



SENSORES Y ACONDICIONADORES

TEMA 8

SENSORES ELECTROMAGNETICOS

Profesores: Enrique Mandado Pérez
Antonio Murillo Roldan

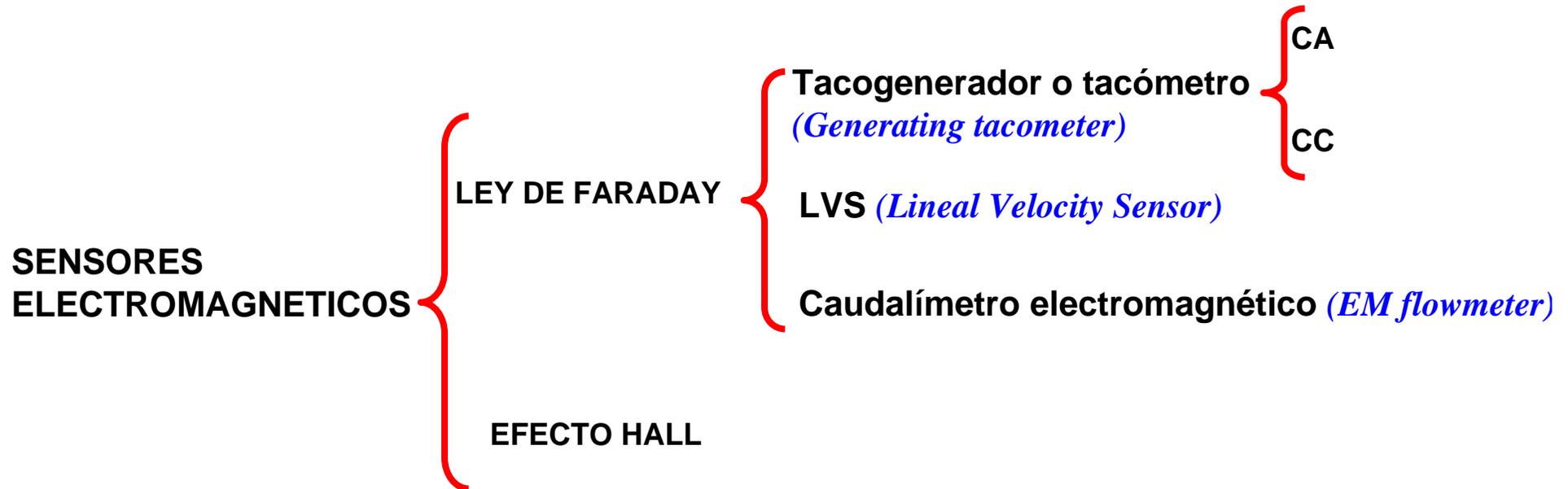


DEFINICIÓN [PALL98 pag 218] [PERE04 pag. 325]

Los sensores electromagnéticos (*Electromagnetic sensors*) están basados en la variación de un campo magnético o de un campo eléctrico sin modificar la inductancia o la capacidad.

Se pueden clasificar en:

- Sensores basados en la ley de Faraday (*Faraday's law based sensors*).
- Sensores basados en el efecto Hall (*Hall effect sensors*).





SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

FUNDAMENTOS

Si un flujo magnético Φ que varía con el tiempo atraviesa una bobina de N espiras, se genera una tensión:

$$e = -N \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

La variación de Φ se puede lograr:

- Generando Φ mediante una **corriente variable**.
- **Variando la posición de la bobina** con respecto a un flujo magnético Φ constante.



SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

TACÓMETRO DE ALTERNA

Fundamentos (I)

Su funcionamiento está basado en el mismo principio físico que los generadores de corriente alterna. Los más utilizados están constituidos por un rotor de imanes permanentes y una bobina de N espiras en el estator.

El flujo que atraviesa la bobina depende en cada instante de la posición del rotor y cumple la ecuación:

$$\phi = NBA \cos \theta$$

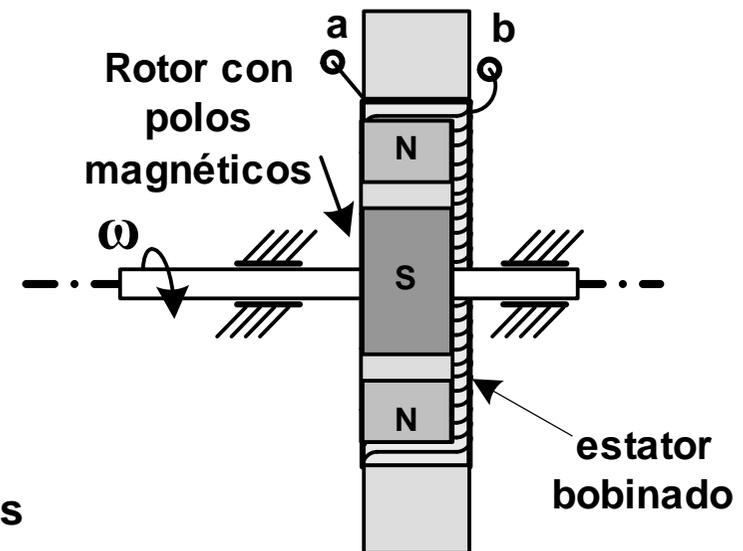
en la cual N es el nº de espiras

B es la intensidad del campo en Teslas

A es el área de la espira

θ es el ángulo que forma el campo

con el eje de la espira





SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

TACÓMETRO DE ALTERNA [PALL 98 pag 219]

Fundamentos (II)

Es un generador de tensión alterna.

