

LEY DE COULUMB - PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO

CONFIGURACIÓN DEL EXPERIMENTO

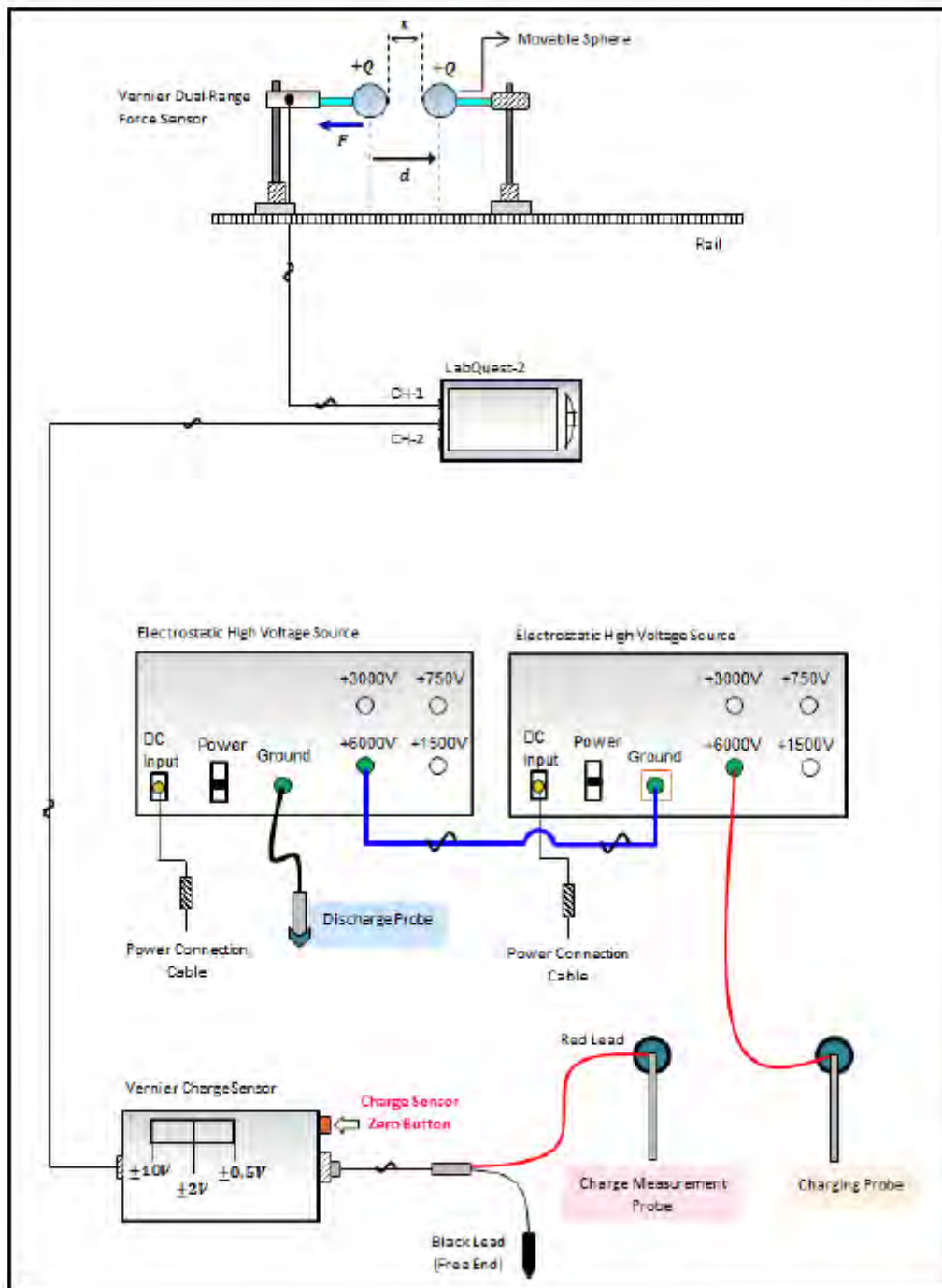


Figura 6: Configuración del experimento. La esfera móvil permite ajustar la distancia entre las esferas

PARTE-1: Medición de la carga total en una esfera conductora cargada

PRECAUCIÓN

Después de cargar la esfera conductora, apague inmediatamente el suministro de Alta Tensión. Mantenga sus manos lo más lejos posible de la esfera mientras la carga. No toque el extremo conductor de la vara de carga.

