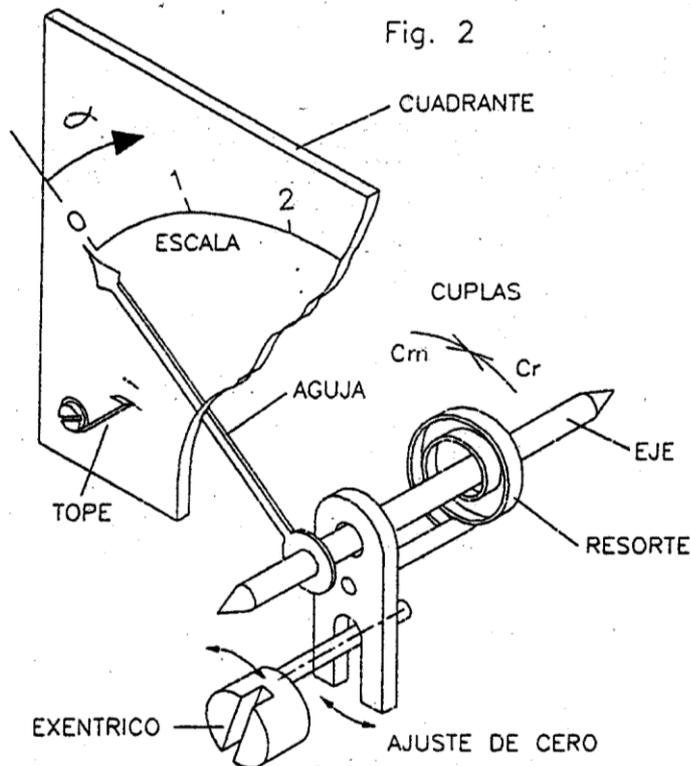


2 • PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO COMUNES A LOS INSTRUMENTOS DE HIERRO MÓVIL Y DE BOBINA MÓVIL.

Cuando no hay corriente por el instrumento, el resorte está completamente libre y la aguja indica cero, como en la figura. El ajuste a cero permite corregir eventuales desviaciones (descalibraciones del instrumento), modificando la situación del extremo fijo del resorte. Sistemáticamente, debe comprobarse la indicación del cero antes de efectuar las mediciones.



La corriente i a medir produce una cupla motriz C_m que es igual a una cierta función del valor de i :

$$C_m = f(i) \quad (1)$$

Esta cupla hace girar al eje hacia la derecha, con lo que el resorte se arrolla, oponiendo una cupla antagonista o directriz C_r que crece proporcionalmente con el ángulo de giro :

$$C_d \sim \alpha \quad (2)$$

El movimiento giratorio cesa cuando la cupla motriz es igualada por la cupla antagonista del resorte. La aguja indica entonces, sobre la escala, la medida de la corriente: $f(i) = C_m = C_d \sim \alpha$ (3)

La inercia del conjunto móvil impide las vibraciones rápidas. Por eso cuando se miden corrientes de frecuencias industriales (menores de 400 [Hz]), la aguja toma una posición estática en un ángulo α que corresponde a la cupla C_r igual al valor medio algebraico de las cuplas instantáneas C_m : $C_{m_{MED}} = C_d \sim \alpha$ (4)

Podría decirse que el conjunto móvil, con su inercia, actúa como un transformador de cuplas : La cupla rápidamente variable C_m de la entrada, queda convertida en una cupla C_r de valor uniforme aplicada en el resorte. La relación entre los valores de entrada y de salida están dados por la expresión (4).

Podría decirse que el conjunto móvil, con su inercia, actúa como un transformador de cuplas : La cupla rápidamente variable C_m de la entrada, queda convertida en una cupla C_r de valor uniforme aplicada en el resorte. La relación entre los valores de entrada y de salida están dados por la expresión (4).

3 • LA CUPLA MOTRIZ EN LOS INSTRUMENTOS DE HIERRO MÓVIL

La corriente a medir circula por una bobina fija. En el interior de la bobina se encuentran enfrentadas dos laminillas de hierro : una fija y la otra móvil, vinculada con el eje del instrumento. La corriente que se quiere medir, produce en las laminillas una débil inducción B que, por estar lejos de la saturación del hierro, resulta proporcional a la corriente : $i \sim B$ (5)

Como las fuerzas de origen magnético son proporcionales al cuadrado de la inducción, la repulsión magnética de las laminillas produce una cupla motriz C_m proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente i : $i^2 \sim B^2 \sim C_m$ (6)

