

CAPITULO V

EL GALVANOMETRO DE D'ARSONVAL

5.1 INTRODUCCION.

En la industria existen actualmente una gran cantidad de instrumentos eléctricos de aguja capaces de medir los parámetros más variados: corriente, voltaje, temperatura, presión, etc. Desde el punto de vista puramente externo (lo que podemos observar si nos acercamos a un panel donde están dichos instrumentos de medición, como el presentado en la Figura 1) todos ellos presentan ciertas características en común: Constan de una escala graduada en las unidades correspondientes y de una aguja indicadora mediante la cual podemos realizar la lectura de la variable en un momento dado.

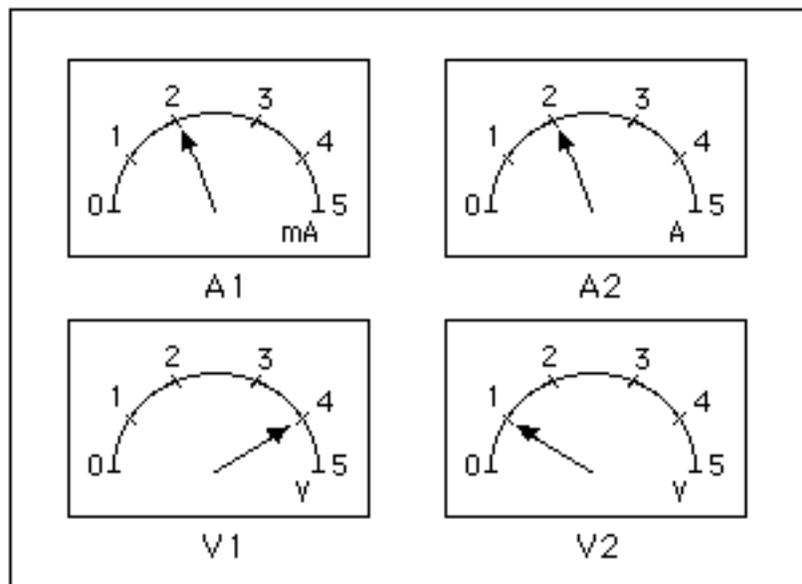


Fig. 1.-Panel de medición

Desde el punto de vista del funcionamiento, todos estos instrumentos se basan en la utilización de un mismo dispositivo: el galvanómetro de D'Arsonval, cuya principal característica es producir la deflexión de una aguja cuando a través de él circula una corriente continua, proporcional a la magnitud de la variable que se está midiendo.

5.2 FUNCIONAMIENTO.

La operación de este dispositivo se basa en la interacción de una corriente eléctrica DC y un campo magnético fijo. Los elementos básicos son:

- Una bobina móvil, a través de la cual circula la corriente DC.
- Un imán, que produce el campo magnético fijo.
- Un resorte, cuya función es servir de mecanismo equilibrador de la rotación de la bobina.
- Una aguja indicadora sujeta a la bobina móvil y una escala graduada mediante las cuales podemos realizar la lectura.

En la Figura 2 podemos observar la ubicación de estos elementos. La bobina móvil se encuentra en el campo magnético fijo producido por el imán permanente.

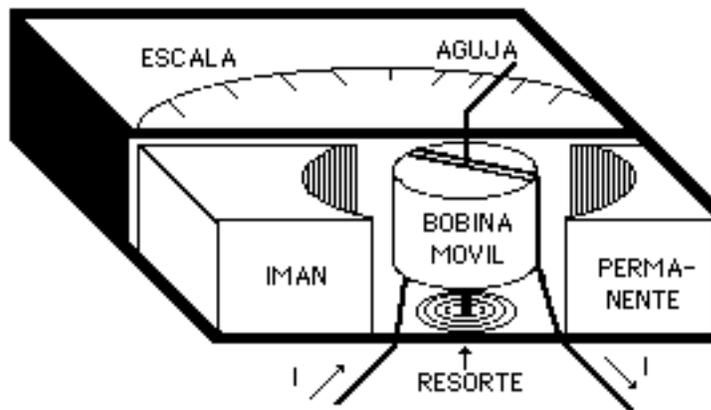


Fig. 2.- Galvanómetro de D'Arsonval

En términos generales podemos explicar el funcionamiento del galvanómetro de la siguiente forma:

Al circular la corriente I a través de la bobina, se produce un campo magnético que interactúa con el producido por el imán permanente, originando una fuerza F , la cual da lugar a un torque que hace girar la bobina en un sentido determinado. El movimiento de la

bobina está compensado por el resorte. La constante de dicho resorte determina el ángulo girado de la bobina para una corriente dada. Una vez definidas la magnitud del campo magnético B , la constante del resorte y la disposición más adecuada de los elementos, el ángulo que gira la bobina móvil (y por lo tanto la aguja indicadora) es proporcional a la corriente I que circula por el galvanómetro.

