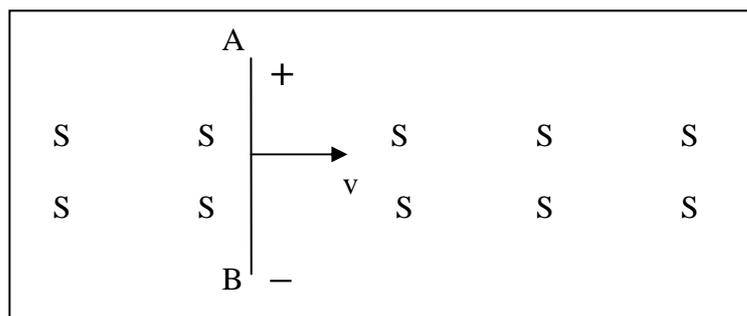


# Funcionamiento de un generador de imanes permanentes aplicando la expresión de Lorentz

## Introducción: fórmula de Lorentz

Un generador de imanes permanentes consta de un conjunto de imanes que “se mueven” frente a unas bobinas “fijas”. Aunque la ley de Faraday es la que con más frecuencia se aplica al fenómeno de inducción eléctrica, la fórmula de Lorentz es de más fácil aplicación y da una explicación más sencilla de este mismo fenómeno de inducción. La ley de Faraday considera la espira, en la que se induce la fuerza electromotriz, en todo su conjunto y su expresión matemática se aplica a la superficie de la espira, mientras que la fórmula de Lorentz se aplica a los conductores que forman la espira.

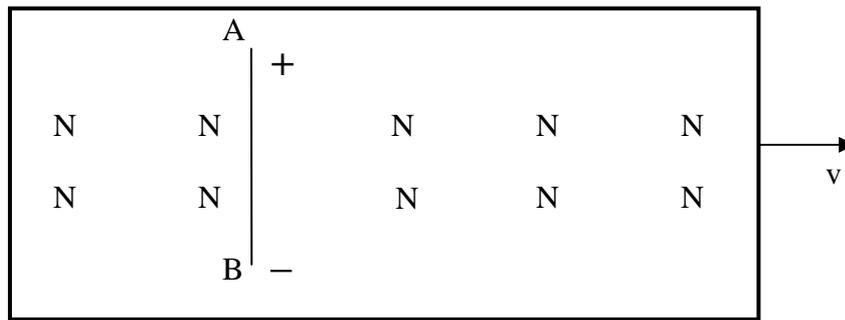
Previamente a la aplicación de la fórmula de Lorentz a una espira, explicaremos la fórmula de Lorentz para un segmento conductor que se mueve en un campo magnético estático.



En el dibujo anterior se considera que el segmento **AB** se mueve hacia la derecha, **por encima de un imán** cuyo polo norte es la cara posterior de la hoja, y el polo sur está en la propia hoja. El campo magnético es pues perpendicular a la hoja de papel y dirigido hacia dentro. En este caso sencillo, la expresión de Lorentz es:

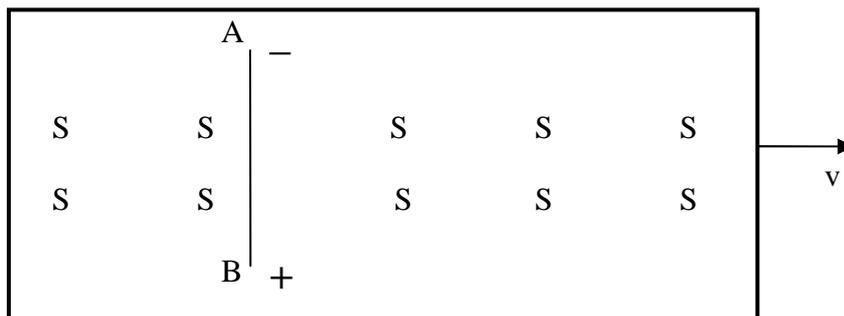
$$\varepsilon = vBL$$

donde **L** es la longitud del segmento **AB**. El polo positivo de la  **$\varepsilon$**  es el extremo A del segmento y el polo negativo es el extremo B. En un generador de imanes permanentes, no es el conductor el que se mueve en el campo magnético sino al contrario, los conductores que forman las espiras permanecen quietos y son los imanes los que se mueven. En este caso, el anterior dibujo se puede redibujar en la forma:



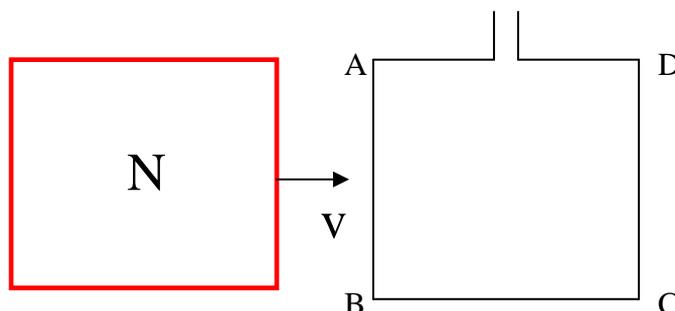
En este dibujo, el imán se mueve hacia la derecha, y el segmento está en reposo. Esta situación es equivalente, por movimiento relativo, a que el imán se encuentre en reposo y el conductor se mueva hacia la izquierda. Es por ello que para mantener la polaridad de la f.e.m. inducida en el segmento conductor, el polo Norte del imán está en la cara superior de la hoja de papel y el campo magnético sale del papel.

Si el polo Sur del imán está en la cara superior de la hoja de papel, y el imán se mueve hacia la derecha, la tensión generada en el segmento AB es la representada en la figura siguiente.



### Fem inducida en una espira cuadrada generada por imanes móviles

Consideraremos a continuación que un imán se mueve hacia al derecha y pasa enfrente (y por debajo) de una espira cuadrada abierta, que consideramos formada por tres segmentos, dos verticales y el otro horizontal, conectados entre si, y el cuarto segmento, que cerraría la espira, esta partido en su mitad y abierto. Por simplicidad en la explicación, la superficie del imán es ligeramente inferior a la de la espira (considerada cerrada), y la anchura del imán es igual a la de la espira. Cuando el imán pase enfrente de los segmentos verticales AB y CD inducirá f.e.m. en ellos cuya polaridad estará de acuerdo con lo presentado anteriormente.

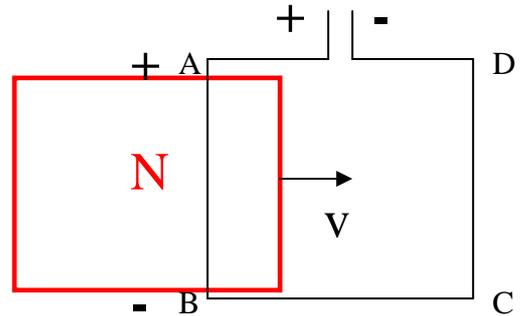


1.- Primera posición: el imán esta pasando enfrente del primer lado de la espira (lado AB). La polaridad será

- A = polo positivo
- B = polo negativo.

En el lado CD aun no se induce tensión.

La polaridad total de la espira será la que se muestra en la figura

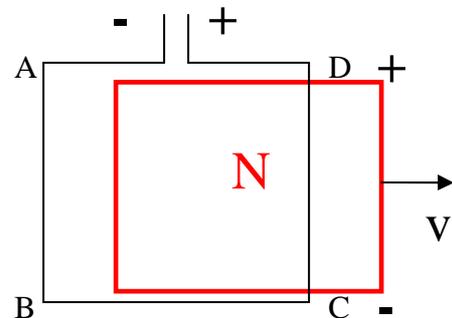


2.- Segunda posición: el imán esta pasando enfrente del segundo lado de la espira (lado CD). La polaridad será

- D = polo positivo
- C = polo negativo.

En el lado AB ya no se induce tensión.