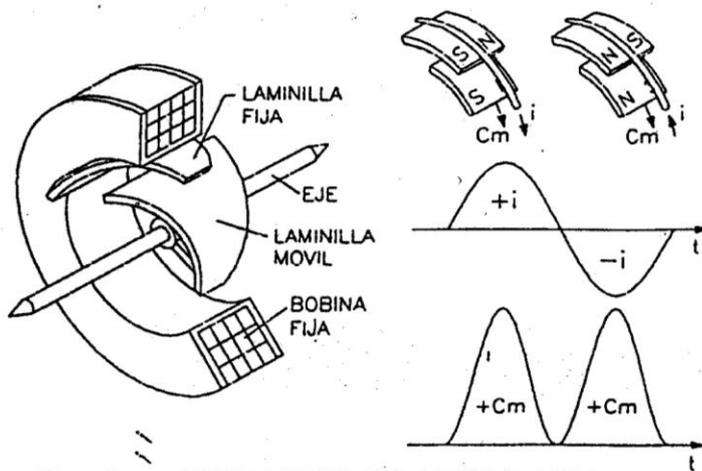


Fig. 3 - INSTRUMENTO DE HIERRO MOVIL

Para la igualación de las cuplas y detención de la aguja en la posición de medida, se cumple que :

$$i^2 \sim B^2 \sim C_m = C_r \sim \alpha \quad (7)$$

$$\text{Es decir que : } i^2 \sim \alpha \quad (8).$$

La cupla motriz es siempre positiva, cualquiera sea el sentido de la corriente, los polos inducidos en las laminillas son siempre del mismo nombre, por lo tanto se repelen. Por este motivo los bornes del instrumento no se distinguen con marca de

polaridad; pero si se denomina uno de los bornes con un cero (borne común), en aquellos instrumentos que poseen varios alcances.

Las corrientes alternadas producen una C_m pulsante, quedando aplicada sobre el resorte una cupla igual al valor medio aritmético de los valores instantáneos. Se cumple entonces que :

$$(i^2)_{MED} \sim (B^2)_{MED} \sim C_{mMED} = C_r \sim \alpha \Rightarrow (i^2)_{MED} \sim \alpha \quad (9)$$

Y como el valor medio de los cuadrados instantáneos es igual al cuadrado del valor eficaz, puede escribirse que : $I^2 \sim \alpha \quad (10)$

En resumen : Los instrumentos de hierro móvil indican el valor eficaz.

Con laminillas de forma adecuada se consiguen escalas bastante lineales.

El alcance de medida de intensidades no puede ampliarse mediante shunts; el alcance de tensión si puede multiplicarse agregando resistencias en serie.

Símbolo DIN / IRAM : 

Ventajas : Robusto, simple, barato, apto para ambas corrientes.

Desventajas : Poca sensibilidad (Alcances no inferiores a 500 [mA] - 10 [V]), escala no lineal y carente de las primeras divisiones.

Empleo : Amperímetro y Voltímetro.

4 • LA CUPLA MOTRIZ EN LOS INSTRUMENTOS DE BOBINA MÓVIL

La pequeña bobina móvil, solidaria al eje, está atravesada por el campo magnético fijo producido por un imán permanente. Este campo es uniforme y poderoso (establecido en un muy pequeño entre-hierro); si la bobina se construye con los alambres más finos, se logran alcances de tan solo 10 [μA]; y empleando alambres más gruesos, las bobinas móviles se construyen para manejar corrientes de hasta 100 [mA]. Para medir corrientes mayores se agrega el shunt, interna o externamente al instrumento. La resistencia del shunt debe ser adecuada a la del instrumento y a la deseada ampliación del alcance; puede llegarse hasta 15 [KA].

Como el campo del imán posee una inducción B constante, la cupla motriz C_m en la bobina es proporcional a la intensidad :

$$i \sim C_m = C_r \sim \alpha \quad (11)$$

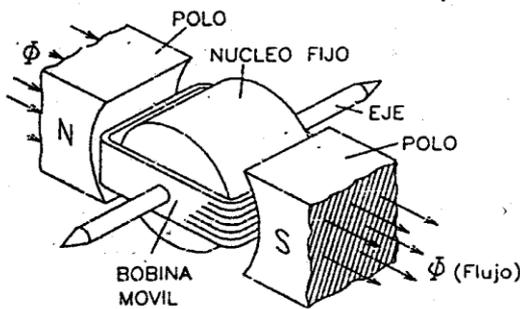


Fig. 4 - INSTRUMENTO DE BOBINA MOVIL

y la aguja indicaría cero. Esto puede subsanarse anteponiendo un rectificador. El conjunto se denomina "Instrumento de bobina móvil con rectificador". La corriente alterna sale del rectificador convertida en una corriente pulsante, que produce en la bobina móvil una cupla también pulsante.