Vamos a analizar ahora el funcionamiento del galvanómetro más detalladamente.

Supongamos que la bobina consta de una sola espira, a través de la cual está circulando una corriente I , como se indica en la Figura 3.

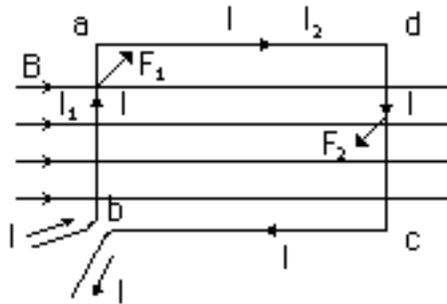


Fig. 3.- Espira de una bobina en el campo magnético del imán permanente

El campo B es perpendicular a la normal de la superficie de la espira. En el lado a-b, para un diferencial de longitud dl_1 , la fuerza producida por la interacción de la corriente I con el campo magnético B está dada por la siguiente relación:

$$\vec{F}_1 = I (l_1 \times \vec{B}) \quad (5.1)$$

La fuerza total en dicho lado es la integral de F_1 , a lo largo de l_1 . Como B e I son constantes, y la dirección de B es perpendicular a la de I , obtenemos:

$$\vec{F}_1 = I B l_1 \vec{u}_F \quad (5.2)$$

La dirección de \vec{F}_1 , o sea \vec{u}_F es perpendicular a la página, y su sentido es hacia dentro de la misma. En el lado c-d se produce una fuerza \vec{F}_2 , de la misma magnitud que la anterior pero de sentido

contrario. La Figura 4 presenta una vista superior de la espira en el campo magnético del imán permanente.

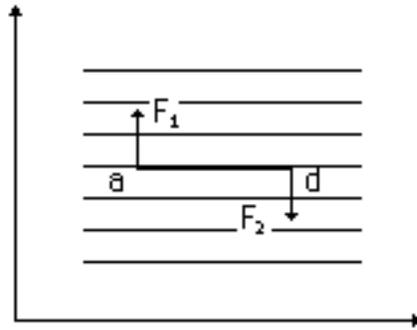


Fig. 4.- Vista superior de la espira

El par de fuerzas \vec{F}_1 y \vec{F}_2 no pueden producir desplazamiento de la espira debido a sus direcciones, pero originan un torque que da lugar a una rotación de dicha espira. La magnitud de dicho torque es:

$$T = I B l_1 l_2 \quad (5.3)$$

ya que l_2 es la separación entre ambas fuerzas. El producto $l_1 l_2$ es el área de la espira (A), por lo que la expresión de la magnitud del Torque puede escribirse también de la siguiente forma:

$$T = I B A \quad (5.4)$$

Este torque, como hemos dicho anteriormente va a producir una rotación de la bobina, por lo que instantes después de haber hecho circular la corriente I por la espira, la posición de la misma con respecto al campo magnético es la mostrada en la Figura 5.

La dirección de la corriente I en los lados a-b y c-d es perpendicular a la página, por lo que la dirección de las fuerzas F_1 y F_2 es la indicada en la Figura 6.

Estas fuerzas se pueden descomponer en dos: La componente perpendicular al plano de espira y la paralela a dicho plano, como observamos en la Figura 7. De ellas solamente la primera va a producir el torque que va a hacer girar la espira.

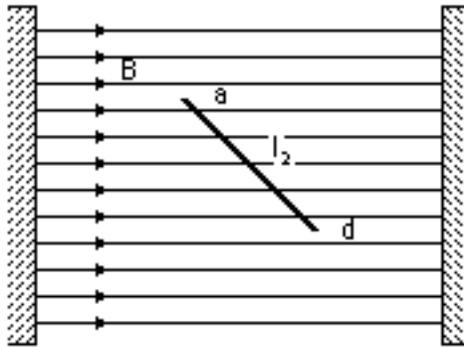


Fig. 5.- Rotación de la espira en el campo magnético del imán permanente.

