

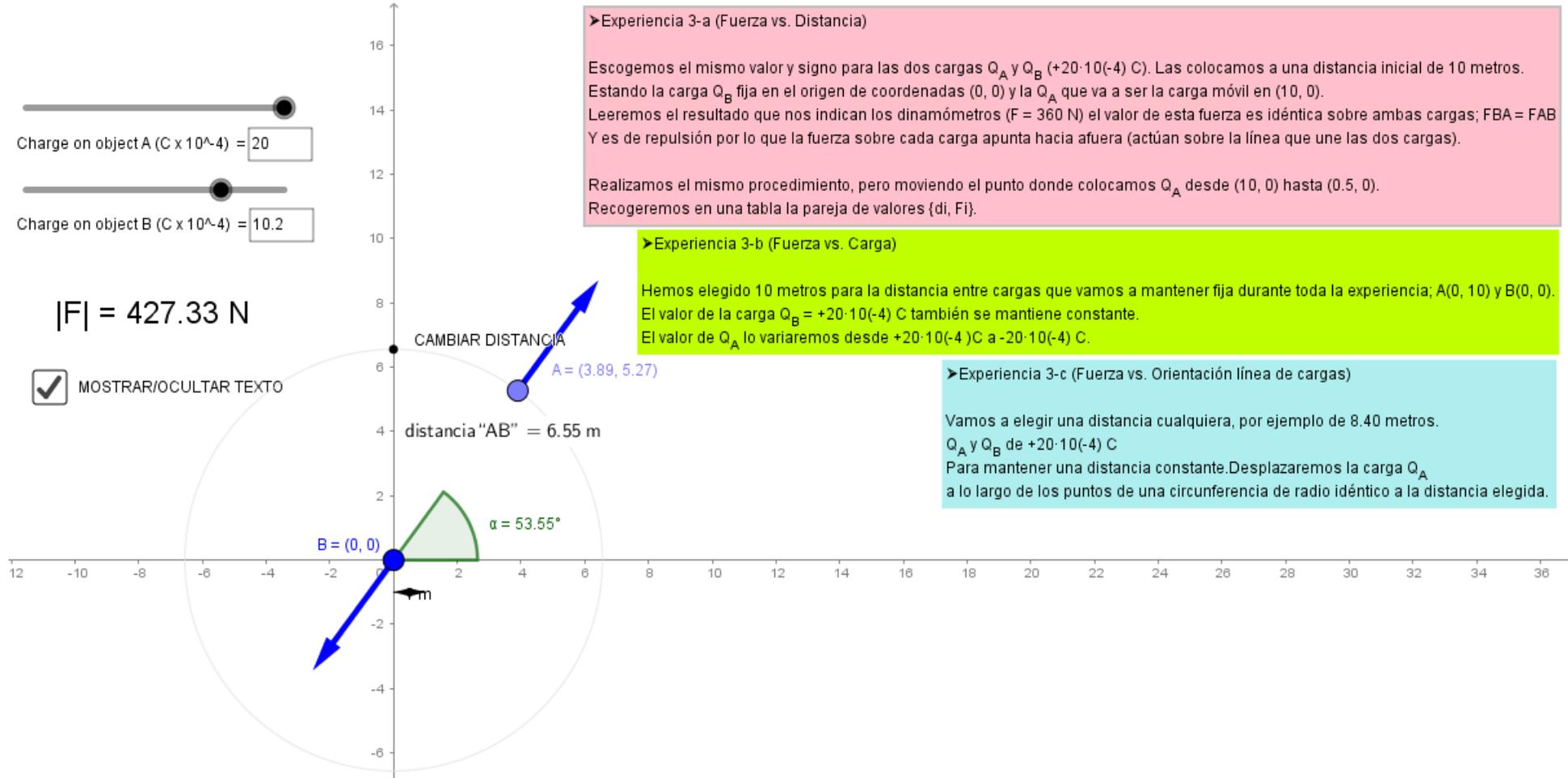
COULOMB EN UN LABORATORIO VIRTUAL/IDEAL

Charge on object A ($C \times 10^{-4}$) =

Charge on object B ($C \times 10^{-4}$) =

$|F| = 427.33 \text{ N}$

MOSTRAR/OCULTAR TEXTO



►Experiencia 3-a (Fuerza vs. Distancia)

