

TEMA 1 :**GENERALIDADES SOBRE LAS MEDICIONES ELECTRICAS****INTRODUCCION :**

Las Medidas Eléctricas son una técnica auxiliar de la Electrotécnica. Las magnitudes eléctricas, tales como: La Resistencia, la Corriente, la Tensión, la Potencia eléctrica, etc. se miden con aparatos eléctricos. Otras magnitudes no eléctricas, tales como: Longitudes, fuerzas, campos magnéticos, etc. se pueden medir con instrumentos no eléctricos o eléctricos.

Si realizamos una medida con un instrumento, el valor de esta medida será:

$$\frac{\text{GRANDOR INCOGNITA}}{\text{GRANDOR UNIDAD}} = \text{VALOR MEDIDO} \left[\text{Unidad de medida} \right]$$

Esta **comparación cociente** se conoce a través de instrumentos con sus correspondientes escalas.

CLASIFICACION DE LAS MEDIDAS

MEDIDAS	[ABSOLUTAS	<	[Son aquellas que se realizan mediante la utilización de los tres patrones de medida fundamentales (Masa, Longitud, Tiempo).
		RELATIVAS	<	[<p>1°) Comparación por superposición de la unidad en forma material. Por ej.: Longitudes con un metro, Angulos con un transportador.</p> <p>2°) Medición de grandores incógnitas que son funciones compuestas de las magnitudes fundamentales (M, L, T). $G_i = f(M, L, T)$ - Instrumentos de comparaciones sucesivas. Por ej.: Puente de WHEATSTONE.</p>
		Por comparación (De interés para Ingeniería)	<	[<p>INDIRECTAS</p> <p>Se realizan midiendo directamente otras magnitudes, y aplicando luego una relación matemática que liga a estas con la primera. Por ej.: Medición de Potencia eléctrica $P = U \times I$</p>

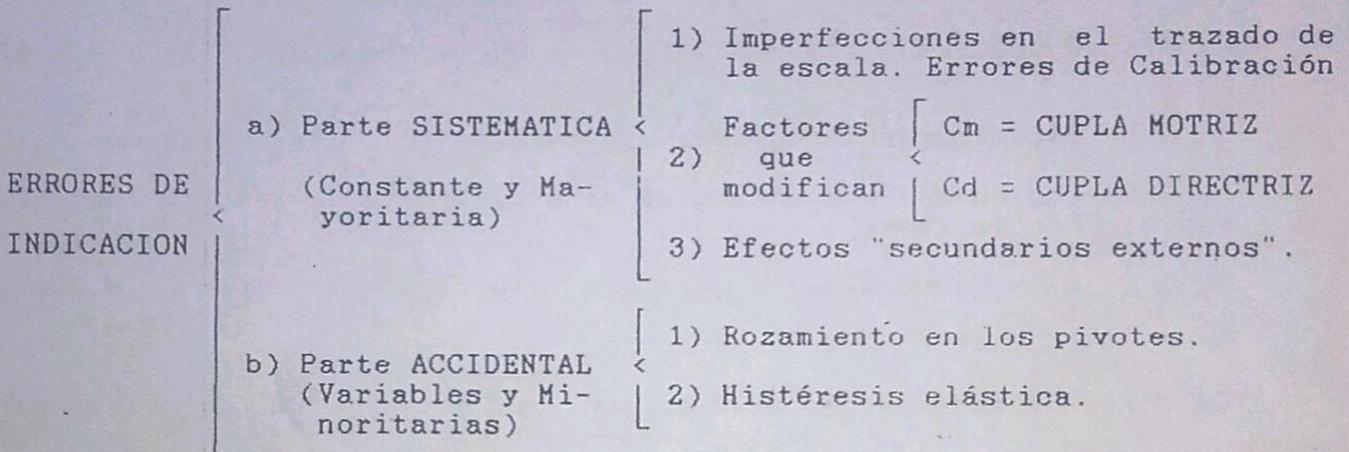
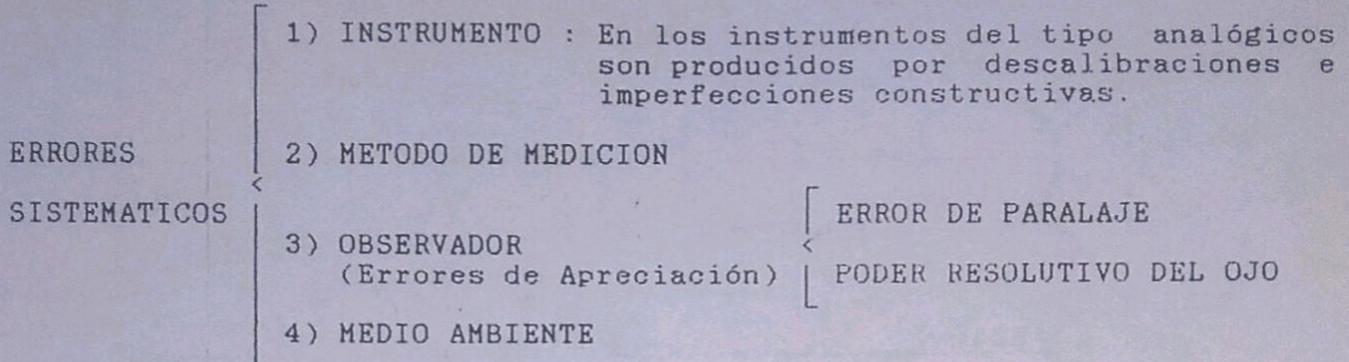
DIFERENCIA ENTRE EXACTITUD Y PRECISION**ESPECTRO DE DISPERSION :**