Como se ha explicado anteriormente la inercia del sistema móvil aplica sobre los resortes una cupla de valor uniforme C_{mMED} . Como el valor medio de los valores instantáneos tomados en valor absoluto, se denomina valor medio, se tiene:

$$I_{MED} = |i|_{MED} \sim C_{mMED} = Cd \sim \alpha \Rightarrow I_{MED} \sim \alpha \quad (12)$$

Por esto, la indicación de los instrumentos de bobina móvil con rectificador depende del valor medio de la corriente alterna. Pero como lo que interesa generalmente es el valor eficaz, la escala viene graduada en valores eficaces que corresponderían a una corriente sinusoidal. Es decir que se acepta a priori un factor de forma de: $\frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$.

Si se mide una corriente de diferente factor de forma, la indicación del instrumento es errónea.

Ejemplo: Sea una indicación $I_b = 2,22 [A]$

1 - Esto significa, en todos los casos que el valor medio vale:

$$I_{MED} = I_b / 1,11 = 2,22 / 1,11 = 2 [A]$$

2 - La exactitud del valor eficaz indicado $I_b = 2,22 [A]$ depende de la forma de onda.

2.1 - Si la forma es sinusoidal la indicación es correcta: $I_b = I = 2,22 [A]$.

2.2 - Si la onda tiene otro factor de forma, la indicación es errónea. Por ej. si se tratase de una onda cuadrada (Factor de Forma = 1), el valor eficaz sería igual al valor medio: $I = I_{MED} = 2 [A]$. La indicación $I_b = 2,22 [A]$ tiene un error del 11,1 %.

La inclusión del rectificador en el circuito de medición produce una merma de la sensibilidad y de la precisión.

Símbolo DIN / IRAM: Bobina Móvil ; Bobina Móvil con Rectificador 

Ventajas: Gran sensibilidad, escala lineal.

Empleo: Amperímetro, Voltímetro, Ohmetro (Multímetro).

(Algunos instrumentos modernos carecen de eje: El conjunto móvil está sostenido entre cortas cintas metálicas tensadas, que forman un eje virtual).

El sentido de la cupla C_m depende del sentido de la corriente i en la bobina. Los bornes del instrumento están marcados + y - para indicar la polaridad de la corriente que produce la cupla a la derecha. (También en los instrumentos con cero central).

Si se aplicase una corriente alterna; exenta de componente continua; las cuplas a la izquierda producidas por las alterancias negativas anularían a las cuplas hacia la derecha, la cupla media sería nula

