

Ejemplos de aplicaciones de campos magnéticos

J.E. Prieto

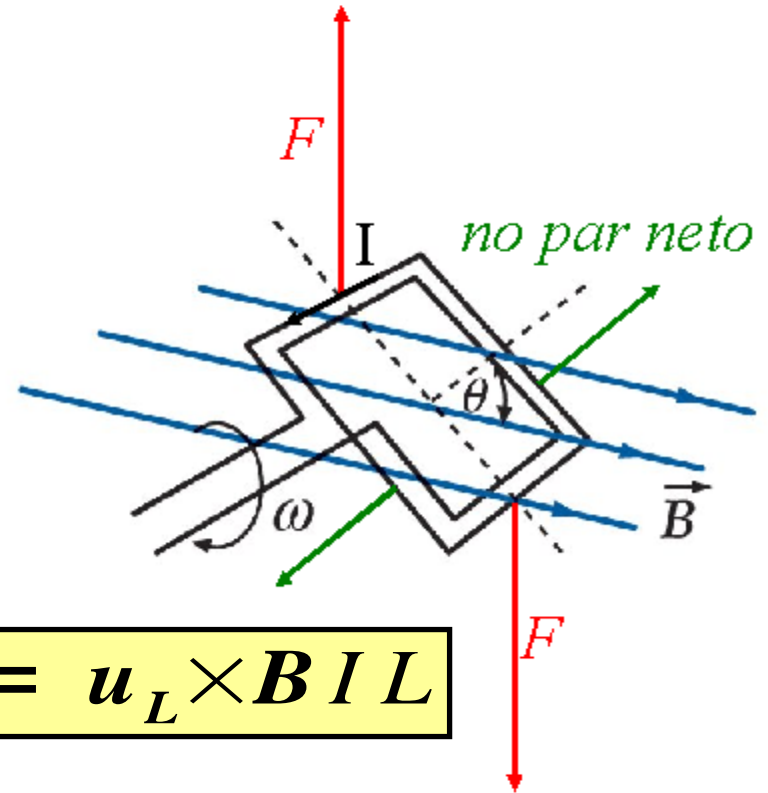
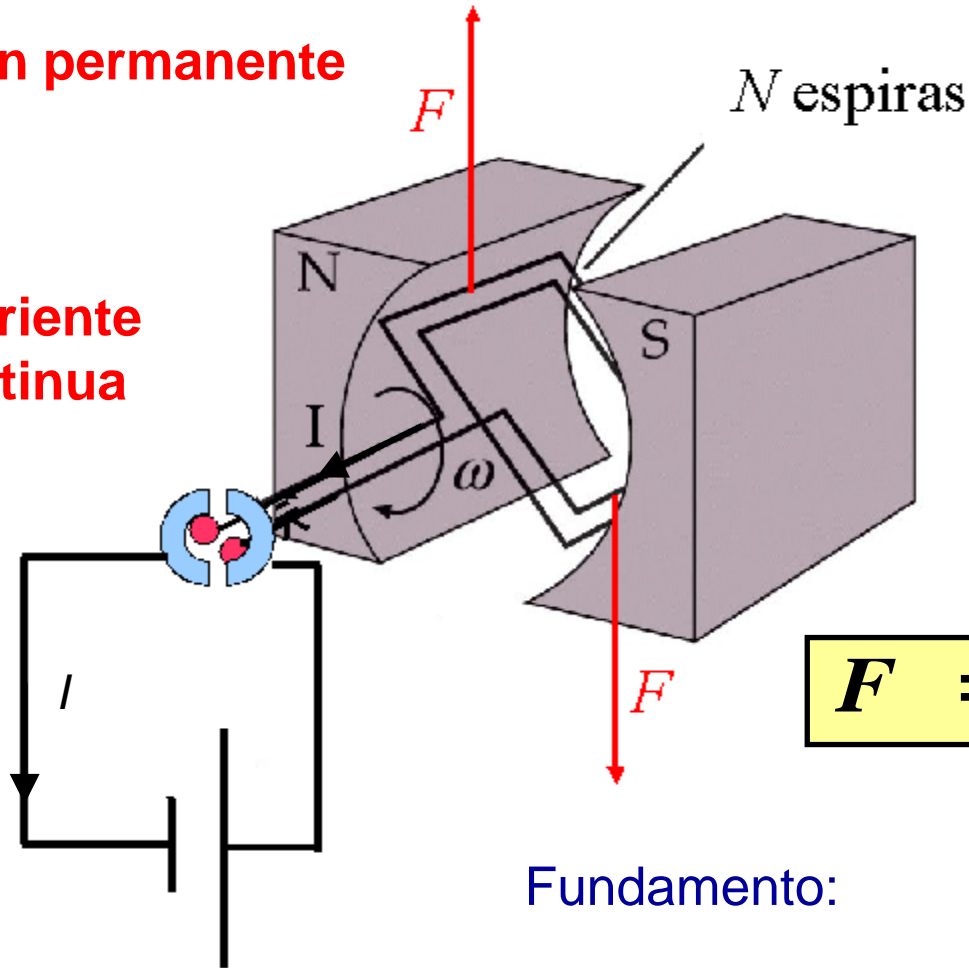
Fuente principal de figuras:

“Physics for scientists and engineers” (5th edition),
P.A. Tipler, G. Mosca

(1) Motor eléctrico de corriente continua (DC)

Imán permanente

Corriente continua



$$\mathbf{F} = \mathbf{u}_L \times \mathbf{B} I L$$

Fundamento:

- **Fuerza magnética** sobre una **corriente**
- Sobre una **espira** de corriente: **par de giro**

(2) Espectrómetro de masas

En vacío, se vaporiza e ioniza el material que se quiere analizar

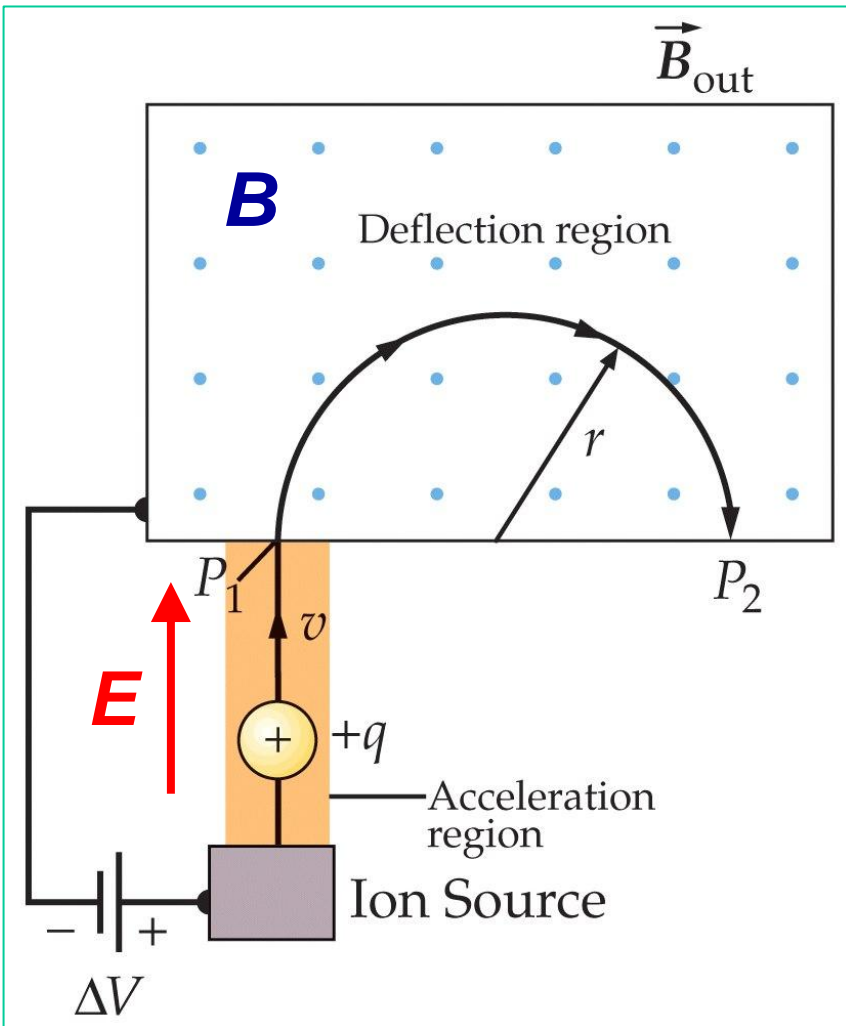
- Partículas son *aceleradas* por campo *E*, diferencia de potencial ΔV :