También denominada BANDA DE ERROR, es el intervalo de valores de la escala en los que puede detenerse el índice en una medición. Lo denominaremos como ED.

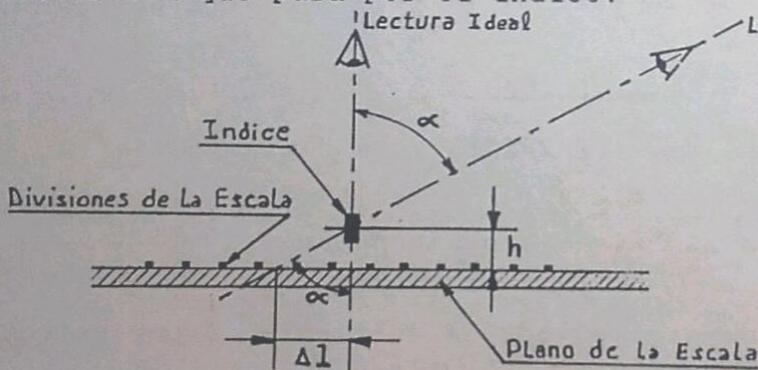
La PRECISION se refiere a una buena repetitividad en la medida, o sea, es el grado con el cual medidas sucesivas arrojan idénticos resultados. Estos instrumentos poseen un espectro de dispersión pequeño.

La EXACTITUD se refiere al error absoluto que comete el instrumento en una medición.

$$E_a = V_m - V_v \quad (\text{La condición de exactitud es que } E_a \text{ sea pequeño})$$

ELEMENTOS QUE PRODUCEN ERRORERROR DE PARALAJE :

Es un error que tiene que ver con el ángulo de observación con el que se efectúa la lectura, respecto de la perpendicular a la escala que pasa por el índice.



Δl : Error de Paralaje.

h : Separación entre el índice y la escala.

α : Ángulo de observación.

