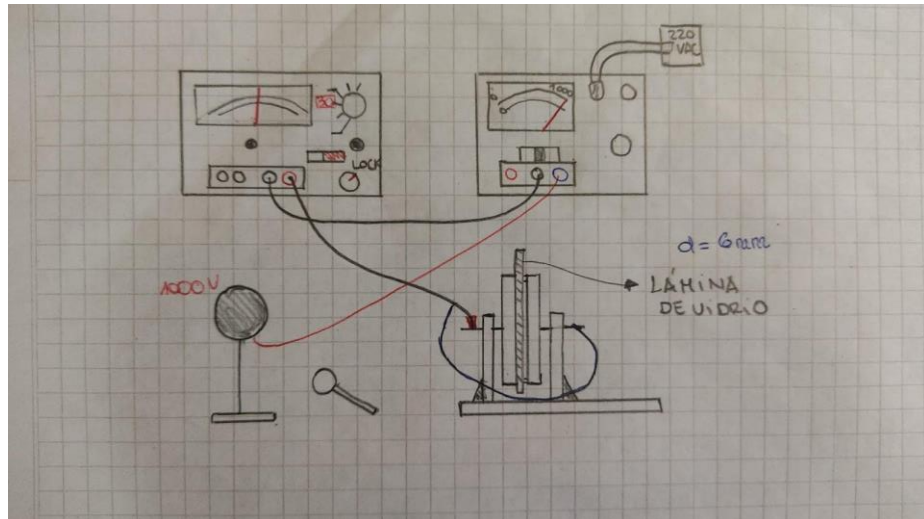
Estimar la constante dieléctrica del vidrio.

Analizar la influencia de incorporar, entre las placas del capacitor, una lámina de vidrio de 5 mm de espesor, al estar el capacitor cargado con la misma carga Q .

Procedimiento

- 1) Conectar el capacitor al electrómetro en posición LOCK y colocar el vidrio entre las placas juntándolas hasta hacer tope. La corredera indicará una separación de 6 mm, pues los separadores plásticos tienen 1 mm de espesor.
- 2) Desbloquear el electrómetro y dar tres golpes de carga con el plano de prueba y la fuente de carga estática, como se describe en la Exp.3.1.
- 4) Tomar lectura de la indicación del electrómetro y registrar V .
- 5) Bloquear el electrómetro, extraer el vidrio separando previamente las placas y luego poniéndolas a 6mm.
- 6) Con el electrómetro en escala de 30 V, desbloquear y repetir los tres golpes iguales de carga. Tomar lectura de la indicación del electrómetro y registrar V_0 .
- 7) Comparar resultados. Estimar el valor de la constante dieléctrica K del vidrio.

La siguiente figura muestra la conexión del capacitor con la placa de vidrio (*Dibujo 10*)



Dibujo 10

La TABLA 8 indica los resultados obtenidos por un grupo de estudiantes que realizaron la experiencia. Las lecturas con el electrómetro fueron tomadas con el factor de escala de 30V.

Distancia entre placas		Voltaje medido		
		1er toque	2do toque	3er toque
6mm	Sin dieléctrico	2,4 V	4,8 V	6,6 V
6mm	Con dieléctrico	1,5 V	3,0 V	4,5 V

TABLA 8

Análisis de los Resultados

Se observa que la tensión en el capacitor cuando hay dieléctrico entre sus placas aumenta con un valor uniforme de 1,5 V con cada toque, mientras que para el caso sin dieléctrico la variación de tensión tiene un valor de 2,4 V para los primeros dos toques y de 2,8 V para el último toque, siendo todavía la variación considerablemente uniforme.

Para toques correspondientes observamos que la tensión entre las placas cuando hay dieléctrico es menor que cuando no hay dieléctrico. Teniendo en cuenta que la separación de

las placas es la misma en uno y otro caso, esto nos da la pauta de que la capacitancia es mayor cuando hay dieléctrico que cuando no hay dieléctrico entre las placas.

Si hacemos las mismas consideraciones que en los experimentos anteriores, podemos aceptar que la carga que hay en el capacitor en cada toque es la misma cuando hay dieléctrico entre las placas que cuando no lo hay.

La constante dieléctrica K de un dieléctrico es según la definición del libro:

$$K = \frac{C}{C_0} \quad (\text{definición de constante dieléctrica})$$

Donde C es la capacitancia del capacitor con dieléctrico y C_0 es la capacitancia del capacitor sin dieléctrico.

Luego, para la misma carga Q en el capacitor tenemos:

$$K = \frac{C}{C_0} = \frac{Q/V}{Q/V_0} = \frac{V_0}{V}$$

Donde V es la tensión en el capacitor cuando hay dieléctrico entre las placas y V_0 es la tensión sin dieléctrico.

Entonces, dado que aceptamos que la carga en el capacitor es la misma en uno y otro caso, podemos obtener la constante dieléctrica del vidrio con la expresión anterior. La *TABLA 9* muestra la razón de las tensiones para cada uno de los toques.

	1er toque	2do toque	3er toque
$K=V_0/V$	1.6	1.6	1.5

TABLA 9

Ahora podemos obtener el promedio de los valores de K obtenidos en la tabla anterior.

Obtenemos: **$K \cong 1.6$**

Ahora buscamos la estimación de K considerando el capacitor C y C_0 en paralelo, con el valor aproximado de 150pF del electrómetro y sus puntas, con la siguiente ecuación:

$$(C_x + C)/(C_x + C_0) = (C_x + k C_0) / (C_x + C_0) \cong (150 + 5 \cdot 45) / (150 + 45) \cong \mathbf{1,69}$$

Observación: En la tabla 24.1 del libro se indica que el valor de K para el vidrio a 20°C está entre 5 y 10. Vemos que el valor de K que obtuvimos en la experiencia es menor al del libro en aproximadamente 4 veces su valor.

Conclusión

Este trabajo nos ha permitido corroborar lo expresado por la ecuación de definición operacional de capacitancia. C es efectivamente directamente proporcional a la carga, e inversamente proporcional al potencial y a la distancia entre placas en un capacitor de placas paralelas en el vacío.