Asegúrese siempre de que la fuente de alto voltaje esté apagada antes hacer conexiones de cables en el montaje del experimento.

1. Esta medida se realizará cargando solo una esfera, aislada eléctricamente de su entorno. La “Sonda de carga” conectada al terminal de voltaje de la fuente electrostática de voltaje, se utiliza para cargar una sola esfera conductora.
 - a. Construya la configuración experimental como se muestra en [Figura \(6\)](#). Después de confirmar que las dos fuentes de voltaje están apagadas, conecte una “sonda de carga” al terminal de +6000V de la fuente de alto voltaje.
 - b. Conecte una “Sonda de Descarga” al terminal de TIERRA de la fuente de voltaje. Esta terminal con un potencial de tierra.
 - c. El sensor de fuerza de Vernier se conecta al CH1 del LabQuest.
 - d. El sensor de carga Vernier se conecta al CH2 del dispositivo LabQuest. Se utiliza para medir la magnitud de la carga sobre la esfera; las unidades mostradas en el LabQuest son nano-Coulombs (nC). El sensor de carga tiene tres ajustes, controlados por un interruptor en la caja:

Rangos:

- $\pm 0,5V (\pm 5nC)$
- $\pm 2V (\pm 20nC)$
- $\pm 10V (\pm 100nC)$

Seleccione el rango de $\pm 10V$ en el sensor de carga.

Rango del sensor de carga: $\pm 10V (\pm 100nC)$

2. Inicie la aplicación LabQuest. La pantalla del medidor mostrará una lectura digital para cada sensor conectado, el modo actual y los parámetros de recopilación de datos.



3. En esta parte del experimento, sólo una esfera conductora (la esfera móvil) será utilizada. La esfera conductora debe estar completamente descargada antes de comenzar el experimento.
 - a. Encienda dos fuentes de voltaje electrostático para establecer una salida de voltaje a 12 kV.
V(V): 12KV (Aplicado)
 - b. Primero, toca la superficie de la esfera móvil con la “Sonda de Descarga” (sonda conectada a tierra) para descargar la esfera completamente, como se indica en la [Figura \(7a\)](#).

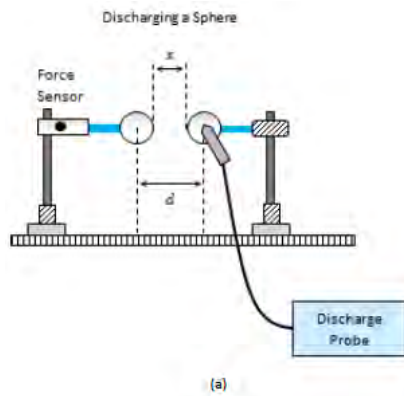


Figura 7a – Descargando la esfera

- c. Luego, toque con la “Sonda de carga” a la esfera conductora móvil durante varios segundos (ver Figura 7b). Asegúrese de no tocar la esfera cargada con la mano o los dedos. Siempre debe sostener la “Sonda de Carga” por su mango aislante teniendo cuidado de no tocar el extremo conductor de la sonda.

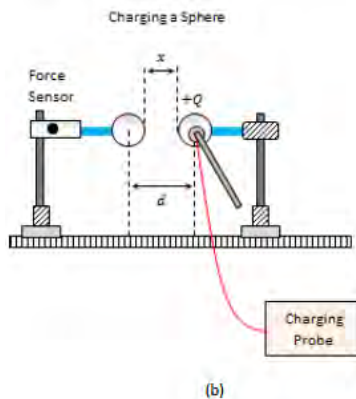


Figura 7b – cargando la esfera

Figura 7: Primero descargando (a) y luego cargando (b) de una sola esfera mediante el uso de sondas. Para cargar una esfera, primero conecte a tierra la esfera. Para poner a tierra cualquiera de las esferas, conecte la sonda de descarga al terminal de tierra del suministro de voltaje y toque la esfera con el otro extremo.

NOTA:

Cuando la "sonda de carga" toca una sola esfera, la carga eléctrica fluye desde la sonda, que se encuentra con el mismo potencial eléctrico que el terminal de la fuente de voltaje, hacia la esfera que está al potencial de tierra. El flujo de carga se detiene cuando la esfera alcanza el mismo potencial eléctrico que la fuente de voltaje. Así, la esfera queda con una carga neta Q y se dice que está “cargada”.