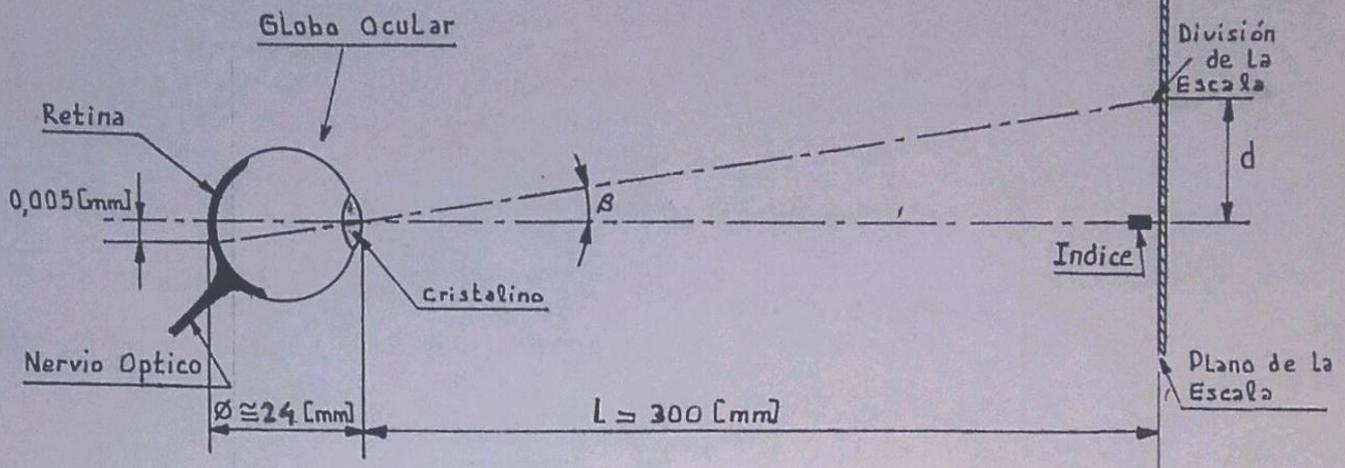
$$\Delta l = h \cdot \text{Tg } \alpha$$

Por lo que se puede observar en el dibujo, el error de paralaje será tanto mayor, cuanto mayor sea el ángulo de observación (α), o la separación entre el índice y la escala (h).

El error de paralaje puede eliminarse colocando un espejo sobre la escala del instrumento. En este caso la lectura es correcta, cuando no se ve el reflejo de la aguja sobre el espejo (condición de perpendicularidad).

PODER RESOLUTIVO O SEPARADOR DEL OJO :

Sabemos de biología, que la retina (Parte del ojo donde se traducen las imágenes) está constituida por 2 tipos distintos de células; los CONOS y los BASTONES. Las primeras son sensibles a los colores, y las segundas a la intensidad luminosa. Estas células están separadas entre sí unos 0,005 (mm); en consecuencia:



$$\operatorname{Tg} \beta = \frac{0,005 \text{ (mm)}}{24 \text{ (mm)}} = 0,0002083 \implies \beta = \operatorname{arctg} 0,0002083 \implies \beta = 43''$$

La máxima apreciación del ojo será de $\beta \geq 435''$ de grado.

La visión más descansada es a una distancia de $l \approx 300$ (mm) (Término medio). Por lo tanto :

$$\operatorname{Tg} \beta = \frac{d}{l} \approx 0,0002083 \implies d = l \cdot \operatorname{Tg} \beta \implies d = 300 \text{ (mm)} \cdot 0,0002083 \implies$$

El error de apreciación será de $d \approx 0,06 \text{ (mm)}$ 1/5 a 1/2 de división

ALCANCE DE UN INSTRUMENTO

Es el máximo valor que puede medir un instrumento en el rango correspondiente (Valor final de la escala).

SENSIBILIDAD

Es la relación entre la variación del EFECTO y la variación de la CAUSA.

$$S = \frac{\Delta \text{ EFECTO}}{\Delta \text{ CAUSA}} \quad \text{En términos más electrotécnicos será} \quad S = \frac{\Delta \text{ RESPUESTA}}{\Delta \text{ SEÑAL}}$$

En el caso de un instrumento medidor de corriente (Amperímetro), la Sensibilidad de corriente será :