Escogemos el mismo valor y signo para las dos cargas Q_A y Q_B ($+20 \cdot 10^{-4} \text{ C}$). Las colocamos a una distancia inicial de 10 metros. Estando la carga Q_B fija en el origen de coordenadas (0, 0) y la Q_A que va a ser la carga móvil en (10, 0). Leeremos el resultado que nos indican los dinamómetros ($F = 360 \text{ N}$) el valor de esta fuerza es idéntica sobre ambas cargas; $F_B = F_A$ Y es de repulsión por lo que la fuerza sobre cada carga apunta hacia afuera (actúan sobre la línea que une las dos cargas).

Realizamos el mismo procedimiento, pero moviendo el punto donde colocamos Q_A desde (10, 0) hasta (0.5, 0). Recogeremos en una tabla la pareja de valores $\{d_i, F_i\}$.

►Experiencia 3-b (Fuerza vs. Carga)

Hemos elegido 10 metros para la distancia entre cargas que vamos a mantener fija durante toda la experiencia; A(0, 10) y B(0, 0). El valor de la carga $Q_B = +20 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ también se mantiene constante. El valor de Q_A lo variaremos desde $+20 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ a $-20 \cdot 10^{-4} \text{ C}$.

►Experiencia 3-c (Fuerza vs. Orientación línea de cargas)

Vamos a elegir una distancia cualquiera, por ejemplo de 8.40 metros. Q_A y Q_B de $+20 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ Para mantener una distancia constante. Desplazaremos la carga Q_A a lo largo de los puntos de una circunferencia de radio idéntico a la distancia elegida.

Como ya hemos dicho el planteamiento que vamos a seguir es trabajar en la medida de lo posible como si la ley física fuera desconocida y realizar una comparación entre nuestros resultados y la ley ya establecida.

Un ejemplo radical sería intentar deducir la ley de Coulomb como si nunca hubiera sido enunciada. Se podría decir que se parte de conocimiento nulo y que trabajamos con datos en crudo (valores de las cargas implicadas en culombios, un dinamómetro y un sistema de fijación de las cargas en cualquier punto del espacio). En el entorno GeoGebra todas estas premisas son muy sencillas de conseguir, mientras que si nuestra experiencia la desarrollásemos en un laboratorio físico real creo que debería tener una sofisticación difícil de alcanzar en un entorno docente al uso.

El problema se reduce a medir en un dinamómetro la fuerza que aparece sobre dos partículas cargadas y fijas en el espacio. Para ello se realizarán una serie de experiencias con el fin de intentar deducir la ley física que gobierna el fenómeno.

Este ejercicio, por supuesto, necesita de datos numéricos experimentales (medidas) pero solo para predecir a partir de ellos comportamientos (ecuaciones). Dichos comportamientos los deduciremos observando simplemente la representación gráfica de dichos datos experimentales. En este ejemplo ideal no vamos a necesitar llegar a conclusiones numéricas. Nuestra intención es tan solo determinar la ecuación (ley Física) que gobierna el fenómeno observado al colocar dos partículas cargadas eléctricamente una frente a otra:

1º) Se plantearán una serie de hipótesis simplificadoras que sirven para delimitar las variables que entran en juego en el problema:

- ✓ Se coloca una partícula en el origen de coordenadas elegido como referencia y se mantiene fija en esa posición.
- ✓ La otra partícula se va colocando en distintas posiciones sobre el eje OX y se mantiene fija en cada posición.
- ✓ Se variará la posición de la partícula móvil a lo largo de una trayectoria circular con centro en la partícula fija.
- ✓ Se pueden usar cargas con distinto valor y signo.

