

## ENTREGA CINTURONES DE VAN ALLEN -

<sup>c</sup> Agredo, John, A00399946, <sup>d</sup> Tenorio, Steven A00399933,  
<sup>e</sup> Juan Felipe Restrepo Ruiz A00399484 , Juan José Mejía A00399682 <sup>f</sup>

<sup>c</sup> [1113152043@u.icesi.edu.co](mailto:1113152043@u.icesi.edu.co), <sup>d</sup> [tenoristevencolab@gmail.com](mailto:tenoristevencolab@gmail.com),  
<sup>e</sup> [Juanferestreporuiz@gmail.com](mailto:Juanferestreporuiz@gmail.com), <sup>f</sup> [juanjosemejiadaza@gmail.com](mailto:juanjosemejiadaza@gmail.com)

Universidad Icesi, Facultad de Ingenierías y Ciencias Naturales.

Santiago de Cali, Colombia.

25/04/2024

### INTRODUCCIÓN:

Los cinturones de Van Allen, dos regiones con forma de rosquilla que rodean la Tierra, son un fenómeno natural que nos protege de la radiación solar dañina. Estos cinturones están compuestos por partículas cargadas de alta energía, principalmente electrones y protones, estos cinturones se forman gracias a la interacción entre el campo magnético terrestre y el viento solar. Vamos a estudiar cómo el campo magnético terrestre atrapa a estas partículas, los diferentes tipos de partículas que los componen y su crucial papel en la protección de nuestro planeta.

### DESARROLLO DEL PROBLEMA:

**Origen de la radiación:** Podemos imaginar la Tierra como un planeta rodeado por dos escudos con forma similar a la de una rosquilla: los cinturones de Van Allen. Estos cinturones están formados por partículas cargadas de alta energía, principalmente protones y electrones, que nuestro campo magnético atrapa en su órbita.

La energía de estas partículas proviene de dos fuentes principales:

#### 1. Radiación cósmica:

- Viajeros espaciales: Estas son partículas subatómicas de alta energía, como protones y electrones, que viajan por el espacio desde galaxias lejanas.

- Son como balas diminutas que constantemente bombardean nuestro planeta.

#### 2. Viento solar:

- El Sol libera un flujo constante de partículas cargadas llamado viento solar.
- Este viento solar interactúa con el campo magnético terrestre, depositando algunas de sus partículas en los cinturones de Van Allen.

#### Interacción con el campo magnético

**terrestre:** El campo magnético terrestre actúa como una barrera que desvía y canaliza las partículas cargadas provenientes del espacio. Las líneas de campo magnético convergen en los polos magnéticos de la Tierra, creando una

región de mayor intensidad magnética cerca de los polos y formando los cinturones de Van Allen alrededor del planeta.

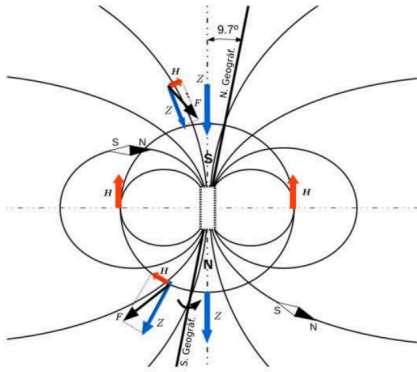


FIGURA 1

### Intensidad del Campo Magnético:

- **En los Polos:** La intensidad del campo magnético terrestre es mayor en los polos, alcanzando aproximadamente  $65 \mu\text{T}$  (microteslas) o  $(0.65 \text{ G})$  Gauss
- **En el Eje Ecuatorial:** En el ecuador, la intensidad del campo magnético es menor, alrededor de  $25 \mu\text{T}$  (microteslas) o  $(0.25 \text{ G})$  Gauss

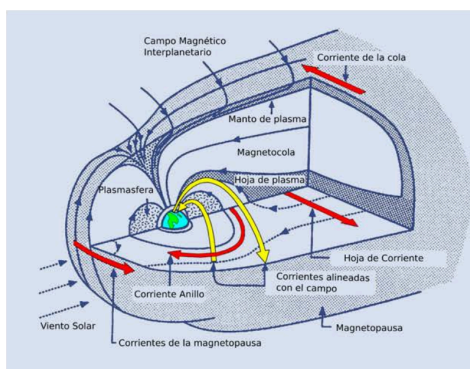


FIGURA 2

**Confinamiento magnético:** En física del plasma, una botella magnética es una región del espacio donde el campo magnético está configurado de tal manera que las partículas cargadas (como

electrones o protones) quedan atrapadas en su interior. La forma del campo magnético actúa como una barrera que evita que las partículas escapen.

