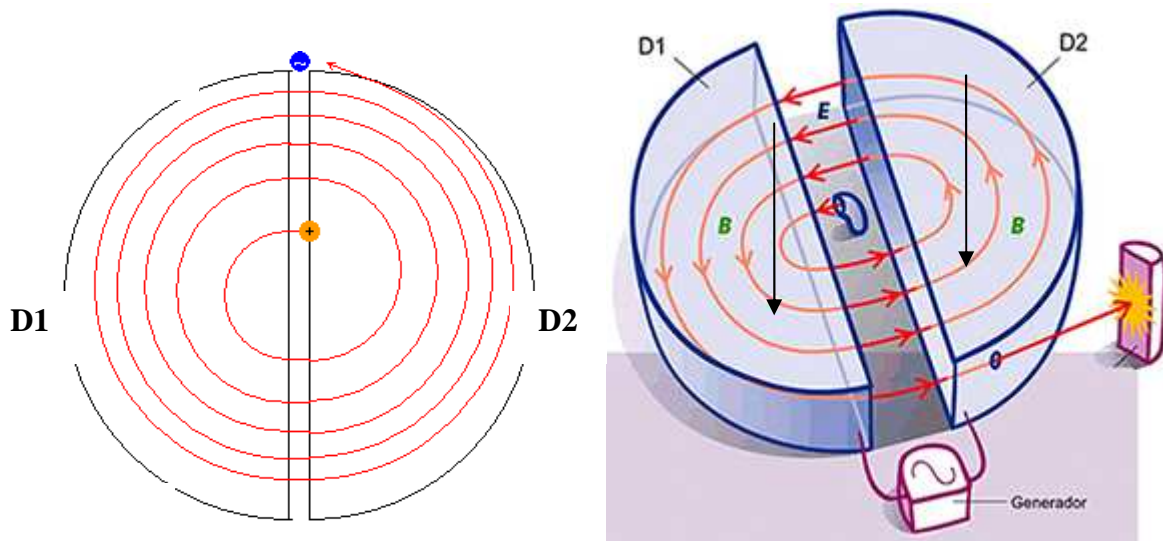


## DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO.

Acelerar linealmente partículas cargadas utilizando una diferencia de potencial presenta enormes dificultades experimentales debido a los campos eléctricos intensos que se requieren. El ciclotrón evita estas dificultades por medio de la aceleración múltiple de las partículas hasta lograr grandes velocidades sin el empleo de voltajes excesivos.

El primer ciclotrón fue ideado por **E. Lawrence** en 1932. Consta de dos recipientes metálicos semicirculares denominados “des”,  $D_1$  y  $D_2$ , situados perpendicularmente a un campo magnético uniforme. Las dos “des” están separadas por una pequeña distancia y están sometidas a una diferencia de potencial  $\Delta V$  que cambia de polaridad cuando la partícula describe una semicircunferencia (o cada semiperiodo, si lo prefieres). El campo magnético no actúa en el espacio entre las dos “des”. El conjunto está encerrado en un recipiente metálico cilíndrico al que se le ha hecho el vacío.



Movimiento de una *partícula positiva* en un ciclotrón. El *campo magnético es perpendicular a las des y hacia abajo*.

Supón que una fuente emite un protón (partícula positiva) en las inmediaciones de la cara plana de  $D_2$ . Cargando dicha cara positivamente y  $D_1$  negativamente, lograremos acelerar al protón hacia  $D_1$ . De este modo penetra en esa caja describiendo una órbita semicircular, ya que está atravesada por un campo magnético perpendicular. Descrito el semicírculo sale de  $D_1$ . Ahora se cambia la polaridad de las cajas ( $D_2$  se hace negativa y  $D_1$  positiva), de tal modo que el protón vuelve a conseguir más velocidad. Ahora entra en  $D_2$  y vuelve a describir una semicircunferencia, ya que vuelve a interactuar con el campo magnético.

El proceso se repite periódicamente hasta que la partícula sale del dispositivo. La velocidad del protón va aumentando, así como el radio de la órbita. La *velocidad de salida* de la partícula será:

$$q v B \sin\phi = m \frac{v^2}{R} \xrightarrow{\text{Por tanto}} v = \frac{q B R}{m}$$

donde  $R$  es el *radio máximo*.

En esta página tienes una simulación para comprender el proceso.  
Simulación 1: <http://cerezo.pntic.mec.es/~jgrima/Ciclotron.htm>

El *radio de cada semicircunferencia* descrita viene dado por la expresión:

$$q v B \sin\phi = m \frac{v^2}{r} \xrightarrow{\text{Por tanto}} r = \frac{m v}{q B}$$

El tiempo que tarda en dar una vuelta, o *período* sería:

$$T = \frac{2 \pi r}{v} = \frac{2 \pi \frac{m v}{q B}}{v} = \frac{2 \pi m}{q B}$$

Observa que el *periodo* es *independiente de la velocidad y del radio* que va consiguiendo la partícula.

Recuerda que la diferencia de potencial entre las cajas cambia de polaridad periódicamente con el objeto de que la carga acelere en la zona entre las “des”. *Este cambio de polaridad debe estar sincronizado con el periodo del movimiento de la partícula (condición de resonancia)*. También se puede hablar en términos de frecuencia (denominada *frecuencia de resonancia*):

$$f = \frac{1}{T} = \frac{q B}{2 \pi m}$$

Comprueba en la siguiente simulación 2 lo que sucede si las frecuencias están o no sincronizadas. Prueba con una relación de frecuencias igual a 1 (sincronizada) y después con 2 (no sincronizada):

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=33>

Puedes ver en *youtube* el siguiente video: **El primer Ciclotrón Características y principal funcionamiento Narración en español:**

<https://www.youtube.com/watch?v=qBLSqLbQYiw>

## CUESTIONES

1. Determinar el *potencial eléctrico* comunicado para producir la variación de energía cinética en cada cambio de D.

2. Determinar el *valor del campo magnético* que produce el giro de la partícula.

3. ¿Qué sucede si *duplicamos el campo eléctrico*? ¿Y si *duplicamos el campo magnético*?

4. ¿Cómo sería la *gráfica* que representa la *energía cinética* en *función del tiempo*?

5. ¿Cómo debe ser la *polaridad* del campo eléctrico entre cada "D"?

Para contestar a la pregunta 3 bázate en la siguiente simulación 3:

<http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/cyclotron.html>

Una simulación que te ofrece jugar con muchas variables es la simulación 4:

[http://www.kcvs.ca/site/projects/physics\\_files/newCyclotron/Cyclotron.swf](http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/newCyclotron/Cyclotron.swf)

**ACTIVIDAD:** Prueba a calcular la *frecuencia de resonancia* necesaria para que un protón pueda salir acelerado del ciclotrón. Prueba con  $B = 0,700 \text{ T}$ . Recuerda que la masa de un protón es  $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  y su carga  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

*Frecuencia de resonancia* =

¿Cuál sería la *velocidad de salida* del protón?

Observa lo que pasaría si introduces una frecuencia de resonancia aleatoriamente.

Intenta hacer cálculos para otras partículas que te ofrece la simulación.