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = q \Delta V$$

- Partículas cargadas se *desvían* en *B* de acuerdo a su *relación* q/m

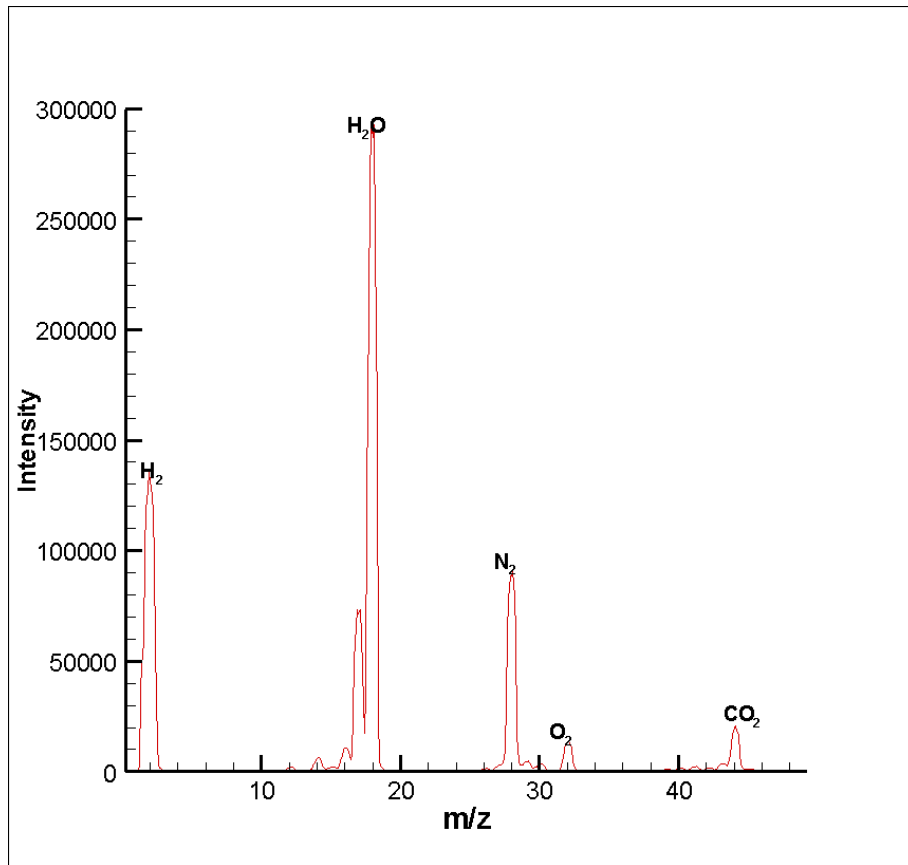
$$R = \frac{m v}{q B}$$

$$\rightarrow R = \frac{1}{B} \sqrt{\left(2 \Delta V \frac{m}{q} \right)}$$

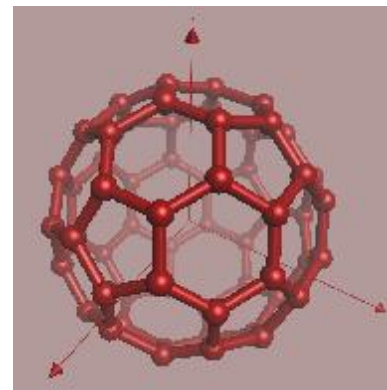
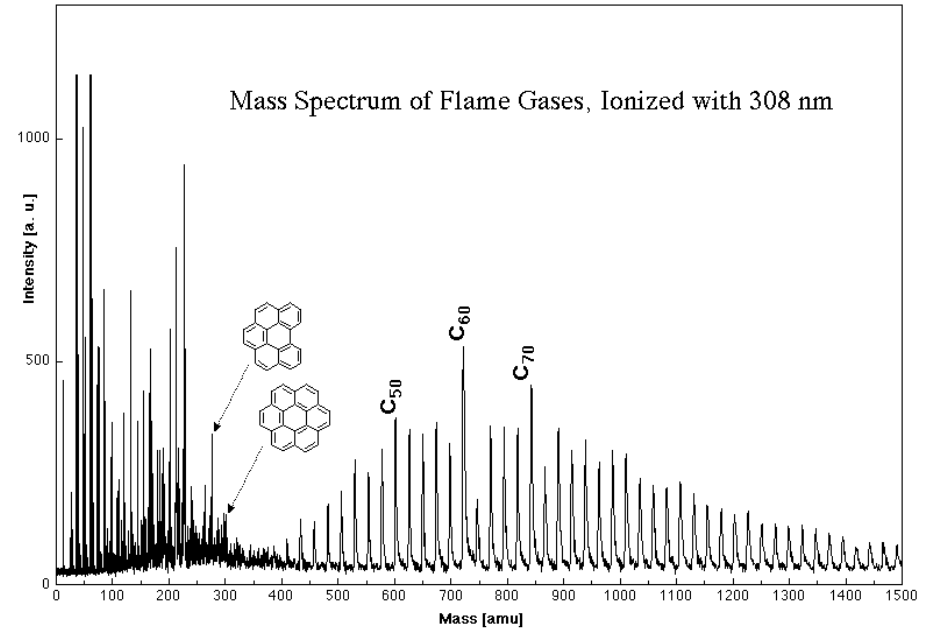


(2) Espectroscopía de masas: ejemplos

- Análisis del gas residual de un sistema de alto vacío



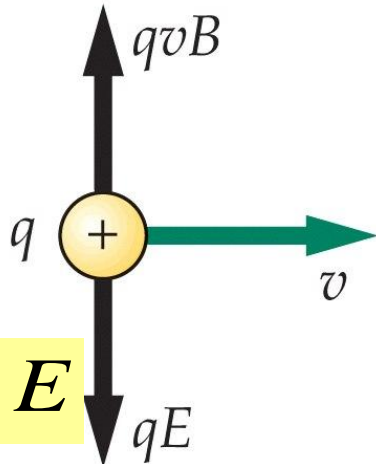
- Llamas: combustión de hidrocarburos



C_{60} : “fullerenos”