La polaridad total de la espira será la que se muestra en la figura

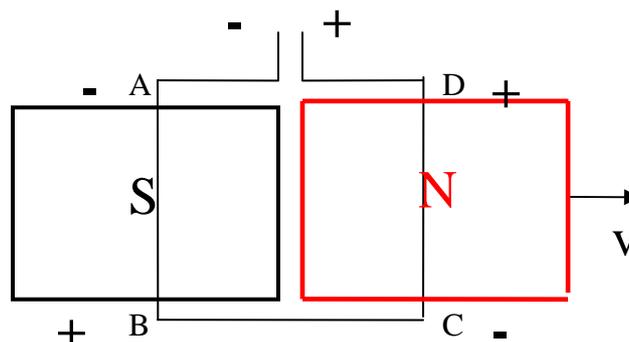


Si el polo del imán que esta pasando enfrente de la espira es S en vez de N, las polaridades de la espira son las inversas de las explicadas en los dos casos anteriores.

A continuación consideraremos dos imanes cuyos polos son opuestos, y que pasan enfrente de la espira. Cuando esta pasando el primer imán enfrente del lado AB, se tiene la situación del caso 1, en cuyo caso la polaridad es la misma que entonces y que no dibujamos: A = polo positivo; B = polo negativo.

3.- El primer imán está pasando enfrente del segmento DC, y el segundo imán ya está enfrente del segmento AB. Entonces se inducen tensiones en ambos segmentos, con la polaridad

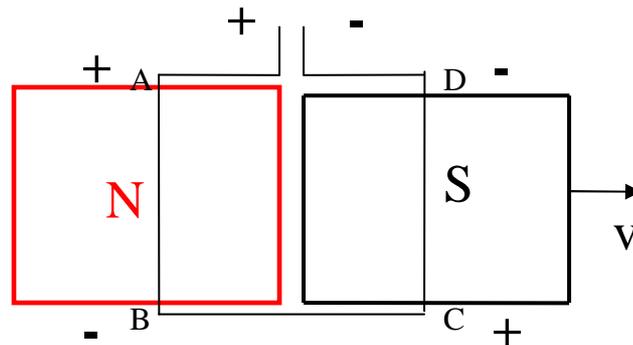
- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| A = Polo negativo | C = Polo negativo |
| B = Polo positivo | D = Polo positivo |



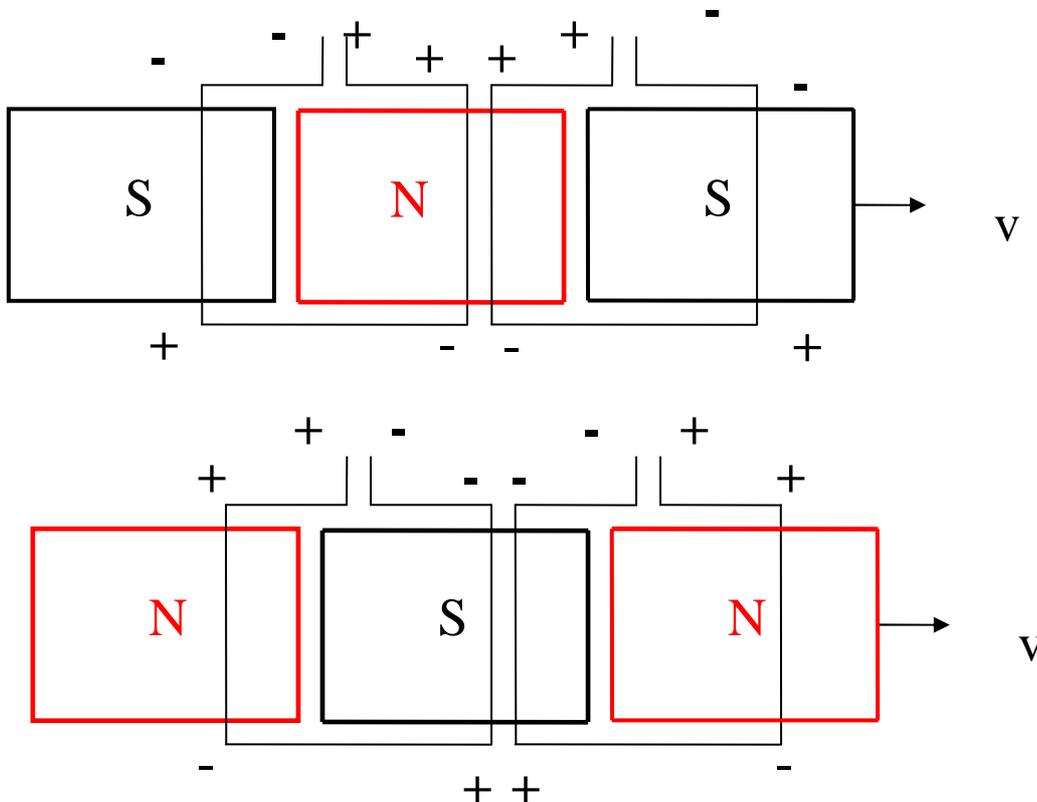
El resultado es una espira con una tensión doble, debida a la suma de las tensiones de los dos segmentos.