La tensión que se genera en el estator es:

$$V_{ab} = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d(BA \cos \theta)}{dt}$$

Si B y A son constantes, resulta:

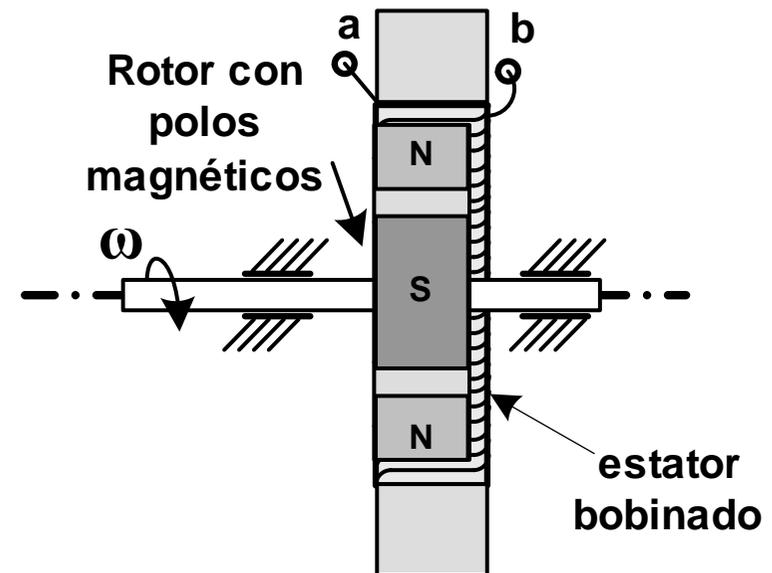
$$V_{ab} = NBA \sin \theta \frac{d\theta}{dt}$$

Teniendo en cuenta que $\frac{d\theta}{dt} = \omega = 2\pi n$

(n = velocidad de giro en vueltas/seg)

si ω = constante, finalmente resulta:

$$V_{ab} = NBA \omega \sin \omega t$$



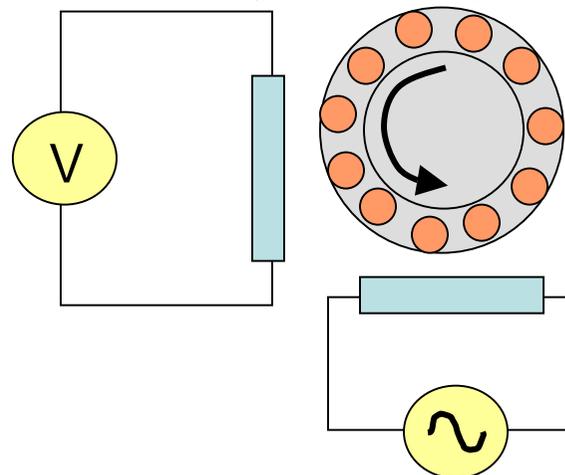


SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

TACÓMETRO DE ALTERNA

CARACTERÍSTICAS

- La tensión de salida de un tacómetro de alterna es variable tanto en amplitud como en frecuencia. Debido a ello es poco práctico para medir velocidades de rotación pequeñas porque la tensión de salida también lo es.
- Para reducir el efecto de la temperatura se puede incluir un termistor linealizado en serie con el devanado primario, a fin de lograr un coeficiente total de temperatura prácticamente nulo.
- Se utilizan para medir velocidades angulares inferiores a 8000 rpm.
- En algunos modelos se sustituye el imán permanente por un devanado de excitación





SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

TACÓMETRO DE CONTINUA

Se puede realizar

- **Mediante un generador de continua o dinamo (dinamo tacométrica).**
- **Mediante un generador de alterna o alternador (tacómetro de alterna) seguido de un rectificador y un filtro.**





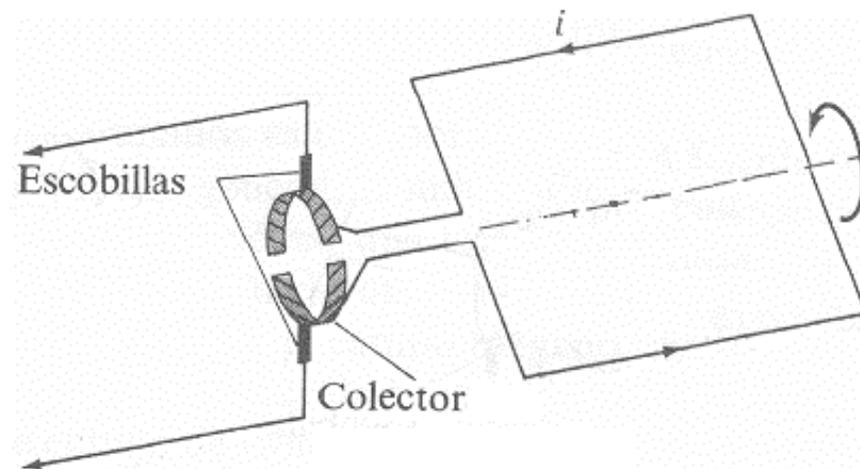
SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

TACÓMETRO DE CONTINUA IMPLEMENTADO CON UNA DINAMO TACOMÉTRICA

Posee un estator de imanes permanentes y bobinas en el rotor.