(3) Selector de velocidades: Campos \mathbf{E} y \mathbf{B} cruzados: Filtro de Wien

$$F_{mag} = qvB$$



$$F_{el} = qE$$

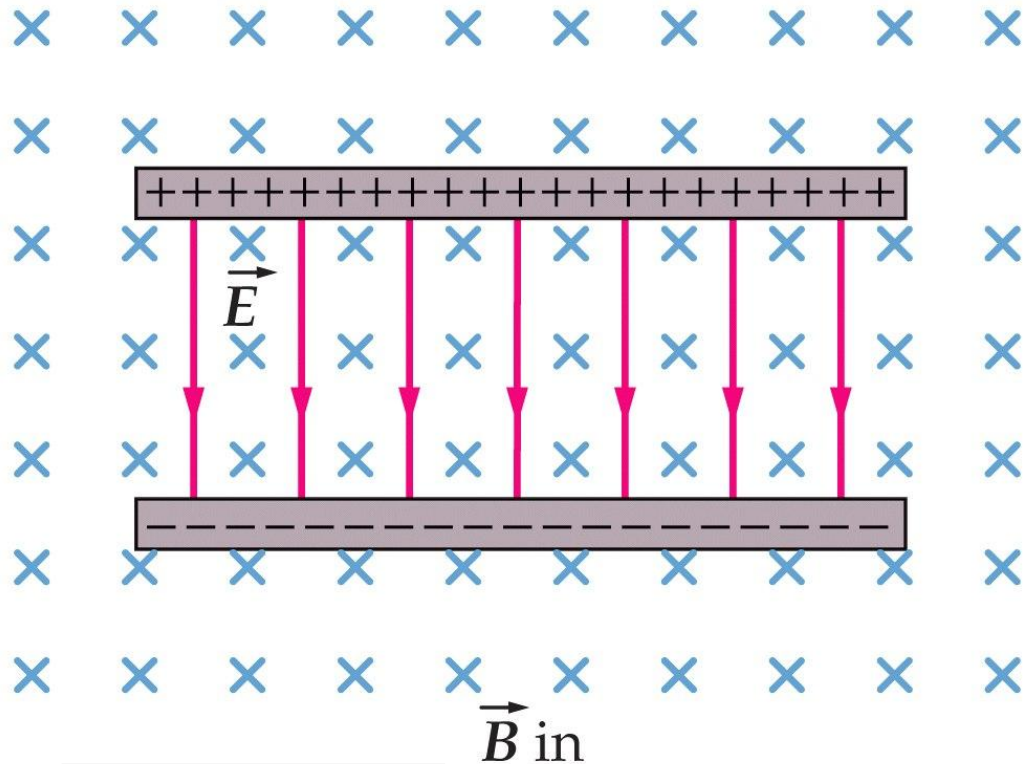
Condición de
no deflexión:

$$F_{mag} = F_{el}$$



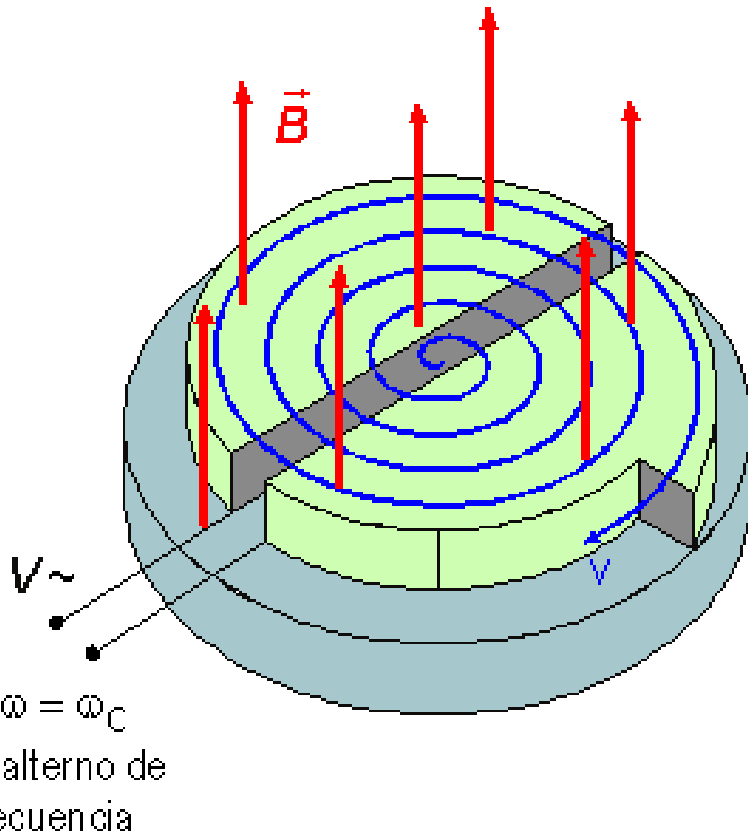
$$v = \frac{E}{B}$$

**Filtro de velocidades
de Wien**



Las partículas con $v = E/B$ pasan sin desviación, *independientemente* de q y m

(4) Acelerador de partículas: *ciclotrón*



- Frecuencia de rotación (*frecuencia ciclotrón* ω_c) de partícula en campo \mathbf{B} no depende de v ni de R :