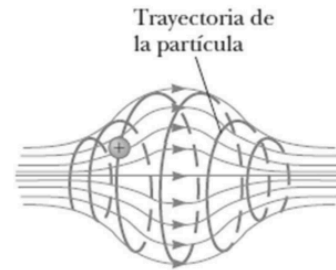


FIGURA 3

El efecto espejo es un fenómeno que ocurre dentro de una botella magnética donde las partículas cargadas que se mueven hacia un extremo de la botella son reflejadas como si rebotaran en un espejo. Este efecto se debe a la curvatura del campo magnético, que hace que las partículas cargadas cambien su dirección de movimiento.

**Trampa magnética:** Al entrar en contacto con el campo magnético terrestre, las partículas cargadas experimentan fuerzas de Lorentz que las obligan a seguir trayectorias curvadas a lo largo de las líneas del campo magnético. Este proceso de confinamiento magnético hace que las partículas sigan movimientos en espiral alrededor de las líneas del campo magnético, quedando atrapadas en regiones específicas alrededor de la Tierra.

1. **Fuerza de Lorentz:** Cuando una partícula cargada se mueve en un campo magnético, experimenta una fuerza conocida como la fuerza de Lorentz. Esta fuerza es perpendicular tanto a la velocidad de la partícula como al campo

magnético. La fórmula de la fuerza de

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Lorentz es:

Donde:

$F$ : Es la fuerza de Lorentz

$q$ : es la carga de la partícula

$v$ : Es la velocidad de la partícula

$B$ : Es el campo magnético

2. **Ecuación de Movimiento:** La trayectoria de una partícula cargada en un campo magnético se describe por la ecuación de movimiento:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

donde:

$m$ : es la masa de la partícula.

$\frac{dv}{dt}$ : es la aceleración de la partícula.

3. **Componentes del Movimiento:** Esta ecuación se puede descomponer en las componentes x,y,z para describir el movimiento en cada dirección. Para partículas atrapadas en los cinturones de Van Allen, debido a la simetría del campo magnético terrestre, el movimiento en las direcciones x,y, generalmente se puede describir como un movimiento circular o en espiral alrededor de las líneas de campo magnético, mientras que el

movimiento en la dirección z puede ser aproximado como rectilíneo.

4. **Frecuencia Ciclotrón:** La frecuencia ciclotrón, que describe la frecuencia de la oscilación de una partícula cargada alrededor de las líneas de campo magnético, se define como:

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

5. **Fuerza Centrípeta:** Además, la fuerza centrípeta experimentada por la partícula en su movimiento circular está dada por:

$$F_c = m \frac{v^2}{r} = qvB$$

Donde  $r$  es el radio de la órbita de la partícula

6. **El radio de la órbita ciclotrónica:** se refiere al radio de la trayectoria circular que sigue una partícula cargada cuando se mueve en un campo magnético uniforme. Este radio depende de la velocidad de la partícula, la carga de la partícula, la masa de la partícula y la intensidad del campo magnético.

La fórmula para calcular el radio de la órbita ciclotrónica es:

$$r = \frac{mv}{qB}$$

Estas ecuaciones proporcionan un marco matemático básico para entender la dinámica de las partículas cargadas en los cinturones de Van Allen en presencia de un campo magnético terrestre.

### Ejemplo:

Ahora, vamos a sumergirnos en un escenario hipotético, imaginemos un protón, originario del sol, que se desplaza a una velocidad relativista. Este protón se aproxima a la Tierra con un ángulo de ataque de  $100^\circ$  con respecto al eje z, interactuando con la magnetosfera terrestre. Esta interacción se puede visualizar en la imagen que se muestra a continuación

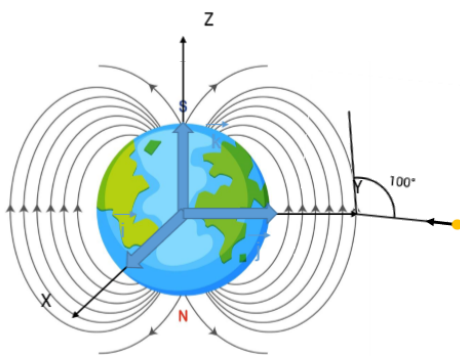


FIGURA 4

Los datos conocidos son:

- Masa del protón,  $m = 1.6 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .
- Carga del protón,  $q = + 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .
- Campo magnético terrestre en el ecuador,  $B = 25 \times 10^{-6} \text{ T (Tesla)}$ .