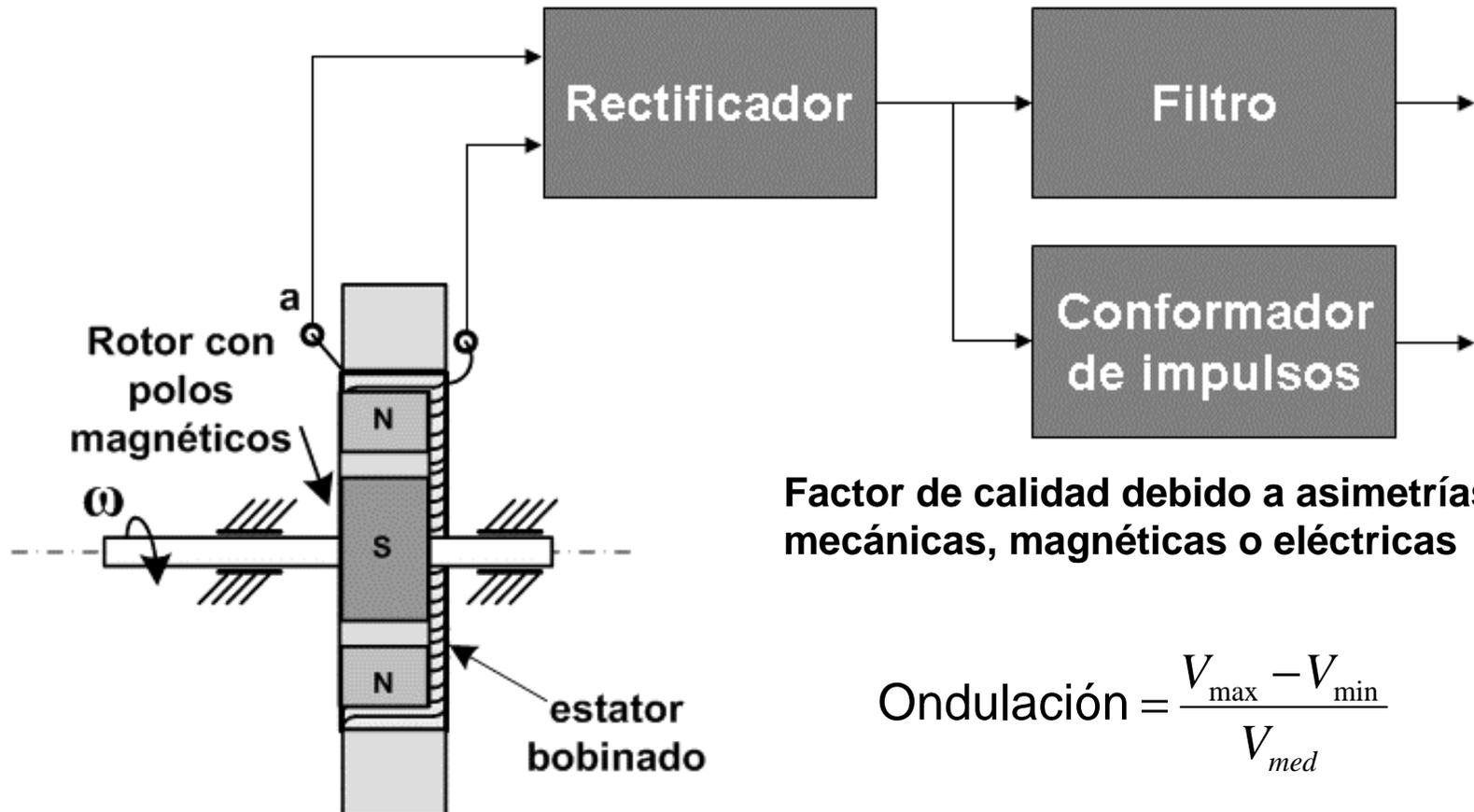
Realiza una rectificación electromecánica de la tensión alterna, mediante un colector con escobillas.

No se utiliza actualmente debido al desgaste que sufren el colector y las escobillas.





SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY TACÓMETRO DE CONTINUA IMPLEMENTADO CON UN GENERADOR DE ALTERNA





SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

TACÓMETRO DE RELUCTANCIA VARIABLE

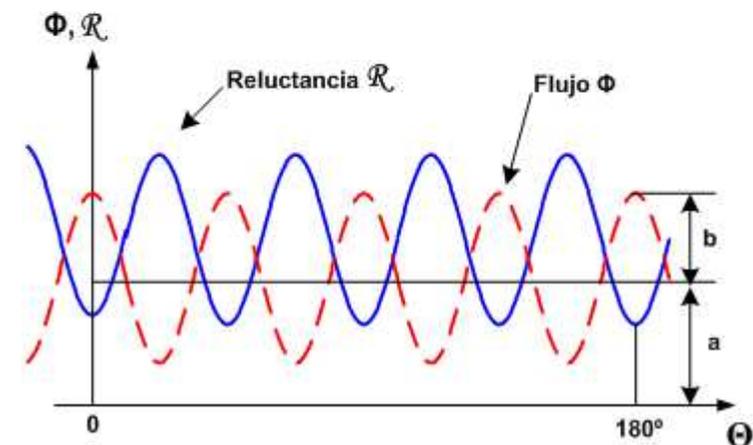
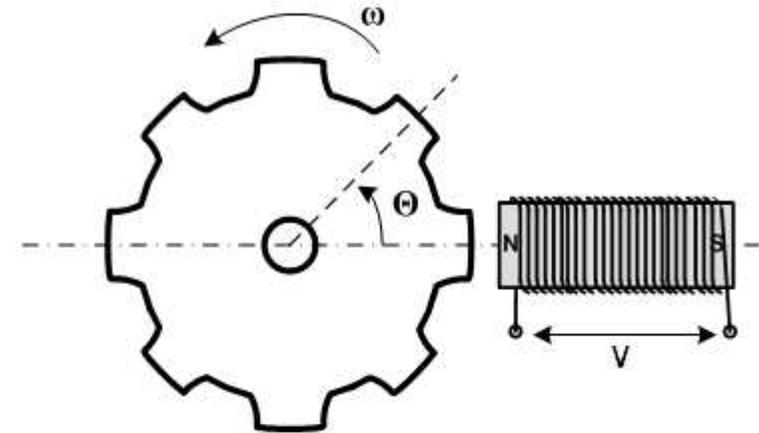
Está constituido por una rueda dentada de material ferromagnético y un imán permanente sobre el que se coloca una bobina.

Al girar la rueda varía la reluctancia R del circuito magnético y en consecuencia el flujo Φ que atraviesa la bobina.

De acuerdo con la ley de Faraday, la tensión V en bornes de la bobina es:

$$V = k\omega \sin \omega t$$

Usualmente la tensión alterna V se convierte en una onda cuadrada que se aplica a un contador.





SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

SENSOR DE VELOCIDAD LINEAL

Fundamentos

En algunas aplicaciones, como por ejemplo en la medida de vibraciones, no es posible convertir la velocidad lineal en angular y medirla mediante un tacómetro.

Por ello se han desarrollado sensores de velocidad lineal denominados LVT (*Linear Velocity Transducer*) o LVS (*Linear Velocity Sensor*)

$$e = -N \frac{\partial \phi}{\partial t} = -N \frac{\partial BA}{\partial t} = -NBl \frac{\partial x}{\partial t} = Blv$$

y por lo tanto la tensión de salida es proporcional a la velocidad.



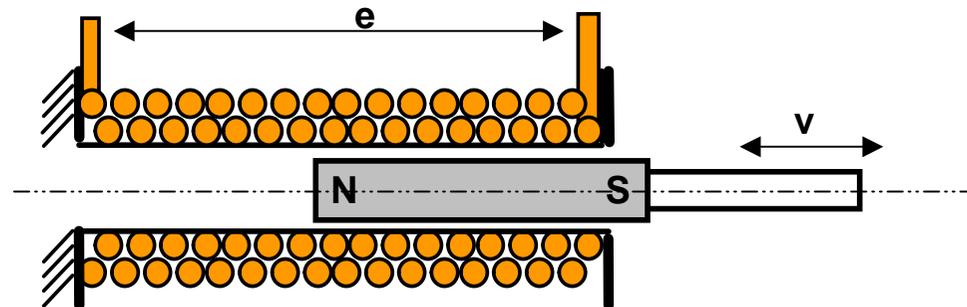
SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

SENSOR DE VELOCIDAD LINEAL (LVS)

Se puede implementar:

- Mediante un devanado móvil y un imán permanente fijo ($s = 10\text{mV/mm/s}$).
- Mediante un imán móvil y un devanado fijo ($s = 20\text{mV/mm/s}$).

Los de imán móvil son los más utilizados porque su rango de desplazamiento es mayor.



APLICACIONES

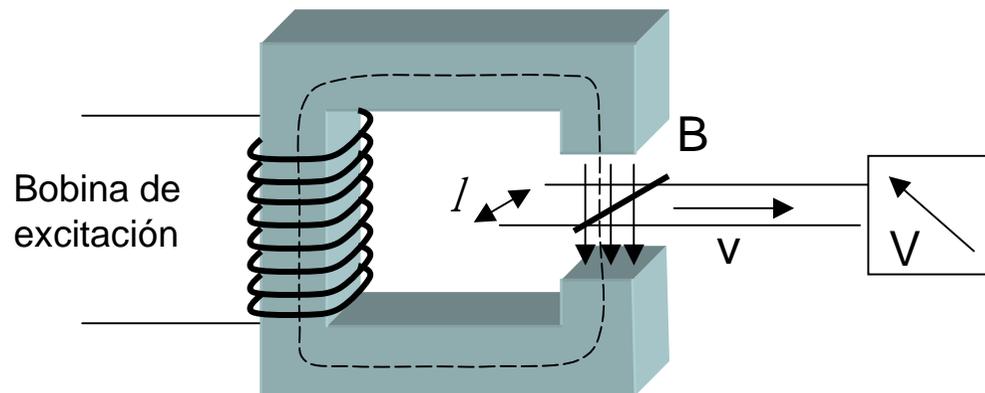
Los LVS se utilizan para medir la velocidad de vibración de sistemas inerciales (masa-resorte) en los que se producen pequeños desplazamientos lineales.



SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO

Fundamentos (I)

Se basa en el principio de inducción de Faraday: “En un conductor que se mueve perpendicularmente a las líneas de fuerza de un campo magnético, se induce una tensión eléctrica proporcional a la velocidad”.



$$V = Blv$$

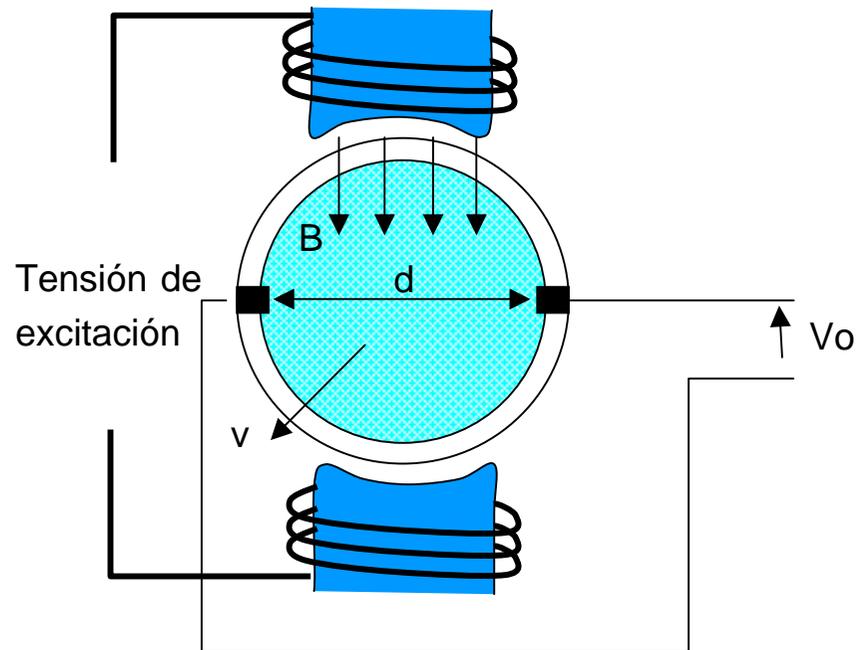
Por lo tanto, si un líquido conductor se desplaza en el seno de un campo magnético creado por una o dos bobinas externas, se genera una tensión entre dos electrodos dispuestos a 90° con respecto al flujo y al campo.



SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO

Fundamentos (II)



$$V_o = B d v$$

La tensión de salida V_o sólo es proporcional al caudal si el perfil de velocidad es simétrico con respecto al eje longitudinal y el campo magnético es uniforme.

La proporcionalidad aumenta con el tamaño de los electrodos.



SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO

CONSIDERACIONES IMPORTANTES

Para evitar que se ensucien los electrodos se pueden recubrir con un aislante lo que hace que se acoplen capacitivamente. Por ello en lugar de recubrirlos a veces se limpian desde el exterior con ultrasonidos.

Para que la medida sea válida la tubería no debe ser metálica (teflón, poliuretano, etc.) y además debe estar completamente llena.

El fluido debe ser conductor ($5 \mu\text{S/m}$ es suficiente) y por ello no se puede utilizar para medir el caudal de los hidrocarburos ni de los gases.

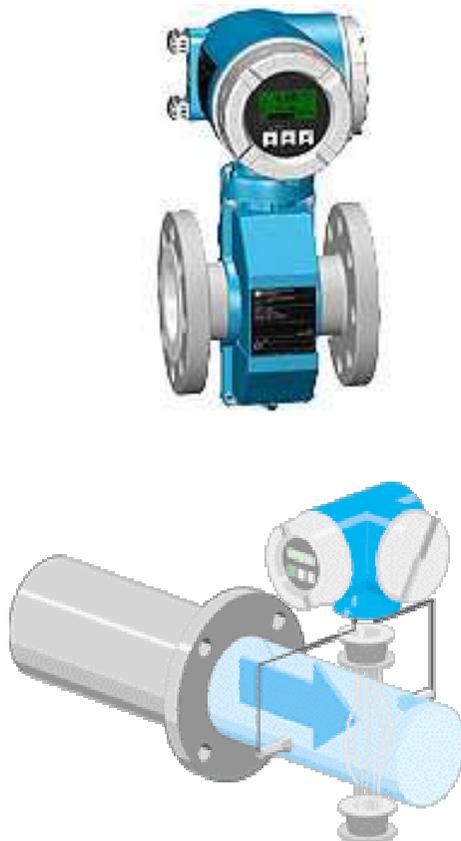
APLICACIONES

Este método de medida se utiliza en las industrias farmacéutica, alimentaria y en medicina (flujo sanguíneo en las arterias).