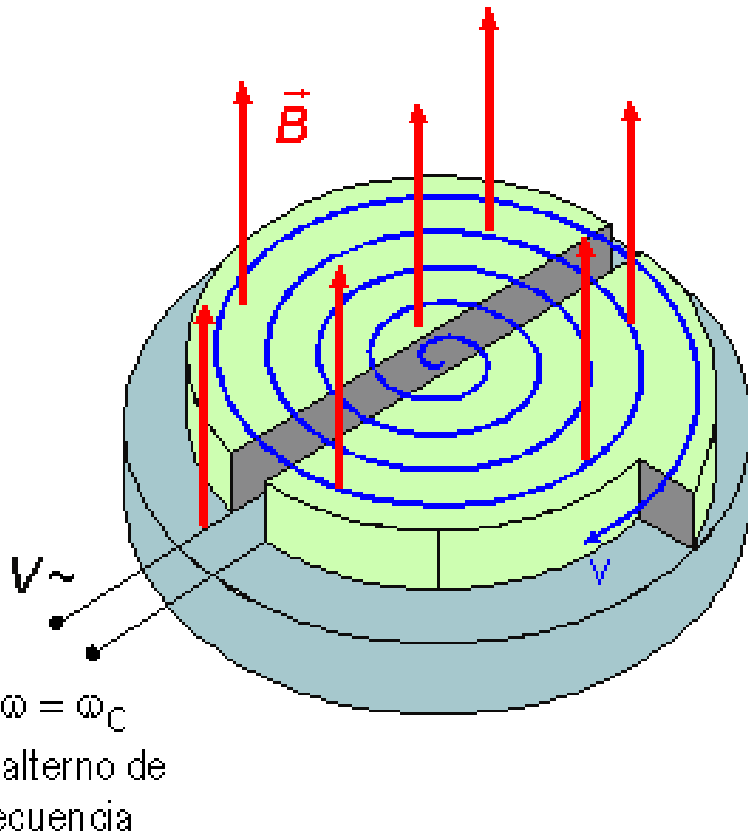
$$\omega_c = \frac{qB}{m}$$

- Dos piezas metálicas huecas en forma de “D”: se aplica voltaje alterno de **frecuencia** ω_c y amplitud V

- Tras un tiempo $T/2$, las partículas llegan al hueco entre las D's y son aceleradas por V ganando una energía qV en cada paso:

$$E_k = \frac{1}{2} m v_{max}^2 = \frac{1}{2} m (\omega_c R)^2 = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$$

(4) Ciclotrón



$$\omega_c = \frac{qB}{m}$$

$$E_k = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$$

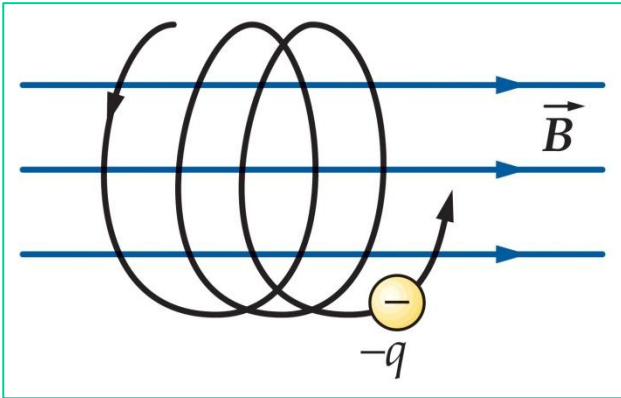
Valores típicos para un *protón*, en un campo $B = 1 \text{ T}$, con $R = 0.5 \text{ m}$

- $\nu_c \approx 15 \text{ MHz}$
- $E_k \approx 16 \text{ MeV}$

- Energías del orden de las *energías de enlace nuclear*:

- Inducción de reacciones nucleares (por ej. transmutación)
- Aplicación práctica: producción de isótopos para medicina nuclear.

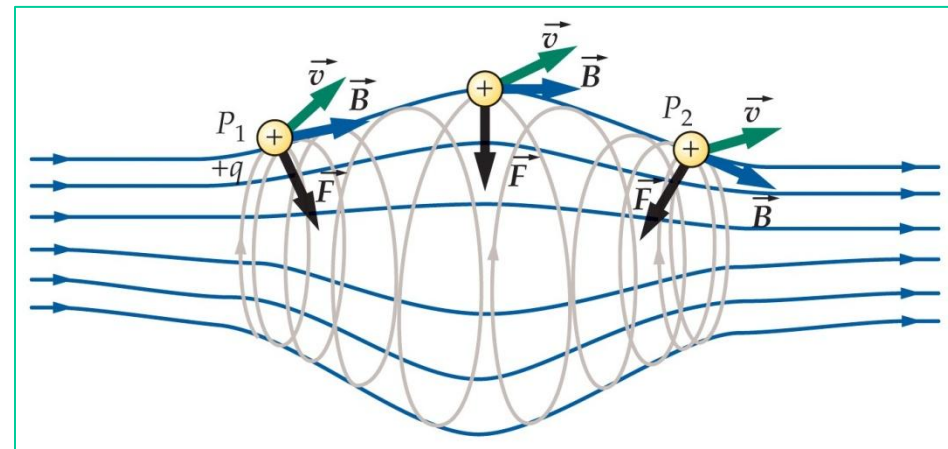
(5) Confinamiento magnético



- Partículas cargadas siguen *trayectorias helicoidales* en campo \vec{B}

- Produciendo un campo \vec{B} inhomogéneo con una *configuración adecuada* se puede conseguir el *confinamiento* de gases formados por partículas cargadas (*plasmas*).