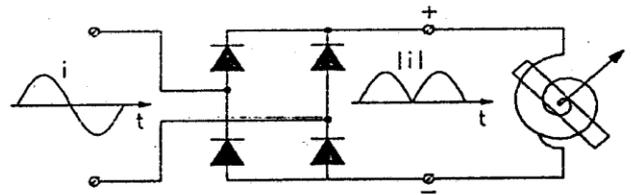


Fig. 5 - INSTRUMENTO DE BOBINA MOVIL CON RECTIFICADOR

5 • LA CUPLA MOTRIZ EN EL INSTRUMENTO ELECTRODINAMICO

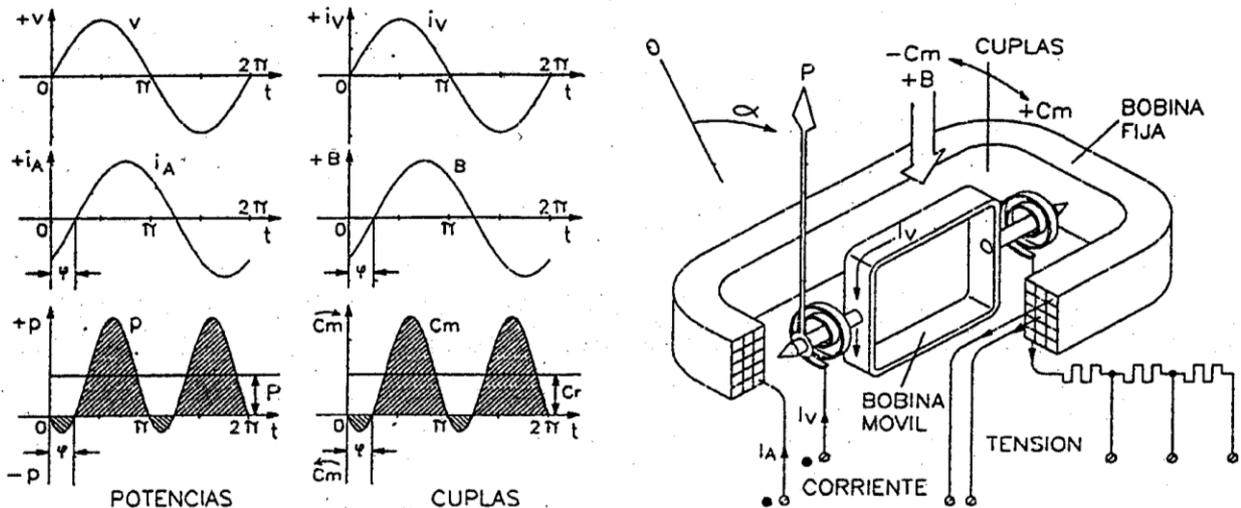


Fig. 9 - INSTRUMENTO ELECTRODINAMICO

Los instrumentos electrodinámicos están constituidos por dos bobinas cruzadas a 90° : una de las cuales es fija y la otra es móvil. La cupla motriz es producida por la interacción de los campos magnéticos producidos en ambas bobinas por la corriente que por ellas circula.

Estos instrumentos podrían utilizarse como amperímetros o voltímetros conectando ambas bobinas en serie y los shunt convenientes. Pero sin embargo su utilidad más importante es como wattímetro en la medición de la potencia eléctrica P (Potencia Activa).

En este caso la bobina fija de baja resistencia interna, se conecta en serie con la carga para que sense la corriente; por lo que se la denomina bobina amperométrica, y la bobina móvil de elevada resistencia interna, se conecta en paralelo con la carga de tal manera que sense la tensión; por lo que se la denomina bobina voltimétrica.

El campo magnético formado por la bobina fija es en todo momento, proporcional al valor instantáneo de la intensidad que la recorre; puede escribirse que: $i_A \sim B$ (13)

La intensidad en la bobina móvil es proporcional a la tensión: $i_V \sim v$ (14).

En la bobina móvil aparece una cupla cuyos valores instantáneos c_m son proporcionales al producto de la inducción y la intensidad: $c_m \sim B \cdot i_V \sim i_A \cdot v \sim p$ (15) que es proporcional al producto de la intensidad i_A en la bobina fija y la tensión v aplicada a la bobina móvil, es decir, a la potencia instantánea p .

Como la potencia activa P es el valor medio de las potencias instantáneas p , resulta que: $P_{MED} = P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \sim (c_m)_{MED}$ (16)

El sistema móvil del instrumento, por su inercia, se comporta como un convertidor de cupla: La cupla entrante, alternativa, asimétrica c_m queda convertida en una cupla de salida de valor constante $(c_m)_{MED}$ que se aplica sobre los resortes, haciéndolos ceder el ángulo α . Llamando C_r a la cupla de los resortes se tiene que:

$$(c_m)_{MED} = C_d \sim \alpha \quad (17)$$

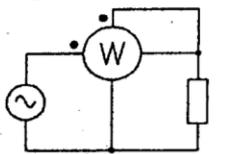
Los wattímetros de varios alcances poseen habitualmente dos alcances de intensidad y tres de tensión. Para el menor alcance de intensidad, la corriente i_A pasa por todas las espiras de la bobina fija. Y para el alcance mayor, si este fuera el doble del menor, la corriente pasa por solo la mitad de las espiras de la bobina fija (ver fig.). Los alcances de tensión se consiguen con resistencias multiplicadoras, en las que cae prácticamente toda la tensión aplicada, dada la pequeña resistencia que posee la bobina móvil.

Para que la aguja indique como positiva a la potencia consumida por la carga, los bornes se distinguen con marcas de polaridad (Asteriscos , \pm , flechas, etc.), con esta convención : El borne marcado del circuito de tensión debe estar conectado a alguno de los bornes del circuito de intensidad. (Ambas bobinas, fija y móvil, quedan así prácticamente a la misma tensión, con lo que se elimina el peligro de descarga y no hay error debido a las fuerzas producidas por el campo eléctrico); la intensidad que proviene del generador debe estar conectada al borne marcado y del borne no marcado sale la corriente para la carga.

Al igual que en el caso de medición con voltímetro y amperímetro, hay dos formas de conexión que dan distinto error, originado en el autoconsumo del instrumento : en la conexión que podría llamarse corta hay exceso de intensidad, y en la larga, exceso de tensión.

Conexión Corta :

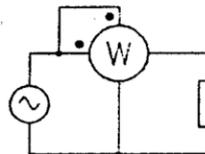
El error es negativo (indica con defecto). El error es menor si la carga tiene poca impedancia.



Generador Carga

Conexión Larga :

El error es positivo (indica con exceso). El error es menor si la carga tiene mucha impedancia.