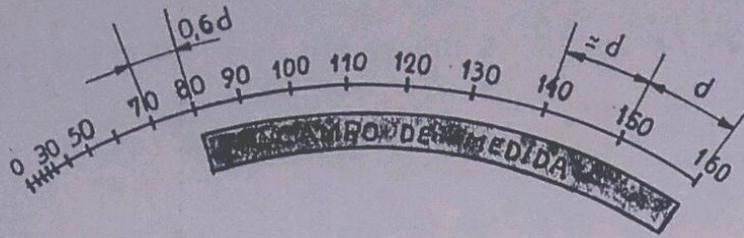
$$S_i = \Delta \alpha (^{\circ}) / \Delta i \text{ (A)}$$

$\Delta \alpha$: Deflexión del índice o diferencia angular del mismo entre un estado de corriente y el otro.

Δi : Variación de la corriente que circula por el instrumento, y que queremos medir.

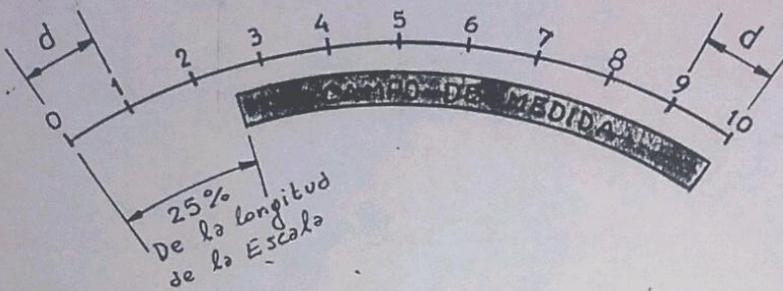
CAMPO DE MEDIDA

Instrumentos con Escala Sensiblemente Uniforme :



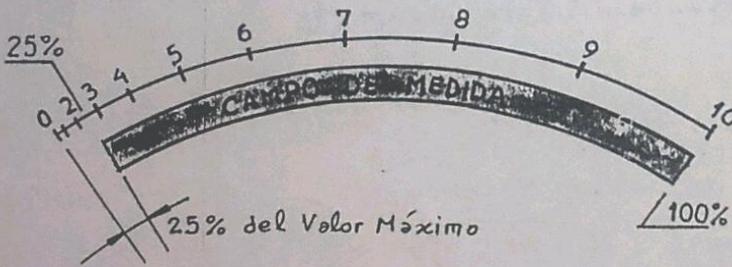
En instrumentos con divisiones aproximadamente iguales, en la mayor parte de la escala; se denomina campo de medida, a la parte de la escala que va desde la primera división cuya longitud de arco es del 60 % de la de una división del final de la escala, hasta el final de la misma.

Instrumentos con Escala Totalmente Uniforme :



En instrumentos donde todas las divisiones son iguales, el campo de medida corresponde al 75 % final de la escala.

Instrumentos con Escalas No Uniformes :



En instrumentos donde todas las divisiones son distintas, el campo de medida corresponde a la parte de la escala comprendida entre el valor nominal indicado en ésta y el 25 % del valor nominal.

CLASE DE UN INSTRUMENTO

La clase de un instrumento, es el límite máximo de error que puede cometer el instrumento en el campo de medida.

La Norma IRAM 2023, define la clase C de un instrumento de la siguiente manera :

$$C \% = \frac{\pm \Delta V_{max}}{ALCANCE} \cdot 100$$

$$\Delta V_{max} = \left[V_m - V_p \right]_{max}$$

Donde ΔV_{max} : Es el Mayor Error Absoluto (Debe ser cte. en todo el campo de medida).

V_m : Es el Valor Medido.

V_p : Es el valor tomado como Patrón, contrastado con un instrumento de mayor clase.

La clase de un instrumento debe ser garantizada por el fabricante en todo el campo de medida.