- Por ejemplo, si \vec{B} es más intenso en los extremos que en el centro, se tiene el efecto de *botella magnética*



→ La carga q queda *atrapada* describiendo helicoides oscilando entre P_1 y P_2 .

(5) Confinamiento magnético

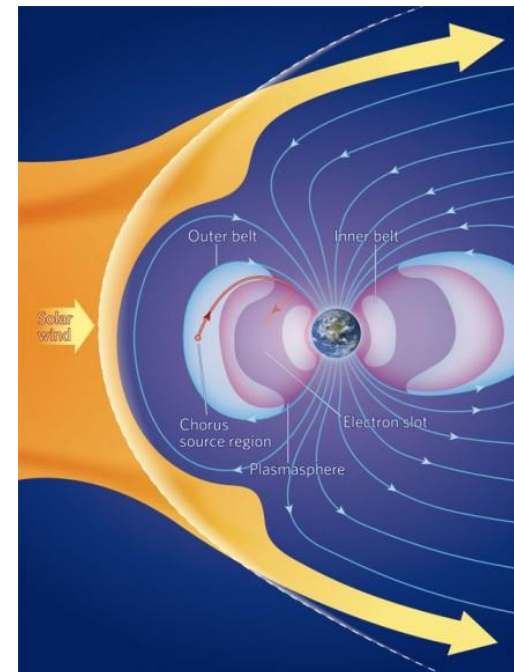
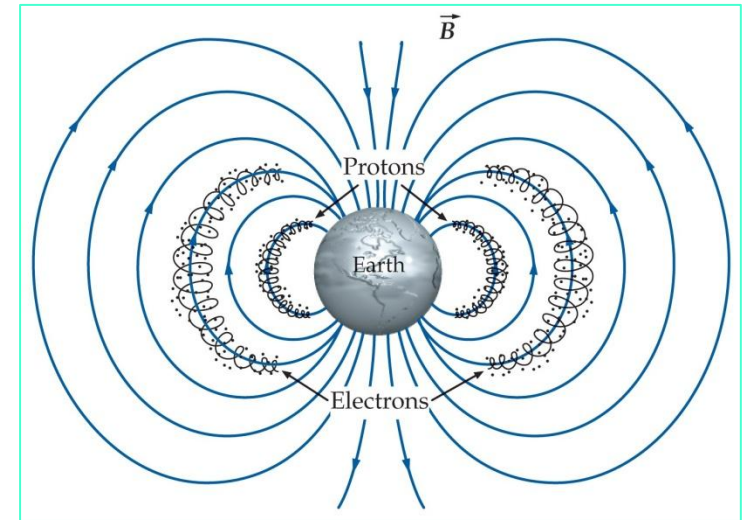
- Ejemplo: *cinturones de van Allen*.

Tienen lugar de forma natural en el espacio alrededor de las líneas del campo \vec{B} terrestre, entre 1000 y 60000 km de altura.

Son regiones de elevada radiación producida por las partículas atrapadas.

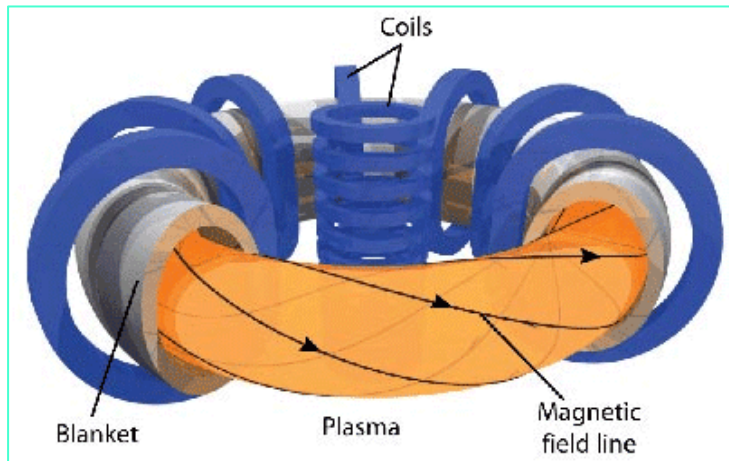
Representan un riesgo para satélites y astronautas.