Cuando el primer imán haya pasado de largo y el segundo imán este enfrentado al segmento DC, la polaridad de la espira será la contraria a la mostrada en la figura.

Si consideramos una hilera de imanes, uno tras otro, con los polos magnéticos invertidos, pasando enfrente de una espira, la polaridad de la espira será la mostrada en la figura anterior, cuando el polo N de un imán esté enfrente del segmento DC, y será la contraria cuando el polo N de uno imán esté enfrente del segmento AB.



Por último, se considerará el caso que una hilera de imanes con los polos magnéticos alternados, que pasan enfrente de dos espiras. La separación entre las espiras es la misma que la separación entre los imanes.



Las espiras contiguas tienen polaridades contrarias

## Clases de generadores de imanes permanentes.

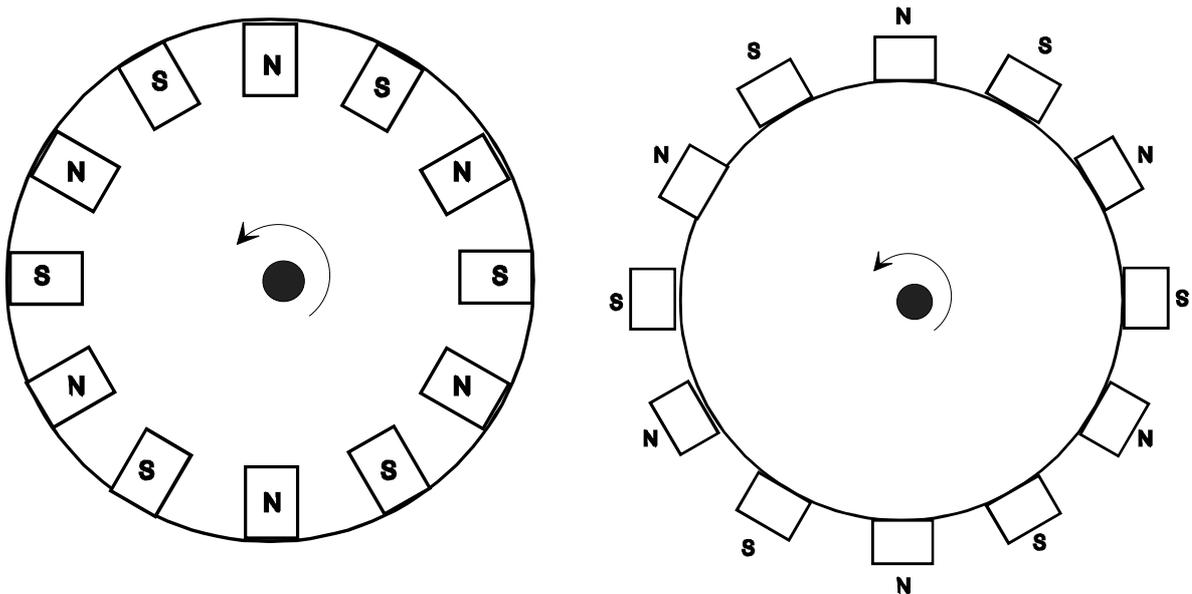
En el apartado anterior se supone que se tiene una fila de imanes que se mueve con velocidad “lineal” frente a un grupo de espiras. Dicha situación no es la que se da en los generadores eléctricos, sino que los imanes se mueven con velocidad “circular”. Según sea el eje de giro, los generadores son de dos tipos, de flujo axial y de flujo radial.