VALORES ESTANDARIZADOS DE LA CLASE, TOMADOS POR DIFERENTES NORMAS

NORMA	CLASE	LIMITE DE ERROR EN (%)
IRAM 2023	0,25	0,25
	0,5	0,5
	1,0	1,0
	1,5	1,5
	2,0	2,0
	3,0	3,0
VDE 0410	E	0,1
	F	0,2
	G	0,3
	H	1,5
	Z	2,5
ASA	0,2	0,2
	0,5	0,5
	1,0	1,0
	1,5	1,5
	2,5	2,5

CALIBRACION Y DETERMINACION DE LA CLASE DE UN INSTRUMENTO

Previamente a la calibración todas las normas prevén el estado (Condiciones ambientales) en que esta debe realizarse.

CONDICIONES DE ENSAYO

Temperatura de Ensayo : $t = 25$ (°C)

Intensidad del Campo Magnético Externo : $H = 5$ (Oe) = 400 (Av/m)

Posición del Instrumento : $\alpha = 0^\circ - 15^\circ - 60^\circ - 90^\circ$

Frecuencia de la Corriente Utilizada : $f = 50$ (Hz) - 60 (Hz)

Para los instrumentos de c.a., el ensayo debe realizarse con onda senoidal a la frecuencia normal de c/pais.

En todo ensayo, debe tenerse el instrumento conectado realizando la medida aproximadamente durante 1 hora; para que llegue a estabilizarse el índice, a causa de la variación de temperatura (efecto Joule).

La medida debe realizarse al 75 % de la escala (Posición de menor error de indicación).

CONSTANCIA DE CERO

Se verifica realizando medidas y cortando la corriente unas 10 veces. Observando que bajo estas condiciones el índice regrese a la posición de cero. Se admite una desviación de la aguja de 1/10 de división.

COMO HACE EL FABRICANTE PARA CALIBRAR UN INSTRUMENTO ?

En la escala se define o marca un punto que supone es el cero, se coloca el exéntrico (ajuste de cero) en la mitad.

Si se desea construir, por ej. un voltímetro de 260 (V), se dibuja la escala con una máquina pantógrafo y luego se lo prueba c/10 divisiones; y si no coinciden los valores se corrige el pantógrafo.

TEMA 2 :**MEDICION CON SISTEMAS INDICADORES****Instrumento Electrico de Medicion (Norma Iram 2023)**

- Es todo instrumento en el que, por simple observación de la posición relativa del índice y de la escala, puede determinarse el valor de la magnitud eléctrica a medir (instrumentos analógicos).

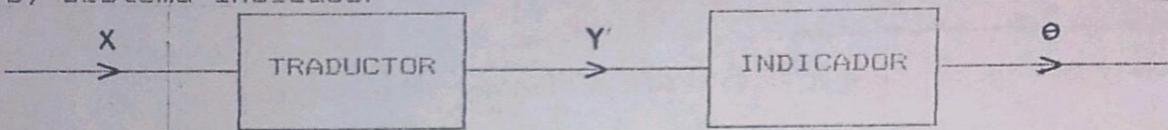
En los instrumentos lógicos o digitales la medición se realiza por la simple lectura del visor (Display).

- Todo instrumento de medida esta constituido por instrumento propiamente dicho y por los elementos accesorios para las mediciones, como por ejemplo:

caja del instrumento, Resistencias en serie o derivacion (Shunt); Reostatos, transformadores de medida, llaves selectoras, y conmutadoras, Reactancias capacitivas e inductivas.

- El instrumento de medicion consta de dos partes:

- Sistema traductor
- Sistema indicador



X= Magnitud a medir (por ej. V)

Y= F1 [X] Magnitud traducida o adoptada al sistema indicador

$\theta = F2 [Y] = F2 [F1(X)]$ Magnitud medible físicamente (por ej: desplazamiento angular del índice).