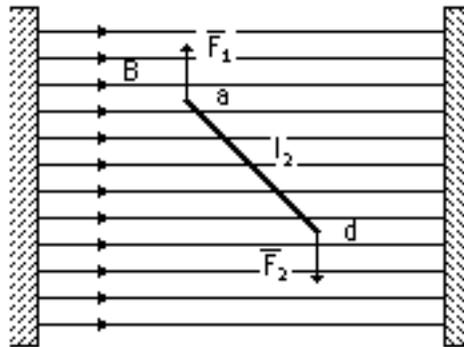


Fig. 6.- Dirección de las Fuerzas \vec{F}_1 y \vec{F}_2 .

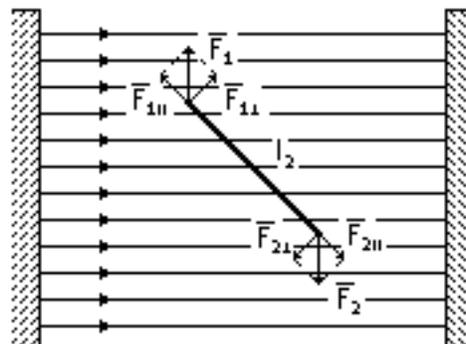


Fig. 7.- Componentes de las fuerzas \vec{F}_1 y \vec{F}_2 .

Las magnitudes de las componentes perpendiculares al plano de la espira son:

$$F_1 = F_1 \cos \theta \quad (5.5)$$

$$F_2 = F_2 \cos \theta \quad (5.6)$$

por lo que el torque ejercido sobre dicha espira tiene ahora la siguiente magnitud:

$$T = I B A \cos \theta \quad (5.7)$$

Debido a dicho torque, la espira va a seguir girando en la misma dirección en la que lo estaba haciendo, por lo que el ángulo θ va a ir aumentando y en consecuencia las magnitudes de F_1 , F_2 y T van a ir disminuyendo hasta hacerse cero cuando $\theta = 90^\circ$. En este instante como $T=0$, cesa la rotación y la espira queda en reposo en la posición mostrada en la Figura 8.

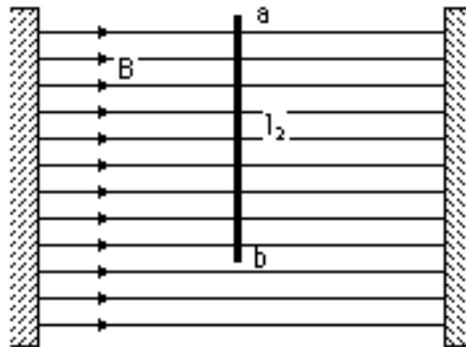


Fig. 8.- Espira en reposo

Observemos que este proceso va a ocurrir independientemente del valor de la magnitud de la corriente. Podemos concluir que toda espira ubicada en un campo magnético B y a través de la cual esté circulando una corriente I , va a rotar hasta ubicarse en forma tal que el campo magnético sea perpendicular a su plano.

Por lo tanto surge inmediatamente la siguiente pregunta: ¿Qué podemos hacer para que la rotación de la espira sea proporcional a la magnitud de la corriente en lugar de ser siempre de 90° ?

La solución es colocar en el eje de giro de la bobina móvil un resorte en espiral dispuesto de tal manera que se oponga al giro de la bobina móvil con un torque T_R igual a:

$$T = S \theta \quad (5.8)$$

donde S es la constante del resorte y θ el ángulo girado por la espira. La ubicación del resorte es la mostrada en la Figura 9.

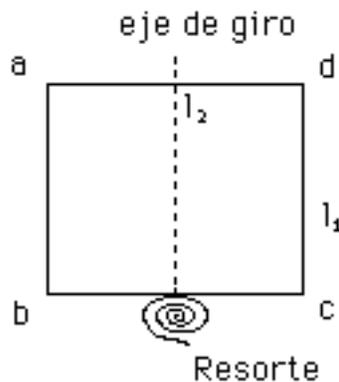


Fig. 9.- Ubicación del resorte

En este caso, para una corriente dada I , el torque ejercido por la interacción del campo magnético B con el producido por la corriente I será contrarrestado por el torque del resorte, hasta llegar a una posición de equilibrio, en la cual:

$$T = T_R \quad (5.9)$$

$$I B A \cos \theta = S \theta \quad (5.10)$$

En la ecuación anterior podemos observar que para cada valor de corriente I habrá un ángulo determinado (ya que B , A y S son constantes). Pero también podemos observar otro hecho: el ángulo no es proporcional a la corriente I . Para que lo fuera sería necesario que no existiese el término $\cos \theta$.