2º) Se describen los dispositivos de medida que usaremos y las magnitudes que vamos a determinar:

- ✓ Medidor de fuerza (dinamómetro) con una sensibilidad de 0.1 N. Estos dispositivos aparte de ser sensibles a la fuerza, impiden que las partículas comiencen a moverse. Se usa un dinamómetro para cada partícula.
- ✓ Instrumento de medida que determina la distancia entre las posiciones de las dos partículas con sensibilidad de 1 mm.
- ✓ La carga de las partículas viene determinada con un error absoluto de 0.1 μC .
- ✓ La medida de ángulos se ha realizado con un transportador con sensibilidad de 1°.

3º) Se describen las distintas experiencias que se pueden llevar a cabo:

- a) ¿Qué se observa si mantenemos fijas los valores de las cargas durante toda la experiencia y variamos la distancia entre ellas?
- b) ¿Y si fijamos la separación entre cargas y variamos el valor de una de las cargas manteniendo el signo? ¿Qué ocurre si los signos de las cargas son iguales? ¿Y si son distintos?
- c) ¿Qué sucede si mantenemos la separación entre cargas, pero desplazamos la Q_A alrededor de la posición de Q_B siguiendo una circunferencia?

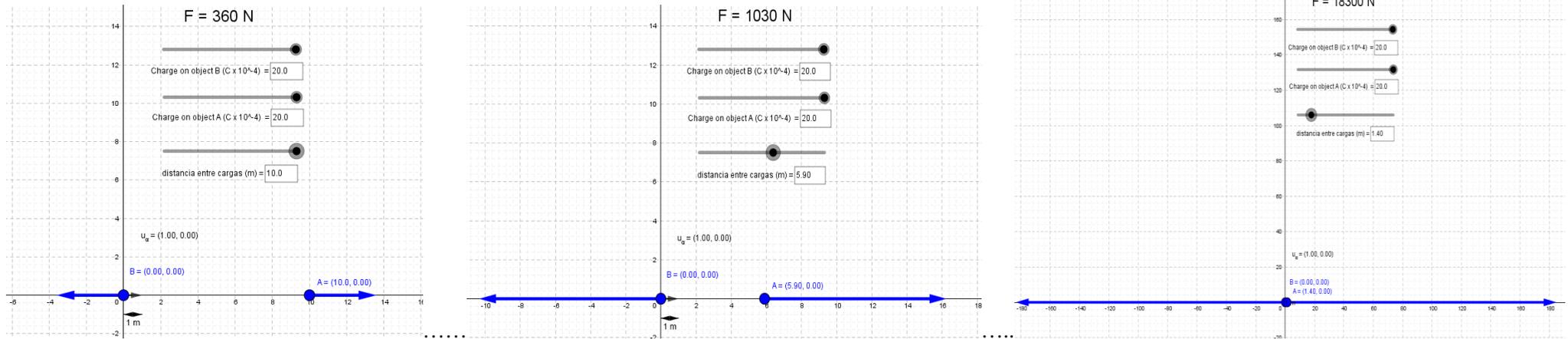
Realizaremos las experiencias planteadas en el apartado 3 y extraeremos algunas conclusiones fenomenológicas. Lo que quiere decir que no vamos a extraer ningún resultado numérico como solución de los problemas planteados. Nos bastará analizar el comportamiento de las representaciones gráficas de cada fenómeno.

➤ **Experiencia 3-a** (*Fuerza vs. Distancia*)

Escogemos el mismo valor y signo para las dos cargas Q_A y Q_B ($+20 \cdot 10^{-4} \text{ C}$). Las colocamos a una distancia inicial de 10 metros. Estando la carga Q_B fija en el origen de coordenadas (0, 0) y la Q_A que va a ser la carga móvil en (10, 0). Leeremos el resultado que nos indican los dinamómetros ($F = 360 \text{ N}$) el valor de esta fuerza es idéntica sobre ambas cargas; $F_{BA} = F_{AB}$ y es de atracción por lo que la fuerza sobre cada carga apunta hacia la otra (actúan sobre la línea que une las dos cargas).