- Generadores de flujo axial: el eje de giro es paralelo al campo magnético de los imanes
- Generadores de flujo radial: el eje de giro es perpendicular al campo magnético de los imanes

Las expresiones “flujo axial” y “flujo radial” no son físicamente correctas, puesto que el flujo es una magnitud escalar y por tanto no puede tener sentido axial ni radial, pero esta terminología se ha establecido como distintiva de los dos tipos de generadores, y por ello continuaremos usándola en este documento

En los generadores de **flujo axial**, los imanes se disponen sobre un disco de hierro que gira alrededor de un eje perpendicular que pasa por su centro. Así pues el campo magnético de los imanes es paralelo al eje de giro, y de ahí la frase “flujo axial” que realmente significa campo magnético paralelo al eje de giro

En los generadores de **flujo radial**, los imanes se colocan sobre la superficie lateral de un cilindro que gira alrededor de su propio eje. En este caso el campo magnético de los imanes es perpendicular al eje de giro, y por tanto va en dirección radial, y de ahí la frase “flujo radial” que realmente significa campo magnético en dirección radial o perpendicular al eje de giro.



### **Fem inducida en una espira de un generador de imanes permanentes.**

Aunque en las explicaciones anteriores se ha supuesto que los imanes se mueven con velocidad lineal uniforme frente a las espiras, realmente se mueven en un movimiento circular uniforme, y el número de imanes es siempre par y con los polos magnéticos alternados. En este caso, y como se ha visto, la fem inducida en una espira será justo el doble de la que induciría un solo imán, puesto que cada lado de la espira esta siendo atacado por dos imanes de polos opuestos.

$$\varepsilon = 2vBL$$

como la velocidad lineal esta relacionada con la angular por la expresión

$$v = \omega \cdot r$$

La expresión de la fem inducida en una espira será

$$\varepsilon = 2\omega rBL$$

Como esta fem es alterna su valor eficaz se obtendrá dividiendo por la raíz de 2

$$\varepsilon_e = \frac{1}{\sqrt{2}} 2\omega rBL$$

Si usamos las rpms (revoluciones por minuto) para medir la velocidad angular

$$\omega = \frac{2\pi}{60} (\text{rpms})$$

Finalmente queda la siguiente expresión para la fem inducida en una espira

$$\varepsilon_e = 0.148(\text{rpms})rBL$$

Si se tiene una bobina formada por N espiras, la fem inducida en la bobina será

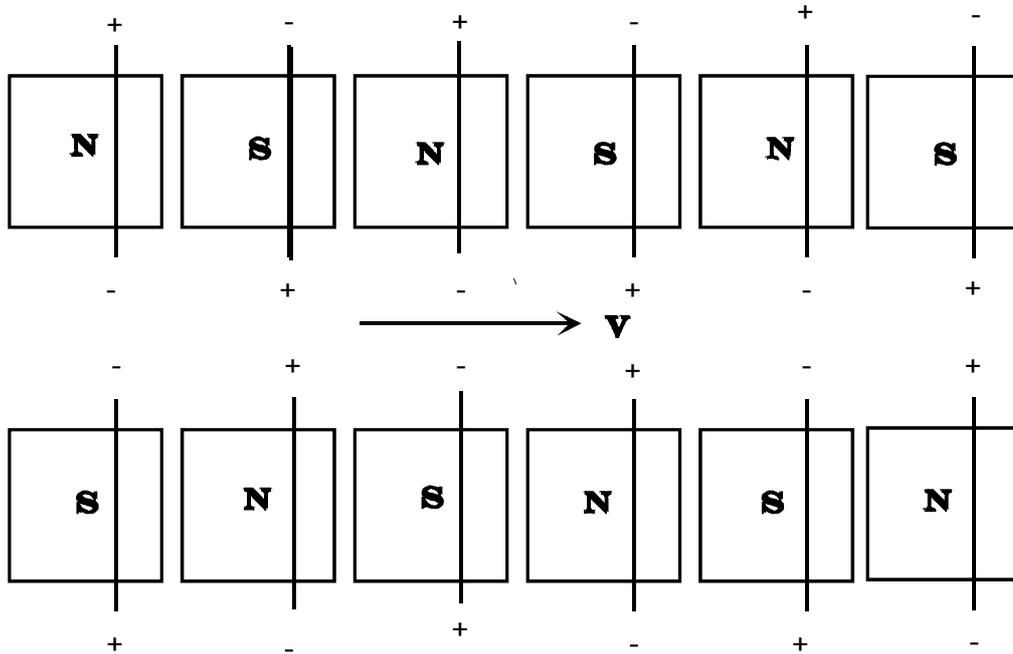
$$\varepsilon_e = 0.148(\text{rpms})rBNL$$