- d. Al contactar brevemente la “Sonda de Carga” con la esfera móvil, la esfera tendrá una carga neta total de $+Q$. La carga colocada sobre el conductor esférico se distribuye uniformemente sobre la superficie del conductor. No habrá carga dentro de la esfera. Recuerde que la cantidad de cargas colocadas sobre la esfera es independientemente del tiempo de contacto con la sonda de carga.
- e. Después de cargar la esfera, retire inmediatamente la “Sonda de carga” y colóquela lejos de la esfera. Apague el suministro de alto voltaje para evitar efectos de fuga de alto voltaje.

4. Ahora, está listo para medir la carga en la esfera con una "Sonda de medición de carga" cuando la esfera está cargada a un potencial de 12 kV.
 - a. Con los cables rojo y negro en cortocircuito, ponga a cero el sensor de carga presionando el botón "CERO" en el lado derecho y manteniéndolo presionado durante varios segundos.
 - Tenga en cuenta que siempre debe presionar el botón CERO en el sensor de carga antes de realizar una medición de carga confiable. Una vez que el sensor esté correctamente puesto a cero, leerá cerca de $\pm 0.10\text{nC}$ de carga antes de que comience el muestreo.
 - Siempre que el sensor de carga NO esté en uso, conecte a tierra los cables rojo y negro conectándolos entre sí.
 - b. Mueva la "Sonda de carga" de la esfera e inmediatamente mida la carga Q en la esfera móvil con la "Sonda de medición de carga" que está conectada al sensor de carga (Figura 8).

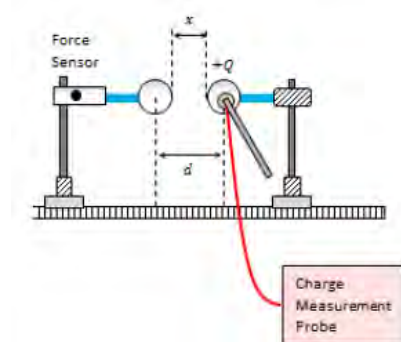


Figura-8: Medición de la carga $+Q$ en un conductor esférico que lleva una carga neta Q distribuida uniformemente sobre él. El signo de la carga Q depende del terminal de suministro de voltaje que se pone en contacto con la esfera mediante el uso de una sonda de carga.

- c. La lectura en pantalla de la carga $+Q$ medida con la sonda de medición de carga, será similar a la que se muestra a continuación (en un valor entre 45 nC y 50 nC).



- d. Registre sus datos:
 $Q(\text{C}):$ (Valor medido)
5. Estime la capacitancia C de la esfera conductora usando la ecuación $C(F) = 4\pi\epsilon_0 r_0$ donde r_0 es el radio de la esfera.

$r_0(\text{m}): 0.0375 (=37.5\text{mm})$ (radio de la esfera)
 $C(\text{F}): \dots\dots\dots$ (Valor estimado)

6. Dado que la capacitancia de una sola esfera conductora es $C(\text{F}) = 4\pi\epsilon_0 r_0$ y el voltaje V que carga la esfera es conocido (12 kV), se puede calcular la carga total Q colocada sobre la esfera. Calcule la carga total en la superficie de la esfera y regístrela como Q' .
 $Q'(\text{nC} = \text{CV})$
 $Q'(\text{C}): \dots\dots\dots$ (Esperado)
7. Compare el valor medido de la carga con el valor esperado para determinar el porcentaje de diferencia.
8. Demuestre que la capacitancia de una esfera conductora con un radio r_0 es $C(\text{F}) = 4\pi\epsilon_0 r_0$. Muestre claramente sus cálculos e incluya unidades en su respuesta.
9. Usted sabe que la capacitancia de una sola esfera conductora es $C(\text{F}) = 4\pi\epsilon_0 r_0$. Si se aplicara un voltaje de +6 kV a la esfera, ¿cuál sería la magnitud de la carga Q en esa esfera?
10. Una capa esférica cargada tiene radio R y carga total Q distribuida uniformemente sobre su superficie. Deduzca una expresión para el potencial V debido a la superficie esférica cargada en un punto (i) fuera de ella y en un punto (ii) dentro de ella.