Generador Carga

Descripción de un Wattímetro del laboratorio :

Marca GOERZ, N° 84

Alcances de Corriente : 5 y 10 [A]

Impedancias amperométricas :

	ALCANCE	
	5 [A]	10 [A]
RESISTENCIA R	70 [mΩ]	20 [mΩ]
REACTANCIAS X	16 [mΩ]	4 [mΩ]

Alcances de tensión : 150, 300 y 450 [V]

Resistencias voltimétricas :

	ALCANCE		
	150 [V]	300 [V]	450 [V]
RESISTENCIA R	5 [kΩ]	10 [kΩ]	15 [kΩ]

Consumo con tensión nominal : 9 [W]

Los alcances de potencia se hallan con el producto de los alcances de tensión y de corriente; las constantes de medición son el cociente del alcance de potencia y el N° total de divisiones de la escala. Completar el cuadro si el instrumento posee de 0 - 150 [div].

	ALCANCE DE POTENCIA -CONSTANTE		
	150 [V]	300 [V]	450 [V]
5 [A]	W - W/div	W - W/div	W - W/div
10 [A]	W - W/div	W - W/div	W - W/div

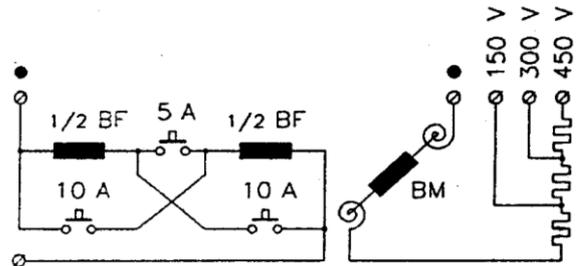
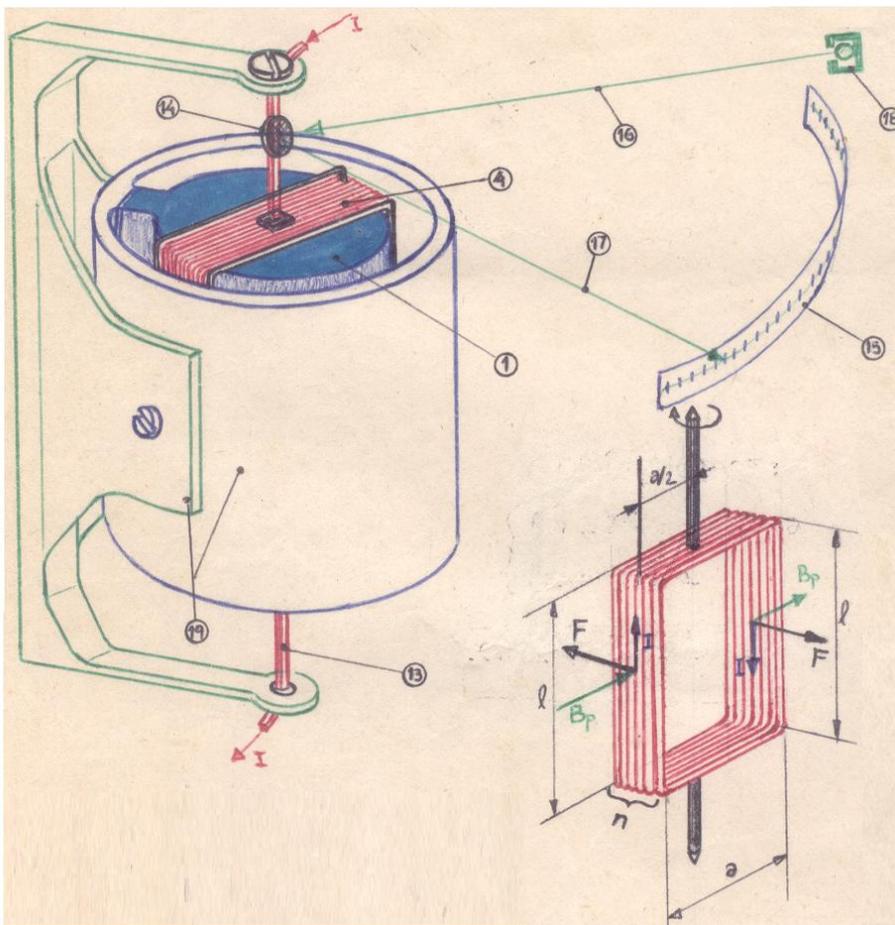
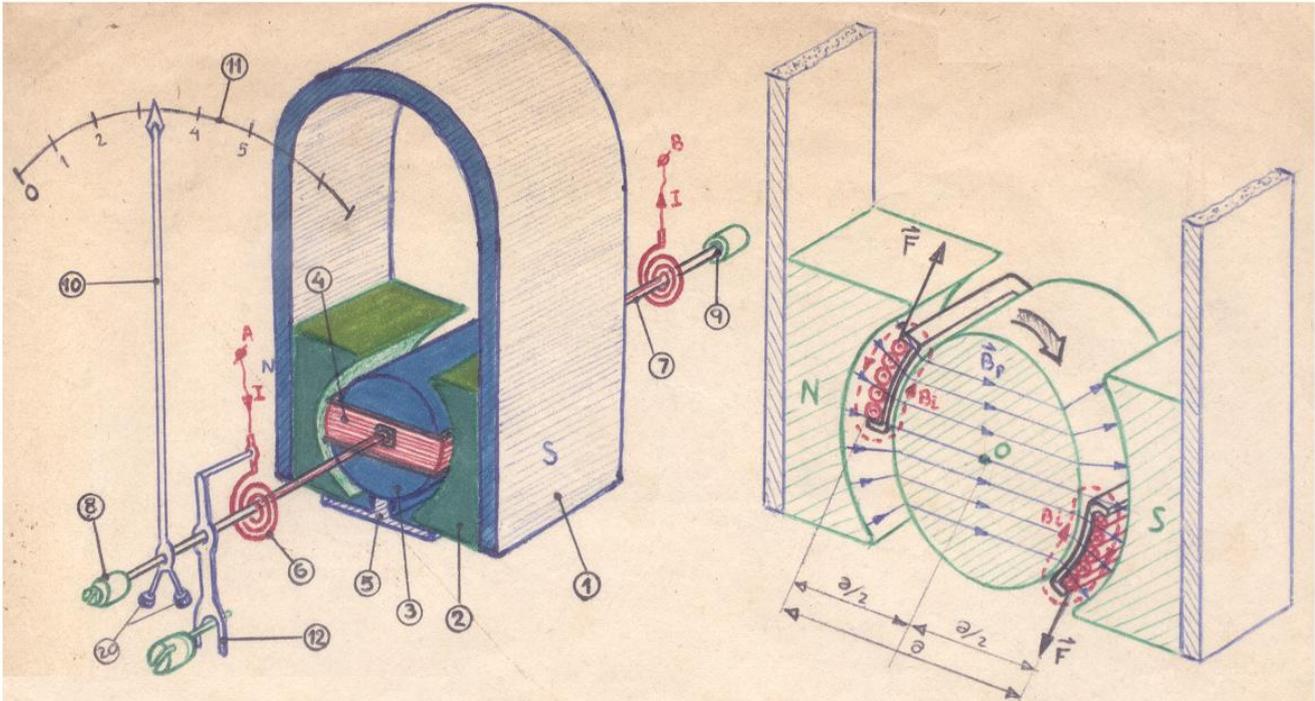