La forma de resolver este inconveniente es introducir la espira en un campo magnético radial, lo cual se logra por una parte curvando

las caras de los polos del imán como se muestra en la Figura 10, y por otra montando la espira sobre un núcleo de material ferromagnético.

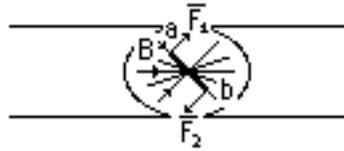


Fig. 10.- Espira en un campo magnético radial

En este caso las fuerzas \bar{F}_1 y \bar{F}_2 son en todo momento perpendiculares al plano de la espira, por lo que la ecuación (5.10) queda reducida a:

$$I B A = S \quad (5.11)$$

$$= B A I / S \quad (5.12)$$

Como podemos observar, el ángulo girado por la espira es proporcional a la corriente I , ya que B , A y S son constantes.

Si en lugar de utilizar una sola espira empleamos una bobina de n espiras, la ecuación de la magnitud de la fuerza es:

$$F = n B I l_1 \quad (5.13)$$

Por lo que la ecuación del ángulo de desplazamiento en función de la corriente es:

$$= n B A I / S \quad (5.14)$$

Ya disponemos de un dispositivo que gira un ángulo dado cuando circula una corriente a través de él, y cuyo ángulo de giro es proporcional a la magnitud de la corriente. La forma de visualizar esta rotación es colocar una aguja en la parte superior de la bobina, y ubicar convenientemente una escala calibrada en las unidades apropiadas, como se muestra en la Figura 11.

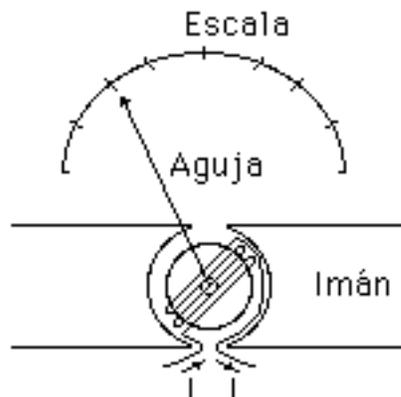


Fig. 11.- Aguja asociada a la bobina móvil y escala calibrada.

La separación angular existente entre el mínimo y el máximo de la escala del galvanómetro es generalmente de 90° o un poco menos, de acuerdo con el diagrama presentado en la Figura N° 12.

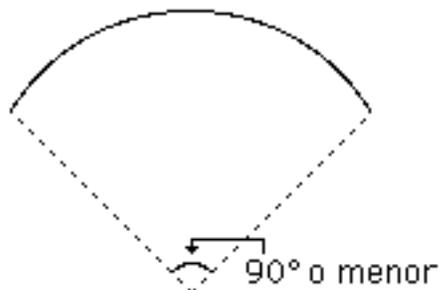


Fig. 12.- Separación angular en la escala de un galvanómetro

Por último vamos a indicar algunas consideraciones de índole práctica sobre el diseño y utilización del galvanómetro.

La posición de la aguja correspondiente a cero corriente puede encontrarse en el centro de la escala o en el extremo izquierdo de la misma. El empleo de una u otra configuración depende de la utilización para la cual esté destinado el galvanómetro.

La corriente máxima que puede circular por un galvanómetro depende del diseño del mismo pero generalmente es del orden de las decenas o cientos de microamperes.

En cuanto a la linealidad de la escala, como el ángulo de rotación de la bobina, y por lo tanto el de la aguja, es teóricamente proporcional al valor de la corriente que circula por el instrumento, la escala es lineal.

Ahora bien, hemos visto que para conseguir esta proporcionalidad es necesario que el campo magnético producido por el imán sea radial con respecto al eje de rotación de la bobina, lo cual es estrictamente cierto en la región central de la escala, pero no en la que se encuentra próxima a los extremos del imán, por lo que la escala del galvanómetro es lineal en su parte central pero pierde linealidad hacia sus extremos.



Fig. 13.- Zonas donde se reduce la linealidad del galvanómetro

Con respecto a la construcción mecánica, la bobina móvil está soportada por dispositivos que presentan muy baja fricción, como por ejemplo cojinetes de rubíes, y la aguja indicadora está balanceada para asegurar una rotación uniforme. Hay algunos detalles que pueden ser diferentes de acuerdo con la aplicación para la cual esté destinado el galvanómetro.

En algunos galvanómetros de precisión se coloca un espejo debajo de la escala para poder realizar las lecturas evitando en lo posible el error de paralaje.