SENSORES BASADOS EN LA LEY DE FARADAY

CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS



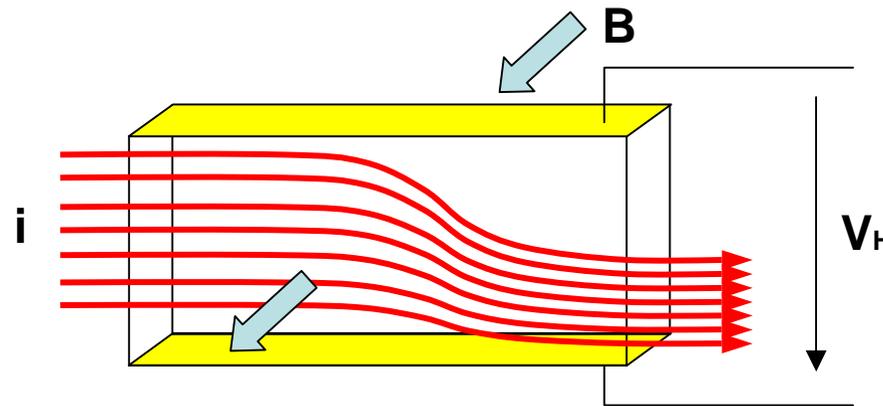


SENSORES BASADOS EN EL EFECTO HALL

EFECTO HALL

Fue descubierto por E. H. Hall en 1879.

Si un conductor o un semiconductor a través del cual circula una corriente se somete a un campo magnético perpendicular a la misma, se genera una tensión o diferencia de potencial V_H (tensión de Hall) transversal, cuyo sentido se invierte al hacerlo el sentido del campo magnético o el de la corriente.



Ello es debido a que sobre los portadores mayoritarios, que se desplazan bajo influencia del campo magnético, aparece una fuerza (de Lorentz) que produce una acumulación de cargas en una parte del conductor y da origen a una diferencia de potencial entre las dos caras del mismo.



SENSORES BASADOS EN EL EFECTO HALL

TENSIÓN HALL

En el caso de una lámina semiconductor

de espesor d la tensión Hall es:

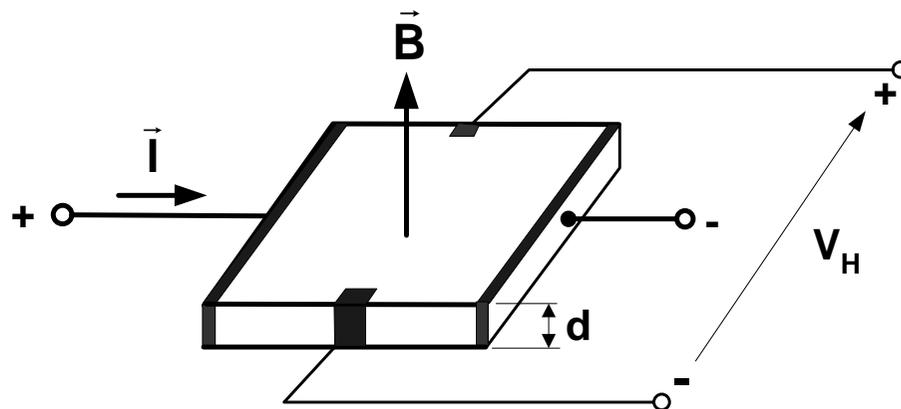
$$V_H = \frac{R_H IB}{d}$$

Si el portador es tipo P $R_H = +\frac{1}{pe}$

Si el portador es tipo N $R_H = -\frac{1}{ne}$

en las cuales:

p : densidad de huecos
 n : densidad de electrones
 e : carga del electrón



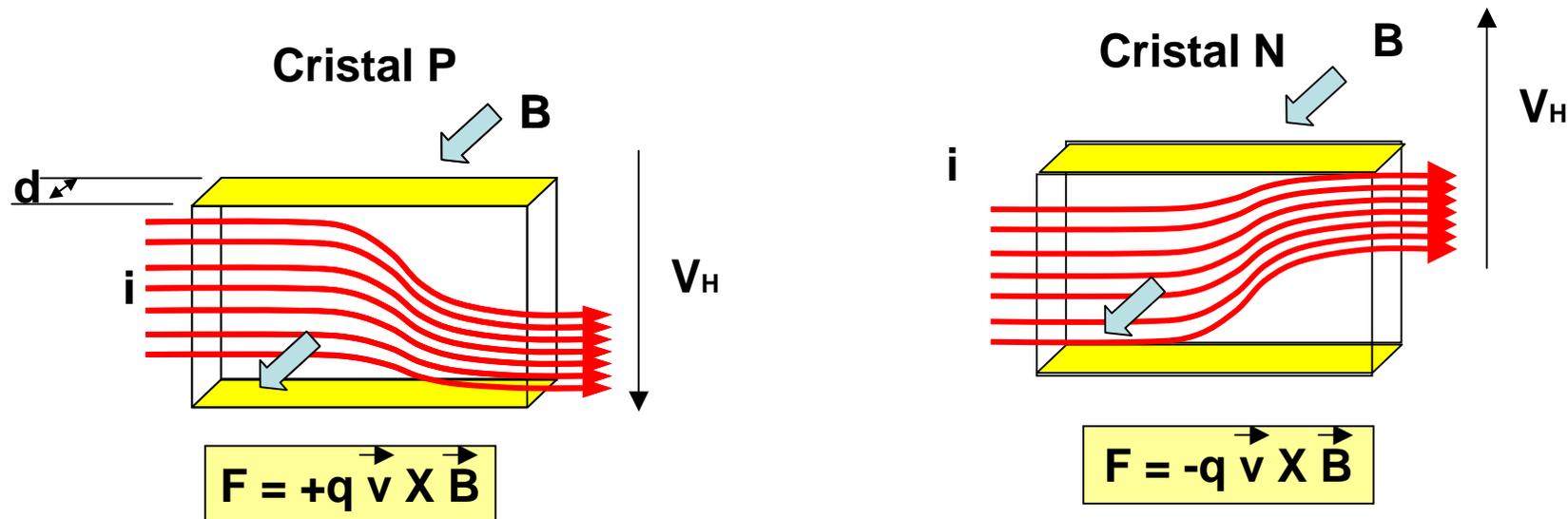


SENSORES BASADOS EN EL EFECTO HALL

La tensión Hall es directamente proporcional a la corriente eléctrica y al campo magnético y es inversamente proporcional al número de portadores por unidad de volumen (conductividad).

Por ello los sensores basados en el efecto Hall utilizan semiconductores (InSb, InAs, GaAs, Si) cuya conductividad es menor que la de los metales (Tensión Hall mayor).

La dirección de la fuerza depende del tipo de cargas que se desplazan y, debido a ello, la tensión Hall tiene distinto signo en el material de tipo P que en el N.





SENSORES BASADOS EN EL EFECTO HALL

Los sensores basados en el efecto Hall pueden ser:

- Sensores Hall de salida lineal

- Sensores Hall de salida todo/nada

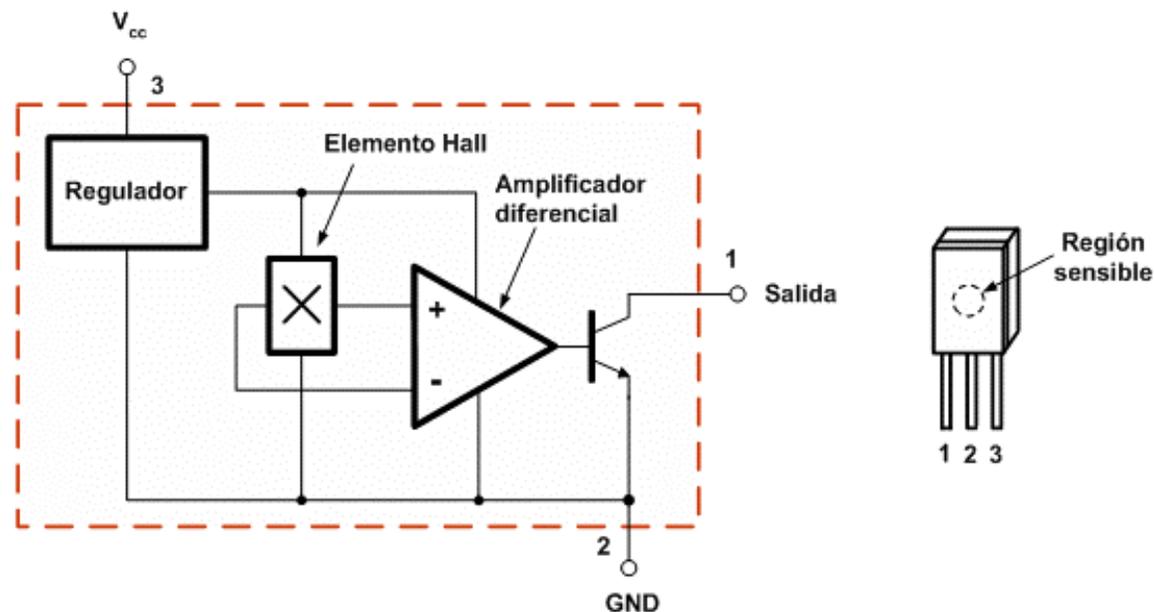


SENSORES BASADOS EN EL EFECTO HALL

SENSORES HALL DE SALIDA TODO/NADA

Generan una tensión proporcional a la corriente que circula por el sensor y al flujo magnético que lo atraviesa. Esto hace que la tensión de salida sea sólo proporcional a la corriente (si el campo magnético es constante) o al campo magnético (si la corriente es constante).

Se utilizan para medir campo magnético, intensidad de corriente (gausímetros), desplazamiento, nivel, presión, etc.