Pero también protegen a la Tierra de las partículas cargadas procedentes del Sol (viento solar)



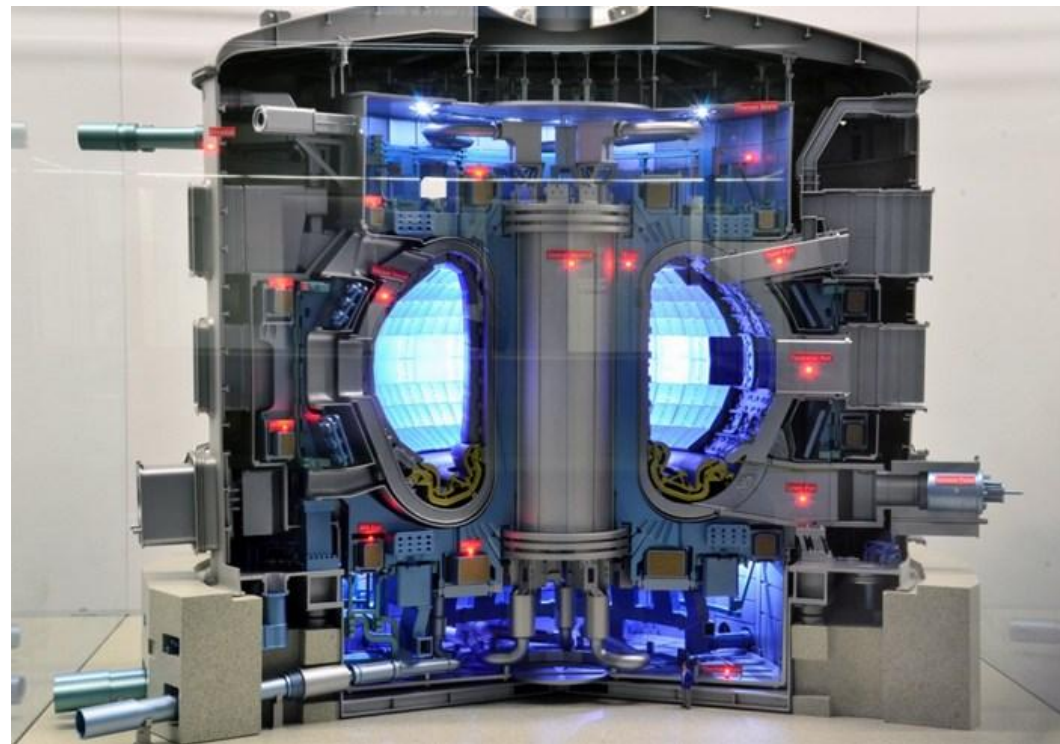
(5) Confinamiento magnético

- Ejemplo tecnológico: *fusión nuclear por confinamiento magnético* del plasma a temperaturas del orden de 150×10^6 C (!).



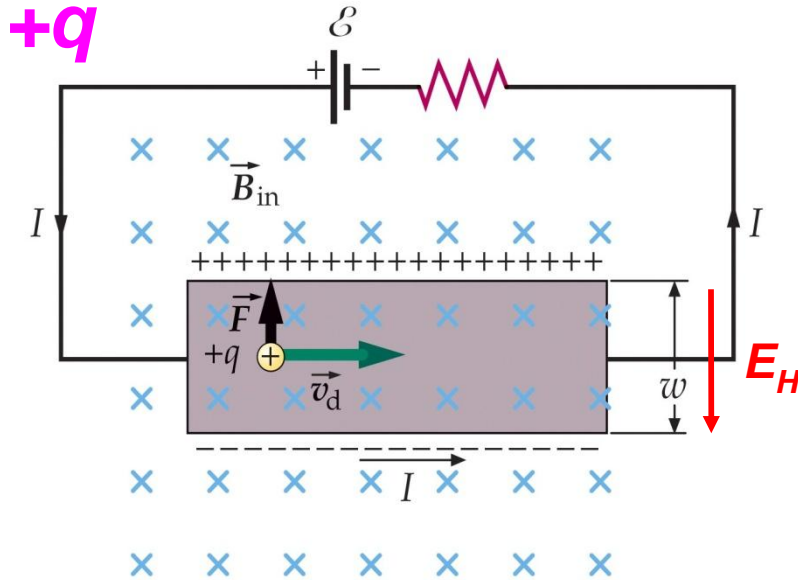
Configuración de *tokamak*:
Cámara toroidal sometida a campo **B** cuyas líneas tienen forma helicoidal:

→ *Confinamiento del plasma*
lejos de las paredes



Proyecto internacional ITER.