CLASIFICACION DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDAS**a) Según el tipo de trabajo o calidad de la medida**

- INDUSTRIALES: Instrumentos toscos de poca precisión robustos; pueden ser portátiles o de tablero. (clase = 1 ; 2,5 ; 5).
- LABORATORIO: Instrumentos de mayor calidad y precisión. (clase = 0,1; 0,5).

b) Según la naturaleza de la cupla motriz

- Magneto eléctricos
 - (bobina móvil e imán fijo)
 - (bobina fija e imán móvil)
- Magneto eléctrico de bobina móvil con rectificador.
- Electromagnético (hierro móvil)
- Electro dinámico (bobina fija y bobina móvil)
- Ferro dinámico (electrodinámico con núcleo de Fe)
- De inducción
- De láminas vibrantes
- Electrostáticos
- Térmicos
 - de acción directa (Hilo Caliente)
 - de acción indirecta (Termocuplas)
- Bimetálicos
- Amplificadores

c) Según la magnitud eléctrica a medir

- 1- Amperímetro (Corriente) (A)
- 2- Voltímetro (Tensión) (V)
- 3- Ohmetro (Resistencia) (Ω)
- 4- Wattímetro (Potencia) (W)
- 5- Meghómetro (altas resistencia) (M Ω)
- 6- Cofímetro (Cos de ϕ) (Cos ϕ)
- 7- Fasímetro (diferencia de fase) (ϕ)
- 8- Frecuencímetro (frecuencia) (F)

d) Según el tipo de corriente a medir

- 1- Corriente alterna
- 2- Corriente continua
- 3- Ambas corrientes
- 4- Corrientes Alternas
 - Bajas Frecuencias
 - Altas Frecuencias
- 5- Impulsos Eléctricos

e) Según detalles especiales

- 1- Instrumentos de cociente (Loghómetro Magneto-eléctrico)

$$Y = F1 [I1/I2] * \theta = [F2]$$

- 2- Instrumentos de cocientes

$$\text{Sumadores: } Y = F1 [I1+I2] * \theta = F2 [Y]$$

$$\text{Diferenciadores: } Y = F1 [I1-I2] * \theta = F2 [Y]$$

- 3- Instrumentos Astáticos

Son instrumentos con cuplas motoras sobre un mismo eje y en oposición.

- 4- Instrumentos Acorazados.

Con corazas de fe para campos externos.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS INSTRUMENTOS INDICADORES

- Todo instrumento indicador de medida, está compuesto por una parte móvil y una fija.

La parte Móvil está compuesta por el índice, el eje y el elemento productor de la cupla motora o motriz.

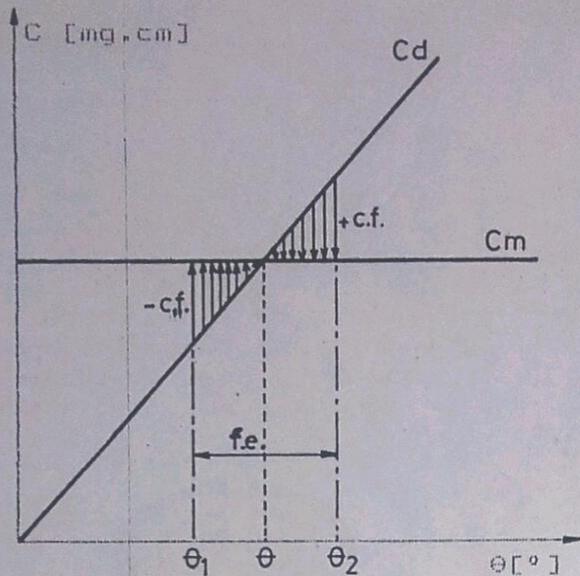
La parte fija está compuesta por la escala calibrada y la caja del instrumento propiamente dicha.

- En presencia de una cupla motriz el sistema móvil, tendería a girar indefinidamente (o hasta una posición tope)
Para efectuar la medición es menester agregar una cupla antogonista o directriz cuyo sentido sea opuesto al de la cupla motriz.

La medición se realiza cuando $C_m = C_d$

C_m = Cupla motriz

C_d = cupla directriz



Condición de equilibrio del sistema móvil.