PARTE-2: Verificación de la Ley de Coulomb

PRECAUCIÓN

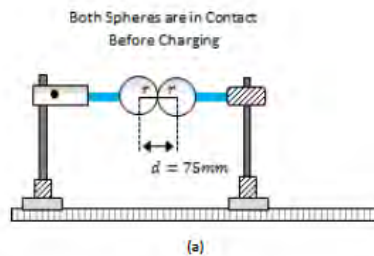
Antes de comenzar el experimento asegúrese de que ambas esferas estén completamente descargadas. Para ello, tóquelas con una sonda conectada a tierra (Sonda de Descarga) durante varios segundos. Al cargar las esferas, primero encienda la fuente de alimentación, cargue las esferas al valor potencial deseado y luego apague inmediatamente la fuente de voltaje. Sostenga la sonda de carga cerca del extremo del mango aislante, de modo que su mano esté lo más lejos posible de las esferas.

1. Esta parte del experimento consiste en cargar dos esferas aisladas eléctricamente entre sí y de su entorno. Una de las dos esferas está unida al extremo de una varilla aislante. Esta es la esfera móvil que permite ajustar la distancia d entre las dos esferas. La otra esfera está unida a un sensor de fuerza.
 - a. En la Figura (6), se ilustra la configuración para cargar las esferas y medir la fuerza. Antes de comenzar el experimento, ambas esferas deben estar completamente descargadas.
 - b. Usted mantendrá constante la carga en dos esferas ($Q_1 = Q_2$ siempre) y medirá la fuerza entre las dos cargas iguales variando la distancia de las esferas cargadas. Para investigar la dependencia de la fuerza de Coulomb con la distancia, ambas esferas se cargarán con 12 kV y el mismo signo.

2. Alinee las dos esferas a la misma altura y ajuste la posición de la **esfera móvil** a lo largo del riel para que la distancia d entre los CENTROS de las dos esferas sea de **80 mm**. Registre el valor de la distancia de centro a centro de las esferas como d :

$d(m)$: 0.08m (0 80mm)

- a. Tenga en cuenta que en este experimento el radio de una sola esfera es de 37,5 mm. Cuando las esferas están justo en contacto entre sí, la distancia (d) entre sus centros es igual a 75 mm, igual al diámetro de la esfera (Figura 9a).



- b. Ajuste la distancia entre los centros de las dos esferas para que tenga una longitud de 80 mm. Esto significa que la distancia de separación (x) entre los bordes de dos esferas será de 5 mm (Figura 9b).

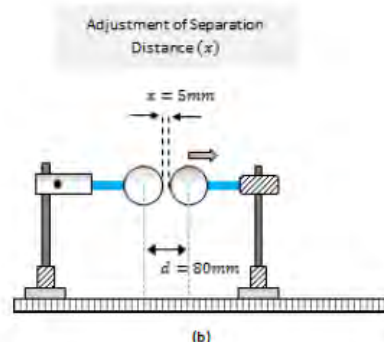


Figura-9: Configuración inicial de las dos esferas idénticas (a) y distancia de separación entre ellas (b). Es importante tomar la distancia en la ley de Coulomb como la distancia entre los centros de las esferas (no la distancia de separación).

3. Encienda la fuente electrostática de alto voltaje para configurar la tensión de salida a 12kV.

$V(V)$: 12KV

(Aplicado)

4. Asegúrese de que las esferas estén completamente descargadas antes de cargarlas. Para ello tóquelos con una Sonda de Descarga durante varios segundos.
5. Ahora, necesita poner a cero la lectura del sensor de fuerza cuando no se aplica fuerza.
 - a. Ponga a cero el SENSOR DE FUERZA haciendo clic en la sección "CH1: Fuerza" en la pantalla del medidor LabQuest y luego seleccionando la opción "Cero" cuando aparezca el cuadro de opción.



- b. Cuando la lectura regresa a la pantalla del medidor, las lecturas de fuerza en el LabQuest deben ser cero (o muy cercanas a cero). Durante esta práctica de laboratorio, deberá realizar esta calibración a cero antes de cada recopilación de datos.
6. Una vez completada la calibración a cero, cargue ambas esferas por separado a un potencial de 12 kV, tocándolas una por una con la **sonda de carga**. Inmediatamente después de cargar ambas esferas, apague la fuente de alimentación para evitar efectos de fuga de alto voltaje.
7. Mida la carga eléctrica Q en las dos esferas con la **sonda de medición de carga**. Tenga en cuenta que ambas esferas adquieren la misma carga, $Q(nC) = Q_1 = Q_2$.
 - a. Recuerde que siempre debe presionar el botón “CERO” en el sensor de carga antes de realizar una medición de carga.