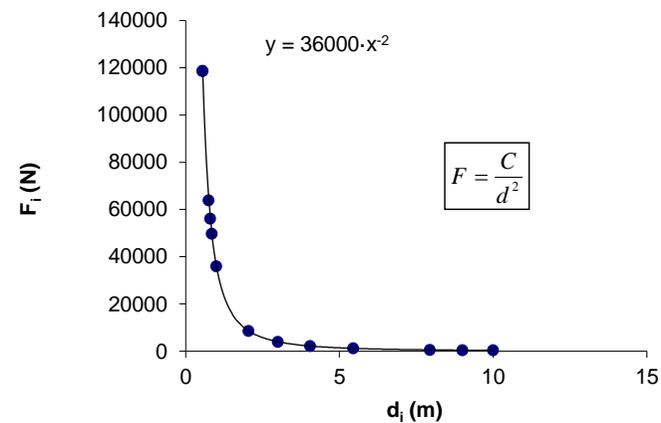
Realizamos el mismo procedimiento, pero moviendo el punto donde colocamos Q_A desde (10, 0) hasta (0.5, 0). Como nos movemos sobre el eje OX es muy fácil determinar la distancia "d" en este caso, que coincide con el valor de la abscisa del punto A en cada posición. Recogeremos en una tabla la pareja de valores $\{d_i, F_i\}$.

Veamos un resumen de los resultados obtenidos:



La tabla resumida con los resultados para trece situaciones de medida y la representación gráfica de 'F' versus 'd':

situación	distancia	Fuerza
i	d_i (m)	F_i (N)
1	10,000	360,0
2	9,000	444,4
3	7,950	569,6
4	5,450	1212,0
5	4,051	2193,7
6	3,001	3997,3
7	2,051	8558,0
8	1,001	35928,1
9	0,851	49709,9
10	0,801	56109,6
11	0,751	63829,6
12	0,551	118576,5

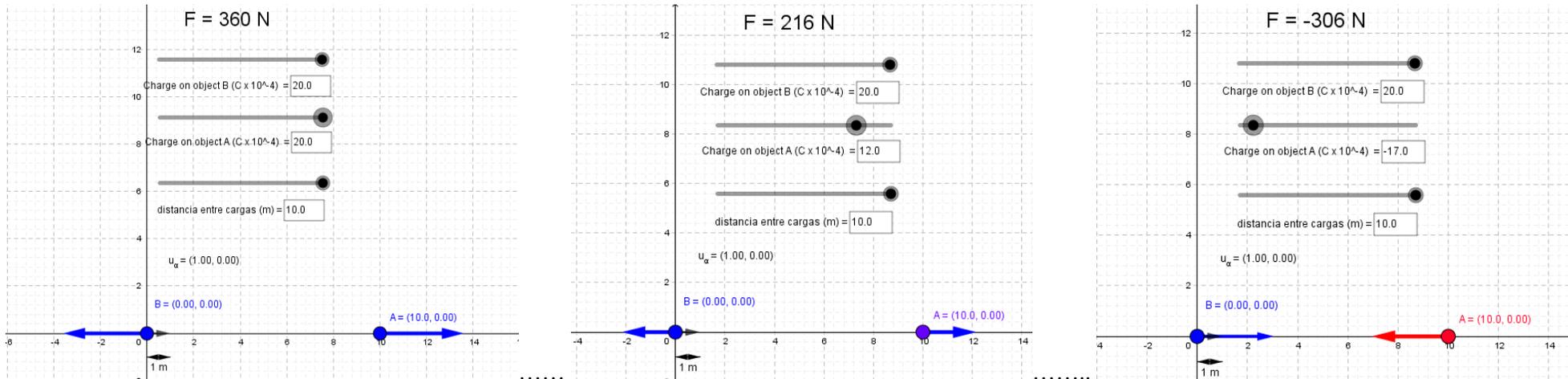


Por lo que podemos deducir que **la Fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia**.