- * La C_m es una función aproximada - mente cte.
- * La C_d varía prácticamente en forma lineal con el ángulo de desviación (Θ) del sistema móvil respecto de una posición inicial correspondiente a la posición o estado de equilibrio del sistema móvil ($C_d = K \cdot \Theta$) Sin excitación.
- * Existe otra cupla que es función de la velocidad (movimiento) y siempre se opone al sentido del movim., se trata de la cupla de rozamiento (C_f) y se produce por la fricción (rugosidades del material) del sistema móvil en sus apoyos. ver graf. $C_f = \pm e$

fe.= franja de error o de indeterminación

En definitiva

$$C_m = C_d \pm C_f$$

Varias características son comunes a la mayoría de los instrumentos de medida.

- 1) Un mecanismo antagónico que equilibra la C_m .
- 2) " " de amortiguación para evitar oscilaciones
- 3) " " indicador por medio del cual la posición del equil entre C_m y C_d es detectada y evaluada la magnitud a medir
- 4) Un sistema de suspensión que puede ser de cojinetes y bujes, o por hilos tensados.

Los instrumentos se caracterizan y diferencian fundamentalmente por la ley que genera la cupla motriz.

MUELLES O ESPIRALES

Los muelles se utilizan para generar la cupla directriz y en los instrumentos de bobina móvil también cumplen la función de conductores de corriente.

Existen distintos tipos de muelles:

- Muelles en espiral (más utilizado) 
- Muelles helicoidales (sirven también como elementos de suspensión del sistema móvil) 
- Muelles combinados espiral-helicoidal 
- Hilo tensado (sirve también como elemento de suspensión)

1)*Debe verificarse en los muelles, que para máxima deflexión del sistema móvil, los esfuerzos a que quedan solicitados los mismos no superen el límite de elasticidad del material con que están contruidos. Puesto que se producirían deformaciones plásticas. Y una vez anulada la excitación, la aguja no retornaría a cero; y cambiaría toda la graduación de la escala.

*En instrumentos de laboratorio ($C = 0,1\%$) el error de cero máximo aceptable; es igual al espesor de una aguja filo de cuchillo.

*En instrumentos ($C = 2\%$) el error máximo aceptable el de 0,1 a 0,2% del valor de plana escala.

Un ensayo importante en los muelles es el de su habilidad de retornar a 0 cuando no existe excitación.

Se hace deflexionar la aguja durante un tiempo prolongado y luego se quita la excitación, al retornar la aguja a cero el error o la desviación respecto del mismo no debe ser superior a la anteriormente citado.

2)*Otro factor a tener en cuenta, cuando los muelles conducen corriente es que su densidad de corriente no debe superar cierto límite. Para lo cual su sección debe tener un valor adecuado.

$$I_g \max \leq 25 \text{ [mA]}$$

3)*El material con que se construyen los muelles generalmente es el "BROMCE FOSFOROSO" (buenas propiedades mecánica y mediana resistividad).

Para instrumentos de baja resistencia (R_g pequeñas) el muelle debe tener baja resistencia, para ello se utilizan aleaciones de bronce como el "BERILYUM COOPER", en el que se sacrifican bondades mecánicas a cambio de una baja resistencia. En lo posible tratan de no usar este material por su dificultad para soldar con soldaduras blandas. La resistencia de los muelles oscila entre 0,2 y 15 (Ω).

4)*Muelles en espiral:

$$C_d = 83 \cdot E \cdot \frac{w \cdot t^3}{1} \cdot \theta \quad (1)$$

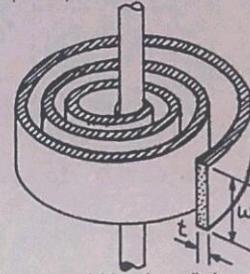
$$\bar{S} = 0,006 \cdot \frac{C_d}{w \cdot t^2} \quad (2)$$

E = Módulo de Young, o módulo de elasticidad en (Kg/cm^2)

w = Ancho del resorte ; t = espesor del resorte; l = largo del resorte

θ = Angulo de desviación del sistema móvil.