- b. Registre sus datos:

$Q(C)$: (Valor medido)

8. La fuerza electrostática (fuerza de Coulomb) entre dos esferas cargadas se mostrará en la pantalla del LabQuest. Registre sus datos como $F(N)$:

Distancia de separación	Distancia entre los centros de las esferas	LabQuest
x(m)	d(m)	F(N)
0.005m (5mm)	0.08m (80mm)	.....

- ¿La fuerza electrostática (fuerza de Coulomb) entre dos conductores esféricos cargados es atractiva o repulsiva? ¿El signo de las cargas en las dos esferas influye en la magnitud de la fuerza?
9. Repita el experimento para diferentes distancias. Descargue las esferas por completo y recárguelas con 12 kV antes de cada medición de fuerza.

Distancia de separación	Distancia entre los centros de las esferas	LabQuest
x(m)	d(m)	F(N)
0.010m (10mm)	0.085m (85mm)	.....
0.015m (15mm)	0.090m (90mm)	.....
0.020m (20mm)	0.095m (95mm)	.....
0.025m (25mm)	0.100m (100mm)	.....

10. Grafique la **fuerza electrostática** F ejercida por dos esferas conductoras cargadas en función de la inversa del cuadrado de la distancia $1/d^2$ entre los CENTROS de las dos esferas (gráfica de F versus $1/d^2$).
 - a. 3. Dibuja una línea recta que “mejor se ajuste”. Verifica que tengas una gráfica de línea recta y asegúrate de que la línea pase por el origen.

- b. Encuentre la PENDIENTE (m) de la línea de ajuste lineal.
Pendiente, $m(\text{N.m}^2)$:
11. La permitividad del espacio libre ϵ_0 ahora se puede determinar a partir de la PENDIENTE de la gráfica de F versus $1/d^2$, siempre que usted sepa cuánta carga Q hay en las esferas. Dado que cada una de las esferas están cargadas con un potencial eléctrico de 12 kV, tienen la misma carga eléctrica Q .
- a. A partir de la PENDIENTE (m) de su gráfica y el valor medido de la carga Q , estime la permitividad del espacio libre:

$$\epsilon_0 = 1/m (Q^2/4\pi)$$

ϵ_0 ($\text{C}^2/\text{N.m}^2$): (Experimental)

- b. Compare el valor experimental de ϵ_0 con el valor aceptado.
¡Cuidado con las unidades!
- c. La ley de Coulomb establece que la fuerza entre dos cargas varía con la inversa del cuadrado de la distancia entre ellas. Según la ley de Coulomb, ¿qué le sucede a la fuerza eléctrica cuando aumenta la distancia? ¿La fuerza es proporcional a la inversa del cuadrado de la distancia?
12. Enumere y explique con sus propias palabras la ley de Coulomb en electrostática.
¿Es siempre válido? Dé un ejemplo de cuándo es válido. Si no es así, dé también un ejemplo de cuándo no es válido. ¿Cuáles son las limitaciones de la ley de Coulomb?

13. REPORTE DEL LABORATORIO

PORTE 1: MEDIDA DE LA CARGA TOTAL Q EN UNA ESFERA CONDUCTIVA CARGADA

Tabla-1: Medición de la carga total Q en una sola esfera cargada de radio r_0 y comparación del valor medido con el valor esperado.

CONSTANT	ESTIMATED	EXPERIMENTAL	EXPERIMENTAL	EXPECTED	PERCENT DIFFERENCE
Conducting Sphere	Conducting Sphere	Voltage Supply	Charge Sensor	Conducting Sphere	
Radius	Capacitance of a Single Conducting Sphere	Applied Voltage	Amount of Charge on the Sphere	Charge on the Sphere	
$r_0(m)$	$C(F) = 4\pi\epsilon_0 r_0$	$V(kV)$	$Q(nC)$	$Q'(nC) = CV$	$\Delta Q(\%)$
0.0375 (37.5mm)	.....	12	.....	.....	.....

PARTE 2: VERIFICACIÓN DE LA LEY DE COULOMB

Tabla-2: Variación de la fuerza electrostática (F) entre dos esferas cargadas con la distancia (d) entre las cargas.

EXPERIMENTAL	EXPERIMENTAL	MEASURED	MEASURED	CALCULATED
Voltage Supply	Charge Sensor	Distance	LabQuest-2	Average
Applied Voltage	Charge on each Sphere (CONSTANT)	Distance between the <u>CENTERS</u> of Spheres	Electric Force	Electric Force
$V_0(kV)$	$Q_1 = Q_2 = Q(nC)$	$d(m)$	$F(N)$	$F_{av}(N)$
12		0.080 (80mm)		
				
				
		0.085 (85mm)		
				
				
		0.090 (90mm)		
				
				
		0.095 (95mm)		
				
				
		0.100 (100mm)		
				
				

Tabla-3: Variación de la fuerza (F) entre dos cargas con la inversa del cuadrado de la distancia ($1/d^2$) entre ellas.