➤ **Experiencia 3-b (Fuerza vs. Carga)**

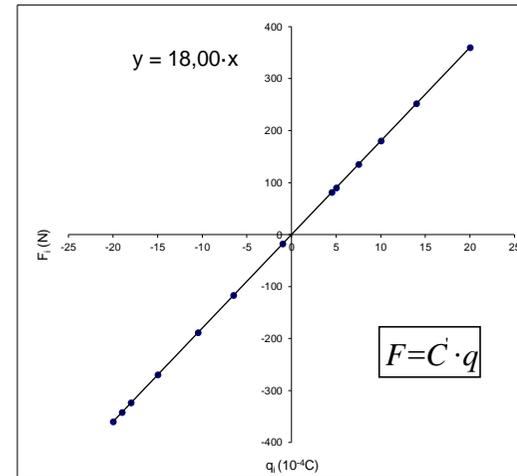
Hemos elegido 10 metros para la distancia entre cargas que vamos a mantener fija durante toda la experiencia; A(0, 10) y B(0, 0).
El valor de la carga $Q_B = +20 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ también se mantiene constante, mientras que el valor de Q_A lo variaremos desde $+20 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ a $-20 \cdot 10^{-4} \text{ C}$.

Veamos un resumen de los resultados obtenidos:



La tabla resumida con los resultados para trece situaciones de medida y la representación gráfica de 'F' versus 'q':

situación	carga Q_A	Fuerza
i	$q_i (10^{-4} \text{ C})$	$F_i (N)$
1	20,00	360,0
2	14,00	252,0
3	10,00	180,0
4	7,50	135,0
5	5,00	90,0
6	4,50	81,0
7	-1,00	-18,0
8	-6,50	-117,0
9	-10,50	-189,0
10	-15,00	-270,0
11	-18,00	-324,0
12	-19,00	-342,0
13	-20,00	-360,0

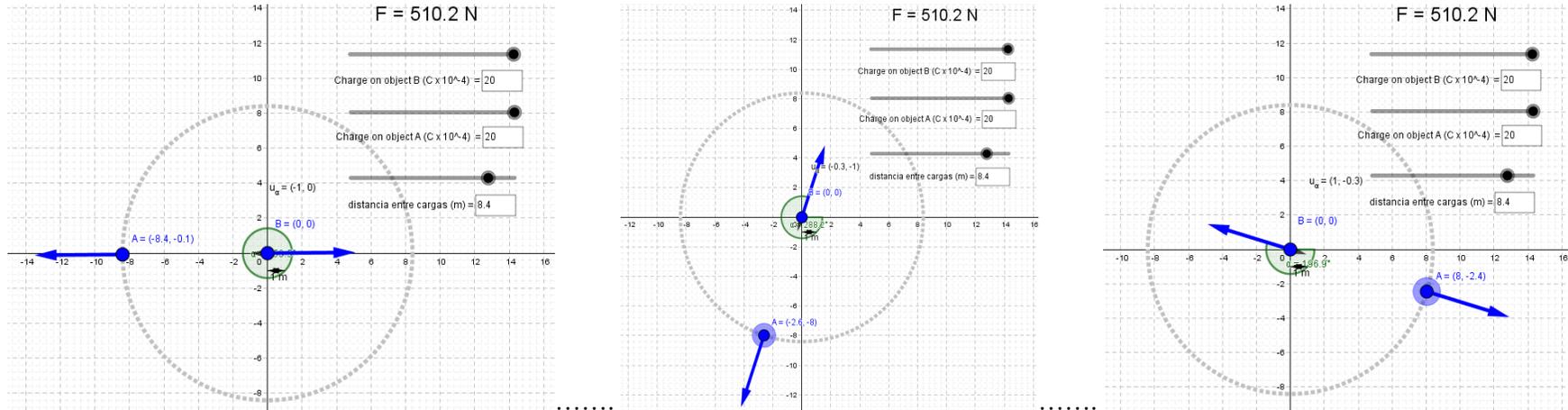


Por lo que podemos deducir que **la Fuerza varía linealmente con el valor de la carga**, lo que implica además que la fuerza cambia de signo con el signo relativo entre cargas (cargas de igual signo fuerza positiva que equivale a repulsión, y distinto signo fuerza negativa que equivale a atracción)

➤ **Experiencia 3-c** (*Fuerza vs. Orientación línea de cargas*)