Fig. 11

INSTRUMENTO MAGNETOELÉCTRICO

Instrumento de Bobina Móvil e Imán Permanente Fijo



Cupla Motriz

$$C_m = 2 \cdot F \cdot (a / 2) \quad (1)$$

$$F = N \cdot B_p \cdot I \cdot l \quad (2)$$

Reemplazando (2) en (1):

$$C_m = N \cdot B_p \cdot I \cdot a \cdot l$$

G : Constante motora del Instrumento

$$G = N \cdot B_p \cdot l \cdot a$$

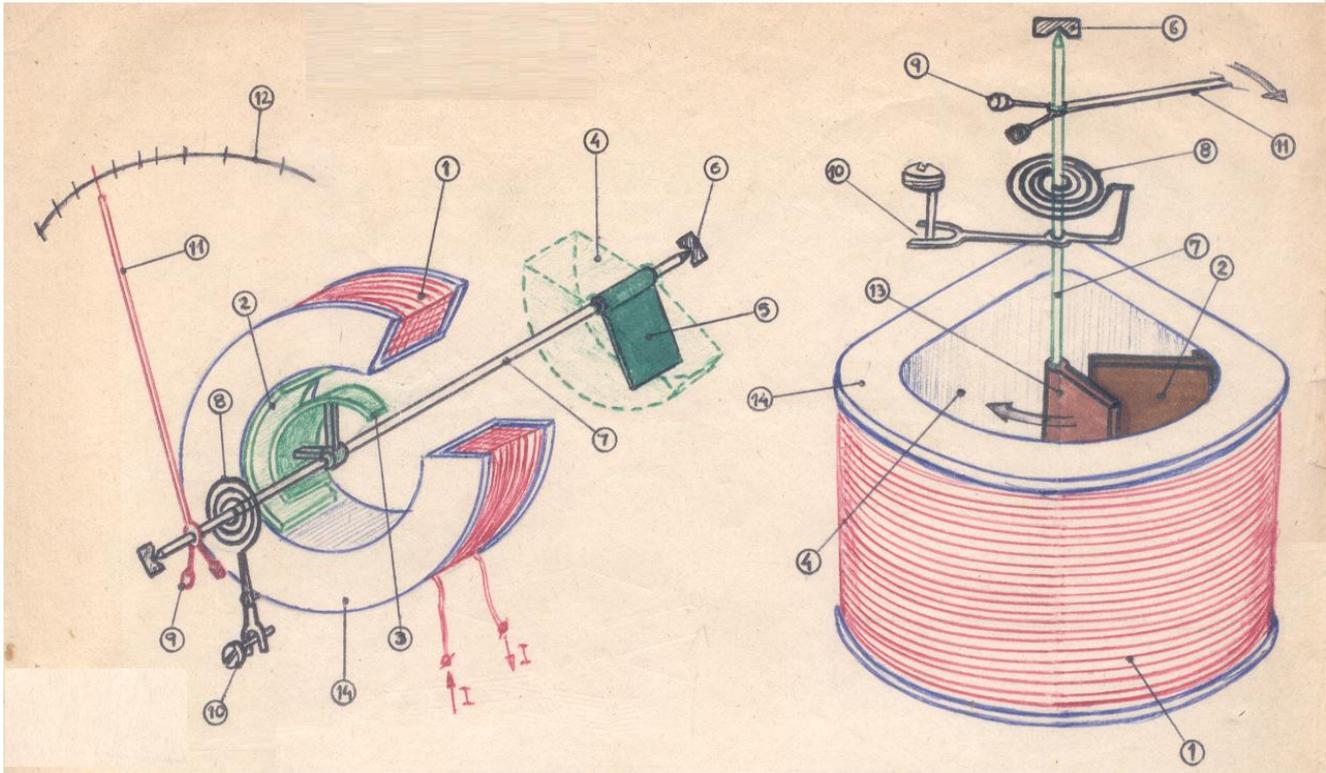
$$C_m = G \cdot I$$

Como la función es lineal, la escala también.

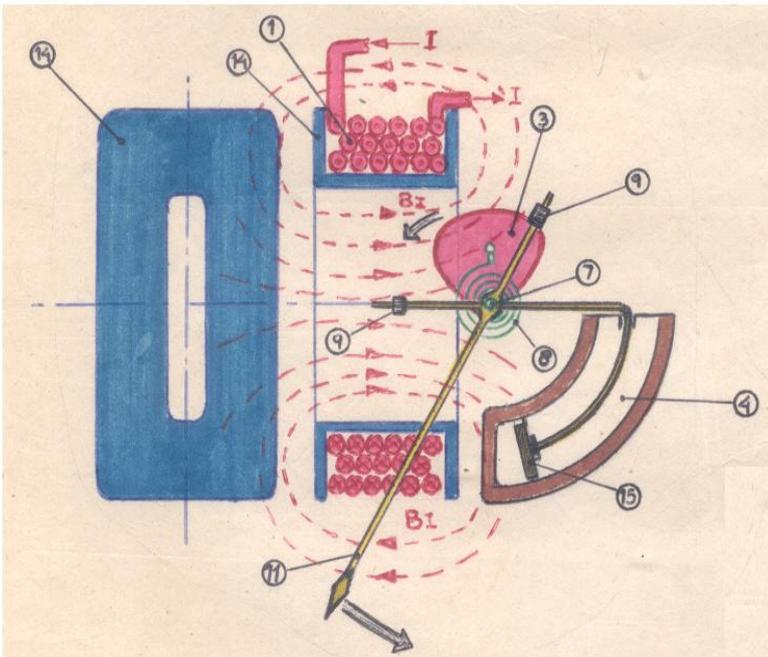
- 1) Imán permanente fijo; 2) Expansiones polares; 3) Tambor fijo de hierro dulce; 4) Bobina móvil; 5) Soporte del tambor de hierro dulce; 6) Resortes espirales, antagonistas y conductores; 7) Eje del sistema móvil, de aluminio hueco; 8) Buje; 9) Pílvot de acero duro; 10) Índice o aguja indicadora mecánica; 11) Escala; 12) Corrector de cero; 13) Hilo de torsión de sección rectangular; 14) Espejo de reflexión; 15) Pantalla con escala; 16) Índice luminoso, rayo incidente; 17) Rayo luminoso reflejado; 18) Fuente luminosa; 19) Envoltivo o soporte de hierro de baja histéresis.