(6) Efecto Hall



V_H : voltaje Hall (transversal)
 l, w, b : longitud, anchura y altura de la muestra
 n : densidad de portadores

$$F_{mag} = qvB; \quad F_{el} = qE_H$$

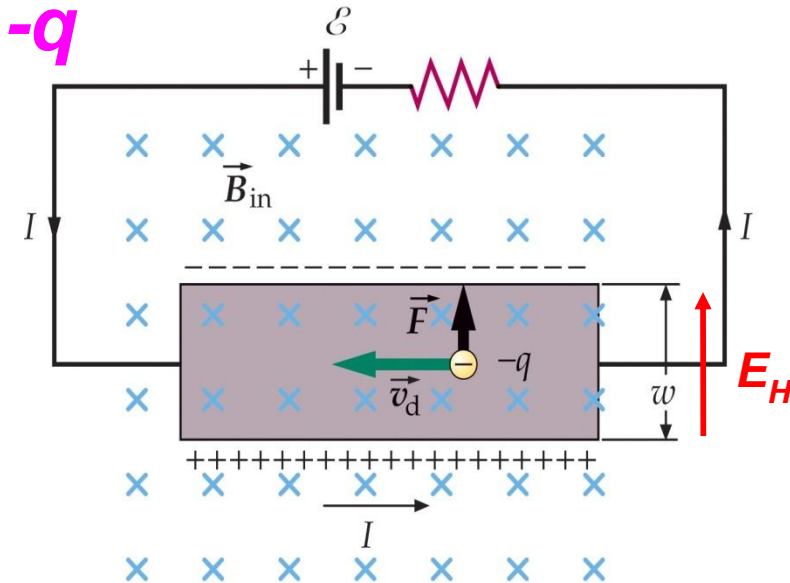
En equilibrio:

$$F_{mag} = F_{el}$$

Por otra parte:
y

$$V_H = wE_H$$

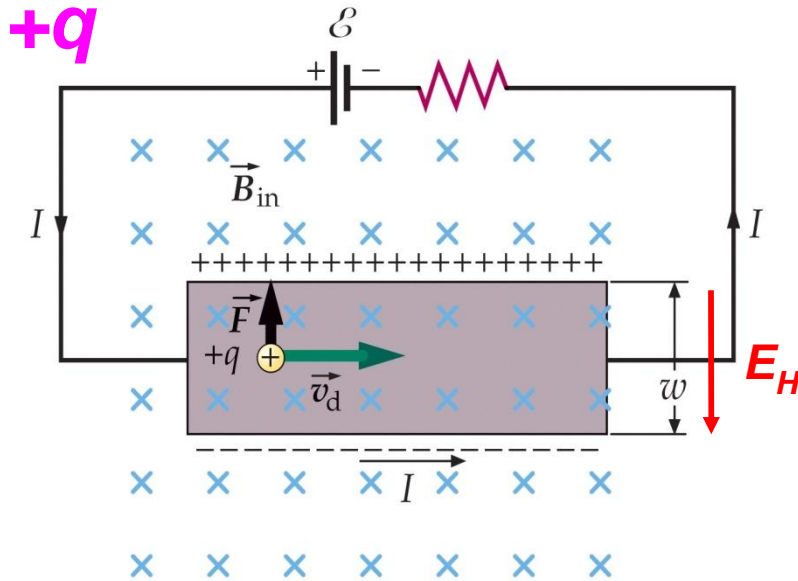
$$I = jA = jbw = (nqv)bw$$



→

$$V_H = \frac{IB}{nqb}$$

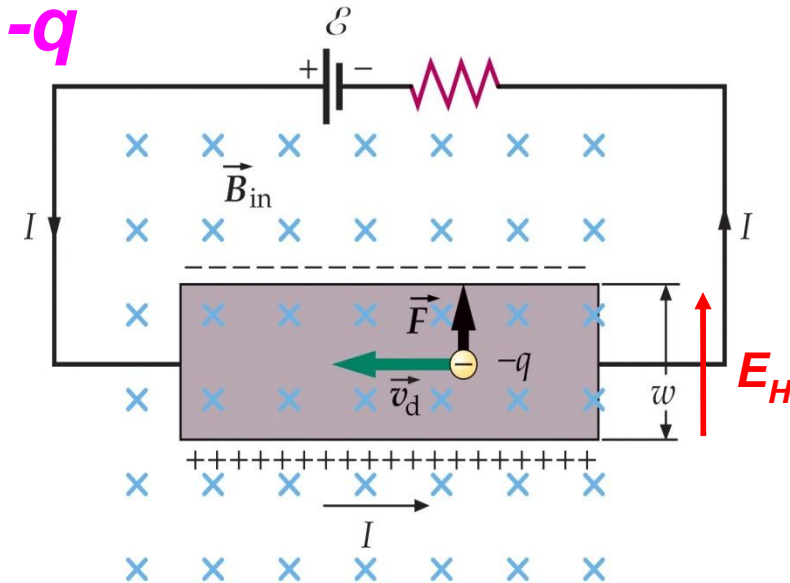
(6) Efecto Hall



$$V_H = \frac{I B}{n q b}$$

V_H : voltaje Hall (transversal) es

- **proporcional** a B
- **inversamente proporcional** a n
- **signo**: depende del **signo** de q



• Aplicaciones:

- **Medida de B** con un material de n conocida (**sonda Hall**)
- **Caracterización de materiales:**
 - Con B conocido, se puede **determinar n** y el **signo** de q