EXPERIMENTAL	CALCULATED	MEASURED	CALCULATED	CALCULATED
Charge on each Sphere	Product of the Charges	Distance between the <u>CENTERS</u> of Spheres	Inverse of the Square of the Distance	Electric Force
$Q(C)$	$Q^2(C^2)$	$d(m)$	$\frac{1}{d^2} (m^{-2})$	$F(N)$
.....	.....	0.080	.....	.....
		0.085	.....	.....
		0.090	.....	.....
		0.095	.....	.....
		0.100	.....	.....

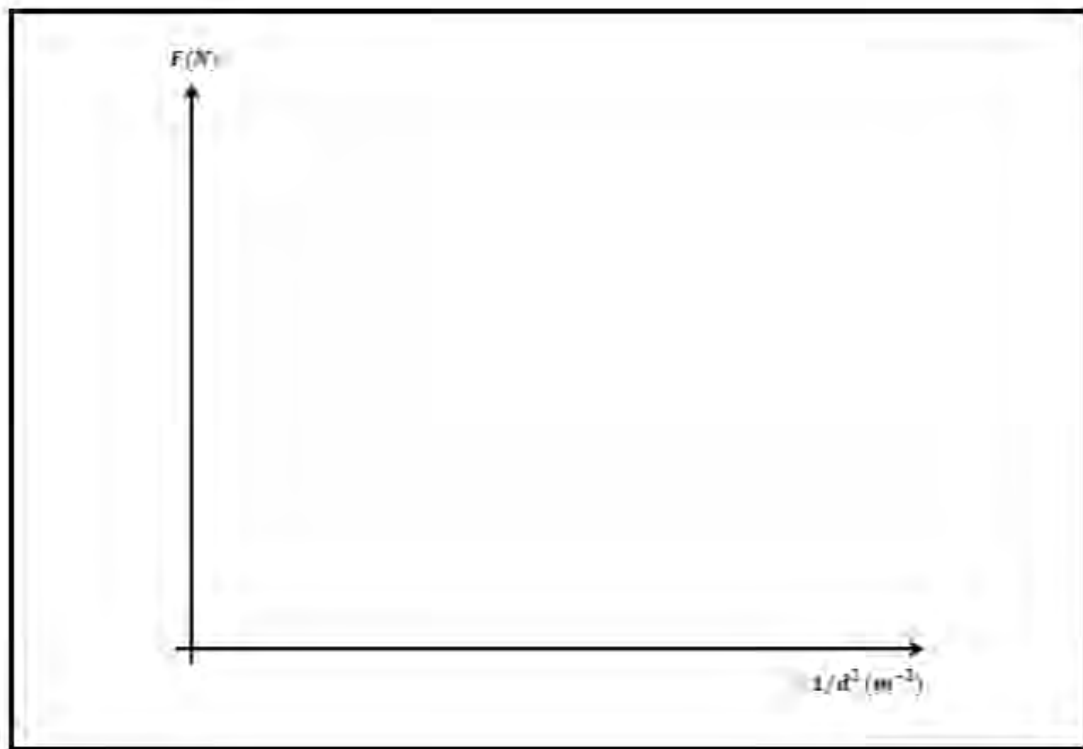


Gráfico-1: Gráfico de la fuerza electrostática (F) ejercida por dos esferas conductoras cargadas idénticas en función de la inversa del cuadrado de la distancia $1/d^2$ entre ellos.

CALCULATED	GRAPH	EXPERIMENTAL	EXPECTED	PERCENT DIFFERENCE
Product of the Charges	SLOPE	Permittivity of Free Space	Permittivity of Free Space	
$Q^2(C^2)$	$m(N.m^2)$ $m = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0}$	$\epsilon_0(C^2/N.m^2)$ $\epsilon_0 = \frac{1}{m} \left(\frac{Q^2}{4\pi} \right)$	$\epsilon_0(C^2/N.m^2)$	$\Delta\epsilon_0(\%)$
-----	-----	-----	-----	-----

Tabla-4: Determinación de la permitividad del espacio libre (ϵ_0) y comparación del valor experimental con el valor esperado.