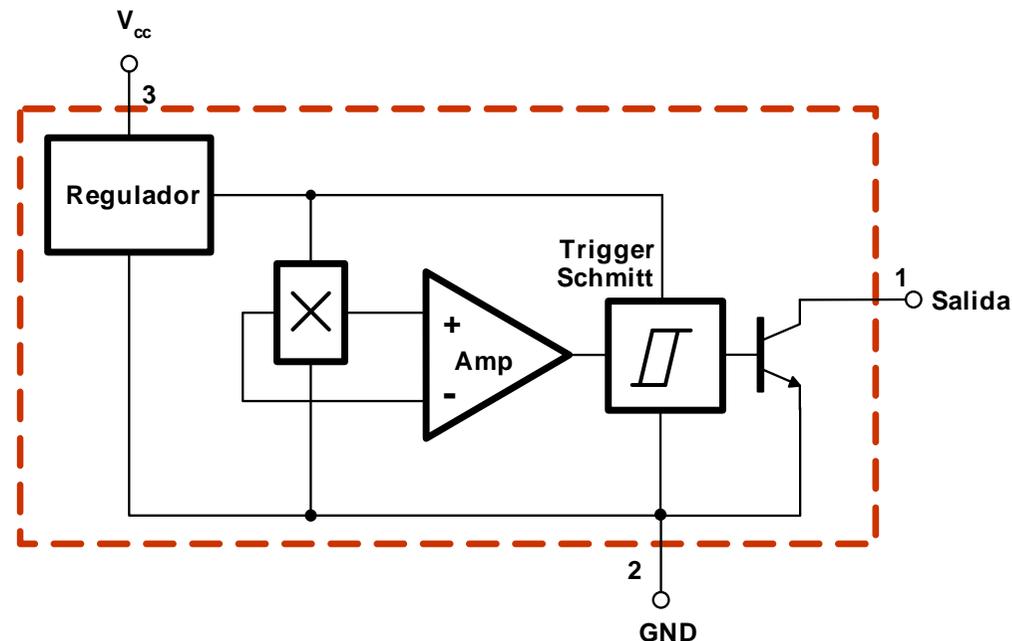


SENSORES BASADOS EN EL EFECTO HALL

SENSORES HALL DE SALIDA TODO/NADA

Trabajan en conmutación y detectan dos niveles diferenciados de intensidad del campo magnético. Su velocidad de conmutación es superior a la de los interruptores realizados con contactos y además carecen de rebotes.

Se utilizan, por ejemplo, en los interruptores de algunos teclados y en la medida de velocidad de giro.





SENSORES BASADOS EN EL EFECTO HALL

CONSIDERACIONES IMPORTANTES

El efecto Hall depende además de:

- **La presión (efecto piezorresistivo). Para evitarlo normalmente se encapsula.**
- **La temperatura, que tiene un doble efecto:**
 - **Modifica la resistencia y por ello es mejor alimentarlo a intensidad constante.**
 - **Modifica la movilidad de los portadores mayoritarios y por tanto la sensibilidad.**

Estos dos efectos tienen signo opuesto y se contrarrestan.

Debido a inexactitudes mecánicas y a la no uniformidad del material, la tensión de salida es distinta de cero cuando el campo magnético es nulo. Dicha tensión se denomina tensión de desequilibrio y se elimina mediante un electrodo adicional a través del cual se introduce una corriente.



SENSORES BASADOS EN EL EFECTO HALL

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES

- **La tensión de salida es independiente de la velocidad de variación del campo magnético (a diferencia de los sensores inductivos)**
- **Son inmunes a diversos parámetros ambientales (humedad, polvo) y estables con el tiempo**
- **Son robustos debido a la ausencia de contactos móviles lo que aumenta la vida útil y elimina interferencias.**
- **Son fiables y fáciles de reproducir.**
- **La movilidad de los portadores se puede controlar mediante la adición de impurezas.**
- **Se suelen fabricar encapsulados en forma rectangular.**



SENSORES BASADOS EN EL EFECTO HALL

APLICACIONES MÁS COMUNES

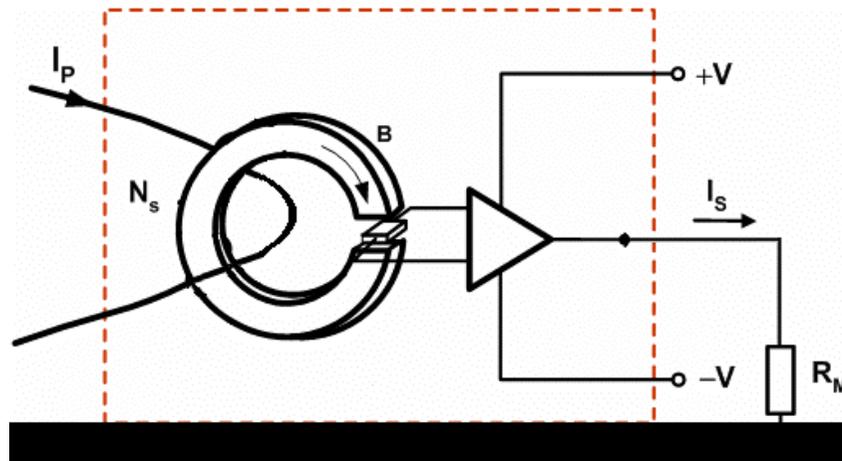
- **Medida de campos magnéticos (gausímetros)**
- **Medida de potencia ($B \times i$) (contadores y vatímetros)**
- **Medida de intensidad de corriente (trafos de intensidad)**
- **Medida de velocidad angular y conmutación**



SENSORES BASADOS EN EL EFECTO HALL

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Medida de corriente
(sensor de salida lineal)



Medida de velocidad
(sensor de salida todo-nada)