-Velocidad del protón,  $v = 0.9c$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz,

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

-Ángulo,  $\theta = 100^\circ$

**1. Fuerza de Lorentz:** Utilizando la ecuación fuerza de Lorentz, y sustituyendo los valores tenemos:

$$\begin{aligned} |\vec{F}| &= qvB \sin(\theta) = (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(0.9 \times 3 \times 10^8 \text{ m/s})(25 \times 10^{-6} \text{ T}) \sin(100^\circ) \\ |\vec{F}| &\approx (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(2.7 \times 10^8 \text{ m/s})(25 \times 10^{-6} \text{ T})(0.9848) \\ |\vec{F}| &\approx 1.06 \times 10^{-15} \text{ N} \end{aligned}$$

**2. Frecuencia Ciclotrón:** La frecuencia de esta espiral (conocida como la frecuencia ciclotrón) es:

$$\omega_c = \frac{qB}{m} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 25 \times 10^{-6} \text{ T}}{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}} \approx 2.39 \times 10^{11} \text{ rad/s}$$

**3. Radio de la Órbita:** Usando la ecuación de la fuerza centrípeta, podemos encontrar el radio de la órbita:

$$r = \frac{mv}{qB} = \frac{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg} \times 0.9 \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 25 \times 10^{-6} \text{ T}} \approx 0.45 \text{ m}$$

**4. Velocidad horizontal de la partícula:** como la velocidad del eje paralelo de a las líneas de campo magnético, se procede a calcularlo de la siguiente forma

Primero, calculamos el ángulo complementario de la partícula por tanto  $(100-180)$ , luego convertimos este ángulo de 80 grados a radianes:

$$\theta = \frac{80 \times \pi}{180} \approx 1.3962 \text{ radianes}$$

Luego, calculamos la velocidad horizontal utilizando la fórmula:

$$v_{\text{horizontal}} = v \times \cos(\theta)$$

Sustituyendo los valores conocidos en la fórmula:

$$\begin{aligned} v_{\text{horizontal}} &= 0.9c \times \cos(1.3962) \\ v_{\text{horizontal}} &= 0.9 \times 3 \times 10^8 \text{ m/s} \times \cos(1.3962) \\ v_{\text{horizontal}} &\approx 0.9 \times 3 \times 10^8 \text{ m/s} \times 0.1736 \\ v_{\text{horizontal}} &\approx 4.69 \times 10^7 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Estos cálculos revelan que un protón, al

ingresar al campo magnético terrestre con una velocidad relativista de  $0.9c$ , seguirá una trayectoria espiral con un radio aproximado de  $0.45$  metros y una frecuencia ciclotrón de alrededor de  $2.39 \times 10^{11} \text{ rad/s}$ . Además, la velocidad horizontal del protón, componente paralelo al campo magnético y constante durante su movimiento, se estima en aproximadamente  $4.69 \times 10^7 \text{ m/s}$ . La fuerza de Lorentz actuando sobre el protón, aproximadamente  $1.06 \times 10^{-15} \text{ N}$ , newtons y perpendicular tanto a su velocidad como al campo magnético, determina esta trayectoria espiral y eventual atrapamiento en el campo magnético terrestre, generando así el fenómeno de trampa magnética tipo espejo.

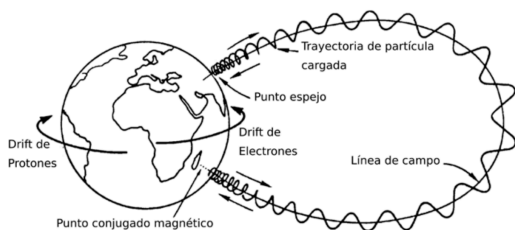


FIGURA 5

### Explicación:

#### **1. Creación del campo magnético:**

Inicialmente, se utiliza una configuración especial de imanes para generar un campo magnético no uniforme, con mayor fuerza en los extremos y menor en el centro.