donde **r** es el radio de giro del imán, **B** es el campo magnético que actúa sobre los lados de la bobina, **N** es el número de vueltas del hilo de cobre que forma la bobina, y **L** es la longitud de la bobina perpendicular a la velocidad del imán.

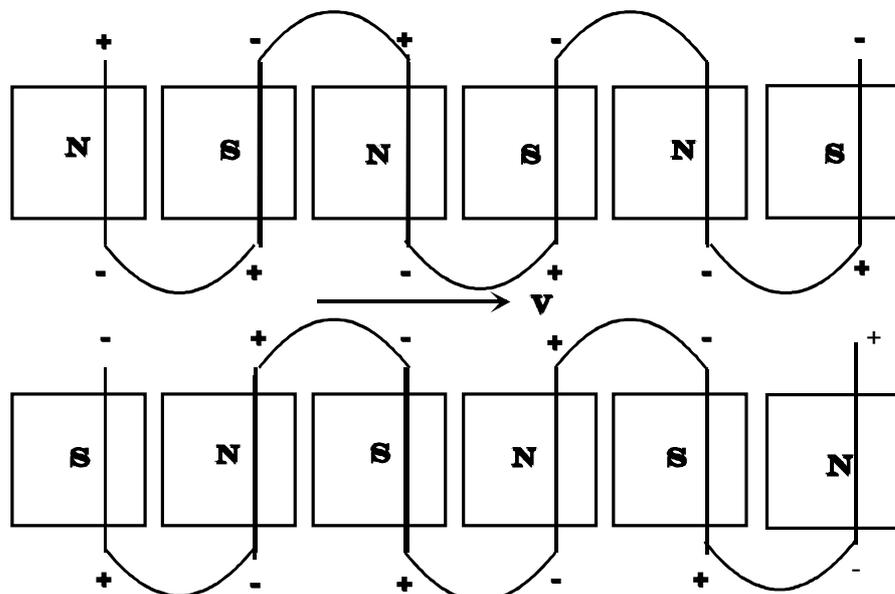
### **Fem inducida en una serie de conductores paralelos debida a imanes móviles.**

Supongamos un conjunto de imanes de igual tamaño y equidistantes entre si, con los polos alternados, que se mueven con velocidad **v** por delante de un conjunto de segmentos conductores paralelos y equiespaciados, tal como se muestra en los dibujos

siguientes. Según la Ley de Lorentz, la polaridad de cada segmento es la representada en los dibujos



La polaridad inducida en los segmentos debido al movimiento de los imanes, permite unirlos conforme se muestra en los dibujos siguientes



La fuerza electromotriz inducida entre los extremos de todos los segmentos será la suma de la inducida en todos ellos, y como es la misma en cada uno de los segmentos, la fem total será la inducida en uno de ellos, por el número de segmentos:

$$\varepsilon = n v B l$$

donde **n** es el número de segmentos y **l** es la longitud de uno de ellos.

Si los imanes se mueven con un movimiento circular frente a los segmentos, la fem inducida será

$$\varepsilon = \omega r B n l$$

Como en la pregunta anterior, si se desea expresar  $\omega$  en rpms, la expresión para el valor eficaz de la fem inducida en el conjunto de segmentos será

$$\varepsilon_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2\pi}{60} (\text{Rpm}) r B n l = 0.074 (\text{Rpm}) r B L$$

donde **r** es el radio de giro de los imanes, **B** el campo magnético y **L** es la longitud total de los **n** segmentos, esto es  $n l = L$ .