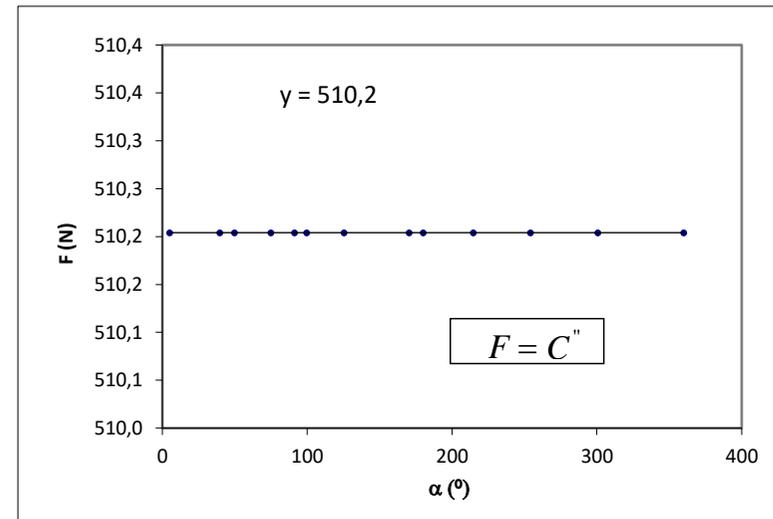
Vamos a elegir una distancia cualquiera, por ejemplo de 8.40 metros y registraremos el valor de la fuerza a la que están sometidas las cargas Q_A y Q_B de $+20 \cdot 10^{-4}$ C al ir desplazando la carga Q_A a lo largo de los puntos de una circunferencia de radio idéntico a la distancia elegida.

Veamos un resumen de los resultados obtenidos:



La tabla resumida con los resultados para trece situaciones de medida y la representación gráfica de 'F' versus ' α ':

situación	ángulo con OX	Fuerza
i	α_i (°)	F_i (N)
1	5	510.2
2	40	510.2
3	50	510.2
4	75	510.2
5	91	510.2
6	100	510.2
7	125	510.2
8	170	510.2
9	180	510.2
10	215	510.2
11	254	510.2
12	301	510.2
13	360	510.2



Por lo que podemos deducir que **sea cual sea la orientación de la línea de carga la Fuerza no sufre ninguna variación en módulo**, pues los puntos experimentales siempre tienen el mismo valor para cualquier ángulo elegido (lo que correspondería a la ecuación de una recta de pendiente nula). Y aparte al observar las gráficas de los resultados obtenidos, se puede constatar de nuevo que su dirección es justo la línea que conecta las cargas, lo que implica además que **la dirección de la fuerza no depende de ' α '**.

Conclusión

Después de realizar estas tres experiencias se puede deducir que: la fuerza electrostática entre dos partículas cargadas es:

- Inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa: $F = \frac{C}{d^2}$
- Directamente proporcional al valor de las cargas de las partículas: $F = C' \cdot q$
- No depende del ángulo y que su dirección coincide con la recta AB que une las cargas: $F = C'' \rightarrow \vec{F} = C'' \cdot \vec{u}_{AB}$

Por lo que se puede concluir que la ley física tiene la siguiente expresión matemática:

$$\vec{F}_{AB} = K \cdot \frac{Q_A \cdot Q_B}{d^2} \cdot \vec{u}_{AB}$$

Que es justamente la expresión de la ley de Coulomb. Donde K es una constante de proporcionalidad que ya se determinará en otra experiencia (La constante κ es la Constante de Coulomb y su valor para unidades SI es $1/(4 \pi \epsilon) \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$).

Como hemos visto es posible deducir experimentalmente leyes establecidas sin necesidad de su conocimiento previo. Para ello es necesario disponer de un dispositivo experimental que en la mayoría de los casos no es sencillo ni elemental.

El valor de la constante ' K ' se podría determinar a partir de alguna de las experiencias planteadas anteriormente, pero lo dejaremos para más adelante cuando hayamos aprendido a expresar los resultados correctamente y seamos capaces de determinar el error cometido en su cálculo.