**2. Ingreso de partículas:** Después de esto, las partículas cargadas entran en el campo magnético desde diferentes fuentes.

**3. Movimiento en espiral:** Las partículas giran en espiral debido a la fuerza de Lorentz.

**4. Reflexión en regiones fuertes:** Las partículas se reflejan en las regiones donde el campo magnético es más fuerte.

**5. Confinamiento:** Las partículas quedan atrapadas dentro de la trampa por el movimiento en espiral y la reflexión.

**6. Pérdidas:** Algunas partículas pueden escapar por el cono de pérdida, por colisiones o por inestabilidades.

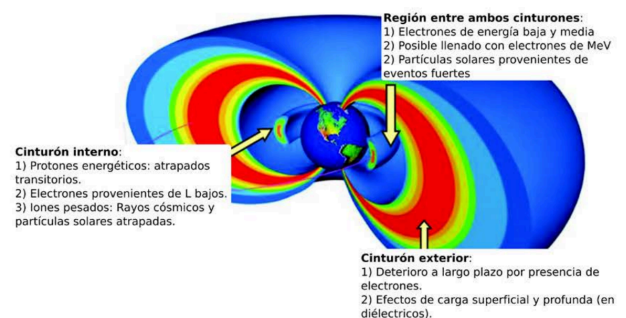


FIGURA 6

### ● CONCLUSIÓN:

Hemos validado la importancia crítica de los cinturones de Van Allen como un escudo protector vital para la Tierra. Estos cinturones desempeñan un papel fundamental al atrapar partículas cargadas de alta energía del Sol, desviando así la radiación dañina y salvaguardando a los seres vivos y la tecnología en órbita de sus efectos nocivos. La diversidad de partículas cargadas, principalmente electrones y protones, que componen los cinturones de Van Allen proviene de diversas fuentes, incluido el viento solar, la reconexión magnética y las tormentas geomagnéticas. La interacción entre estas partículas y el campo magnético terrestre da lugar a la formación de los cinturones de Van Allen, donde las partículas experimentan la fuerza de Lorentz, curvando su trayectoria y, en algunos

casos, atrapándolas en órbitas alrededor de la Tierra.

La comprensión detallada de estos mecanismos es esencial para desarrollar estrategias de mitigación de riesgos espaciales y para comprender la dinámica del espacio cercano a la Tierra. Además de su papel en la protección contra la radiación solar, los cinturones de Van Allen son cruciales para la investigación de fenómenos físicos como la reconexión magnética y las tormentas geomagnéticas.

El estudio de su interacción proporciona información valiosa para la predicción y gestión de eventos espaciales potencialmente peligrosos, así como para la exploración y colonización espacial. En última instancia, el estudio de los cinturones de Van Allen no solo amplía nuestro conocimiento fundamental de la física del espacio, sino que también tiene implicaciones prácticas significativas para la protección de la vida y la tecnología en la Tierra y en el espacio.

## **Bibliografías:**

### **Sitios web:**

- **Lifeder.** (s.f.). **Campo magnético terrestre.** Recuperado de <https://www.lifeder.com/campo-magnetico-terrestre/>
- **Martínez, J. A.** (2016, 31 de mayo). **Trayectorias de las partículas cargadas en el campo magnético.** Cultura Científica. Recuperado de <https://culturacientifica.com/2016/05/31/trayectorias-las-particulas-cargadas-campo-magnetic-o/>
- **Techiescience Team.** (s.f.). **Magnetic force on moving charges.** Techiescience. Recuperado de <http://www.physicsbootcamp.org/Magnetic-Force.html>

### **Video de YouTube:**

- **Herrero, J. M.** (s.f.). **Cómo actúa el campo magnético sobre una partícula cargada en movimiento.** Astro-logy. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=BNyo9MxOxuY>

### **Libro:**

- **McBrearty, D. R., & Thomas, G. E.** (2014). **The Van Allen Probes Mission.** The Johns Hopkins University Press. Recuperado de <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4899-7433-4>

### **Artículo:**

- **Universidad Nacional de La Plata.** (2020). **Documento completo.** *SEDICI*, Dr. **Francisco Azpilicueta.** Recuperado de: [https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/144881/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/144881/Documento_completo.pdf?sequence=1).