INSTRUMENTO ELECTROMAGNETICO

Instrumento de Hierro Móvil de Repulsión



de Atracción

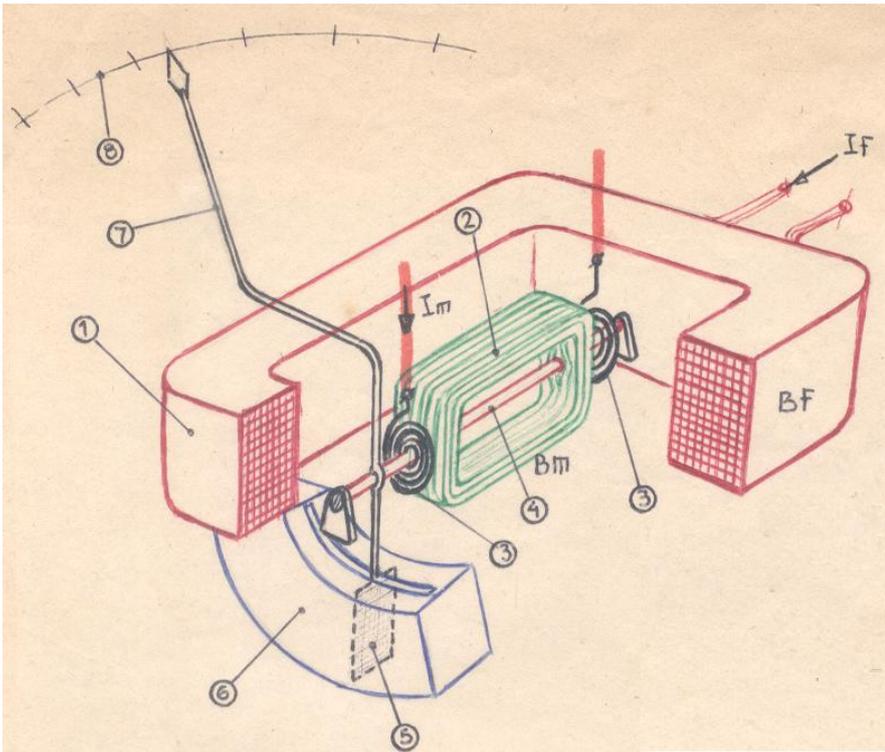


- 1) Bobina fija (inductora).
- 2) Pieza de hierro fija, solidaria con la bobina.
- 3) Pieza de hierro móvil solidaria al eje.
- 4) Cámara amortiguadora de aire.
- 5) Aleta de amortiguamiento.
- 6) Buje de apoyo.
- 7) Eje de rotación.
- 8) Resorte antagonista.
- 9) Contrapeso de regulación del momento de inercia.
- 10) Excéntrico de regulación de cero.
- 11) Índice.
- 12) Escala.
- 13) Pieza de hierro móvil y aleta de amortiguación.
- 14) Carrete de la bobina.
- 15) Pistón de amortiguamiento.

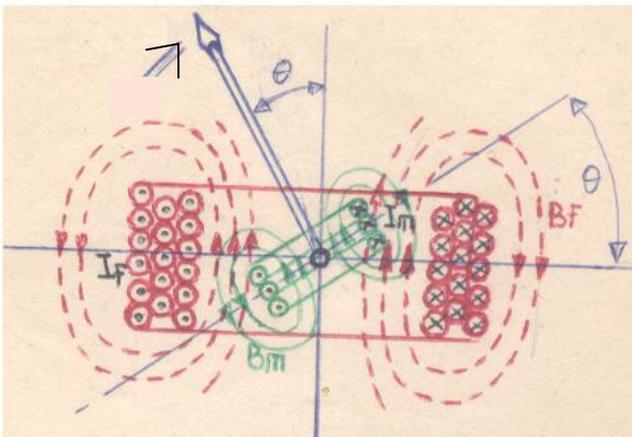
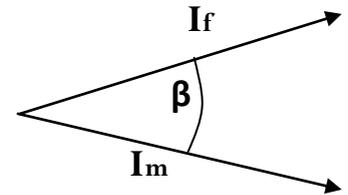
Cupla motriz:
$$Cm = \frac{1}{2} \cdot \frac{dL}{d\theta} \cdot i^2$$

donde L, representa la el coeficiente de autoinducción de la bobina donde se desplaza el sistema móvil.

INSTRUMENTO ELECTRODINAMICO



- 1) Bobina fija.
- 2) Bobina móvil.
- 3) Resortes espirales antagonistas y conductores.
- 4) Eje.
- 5) Aleta de amortiguación.
- 6) Cámara de compresión.
- 7) Índice.
- 8) Escala.



Cupla motriz:

En CC

$$C_m = I_f \cdot I_m \cdot (dM / d\theta)$$

$$\theta = (1/K_d) \cdot (dM / d\theta) \cdot I_f \cdot I_m$$

En CA

$$C_m = i_f \cdot i_m \cdot (dM / d\theta)$$

$$\theta = (1/K_d) \cdot (dM / d\theta) \cdot I_f \cdot I_m \cdot \cos\beta$$

INSTRUMENTO FERRODINAMICO