\bar{S} = Esfuerzo máximo en la fibra



de (2)
$$C_d = \frac{1}{0,006} \cdot w \cdot t^2 \cdot \bar{S} \quad (3)$$

Igualando (1) y (3) :
$$\frac{1}{0,006} \cdot w \cdot t^2 \cdot \bar{S} = 83 \cdot E \cdot \frac{w \cdot t^3}{1} \cdot \theta \Rightarrow$$

$$\frac{1}{t} = \frac{0,006 \cdot 83 \cdot E \cdot \theta}{\bar{S}} \Rightarrow \frac{1}{t} = 0,498 \cdot \frac{E}{\bar{S}} \cdot \theta \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{E}{\bar{S}} \cdot \theta$$

$E = 12 \times 10^5 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$ para el material utilizado

$\bar{S} = 300 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

$\theta = \theta \max = \frac{\pi}{2} \text{ [rad]} = 90^\circ$

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{12 \times 10^5}{3 \times 10^2} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{4 \times 10^3}{4} \cdot \pi \Rightarrow \frac{1}{t} = \pi \cdot 10^3 \approx 3.000$$

Otra relación a tener en cuenta es w/t , la cual está comprendida entre : $\frac{10}{1} \leq \frac{w}{t} \leq \frac{30}{1}$

Se debe tener en cuenta que si la densidad de corriente $j = I/S$ es grande, se produce calentamiento por efecto joule con una consecuente pérdida de elasticidad E (disminuye)

$b_{kd} = -0,02 \text{ [}/^\circ\text{C]} = \text{coef. de variación de } E \text{ con la temp.}$

$\alpha = 0,2 \text{ [}/^\circ\text{C]} = \text{coef. de variación de } R \text{ con la temp.}$

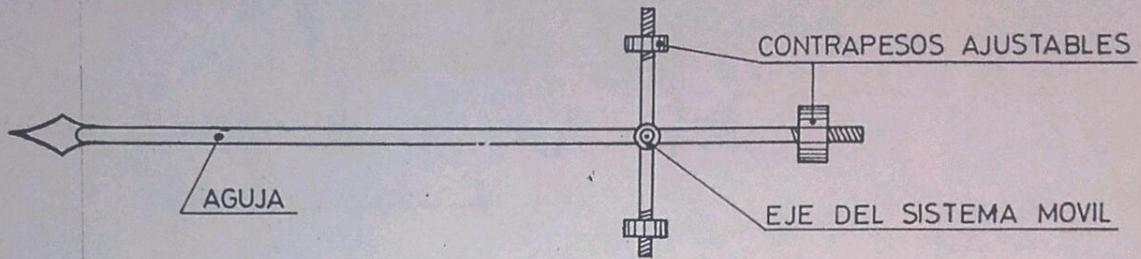
EQUILIBRIO

Se puede pensar en un equilibrio por gravedad, o sea que la cupla motora se equilibraría con el mismo peso del sist. móvil. Y así eliminamos el inconveniente de la variación del módulo de elasticidad con la temp. Pero a pesar de ello, veremos que no es conveniente el equil. por la gravedad, puesto que esto varía según el espacio que se considere. Por ello cada instrumento sería apto para usar solamente en el lugar de calibración del mismo.

* Por lo tanto es necesario producir la (cd) con muelle o resorte, en el cual trata de hacerse que el centro de gravedad del sist. móvil coincida con el centro de rotación del mismo. Para dicha regulación se agregan contrapesos sobre el índice, que sirven para variar el momento respecto del centro de rotación.

La variación de la indicación de un instrumento debido a una variación de +5% a -5% en la inclinación del mismo respecto de la posición normal de trabajo expresado en % de la longitud total de la escala, no será superior al número que indica la clase.

* Algunos instrumentos del laboratorio están provistos de un nivel de burbuja; para equilibrar el instrumento en la misma posición que fue calibrado.



SUSPENSION

COJINETES:

$R_r \approx 4 \cdot R_p$

$R_p \approx 0,01 \text{ a } 0,1 \text{ [mm]}$

$G_m \approx 3 \text{ a } 10 \text{ [grs.]}$

$C_m \approx 10 \text{ [mg.cm]}$

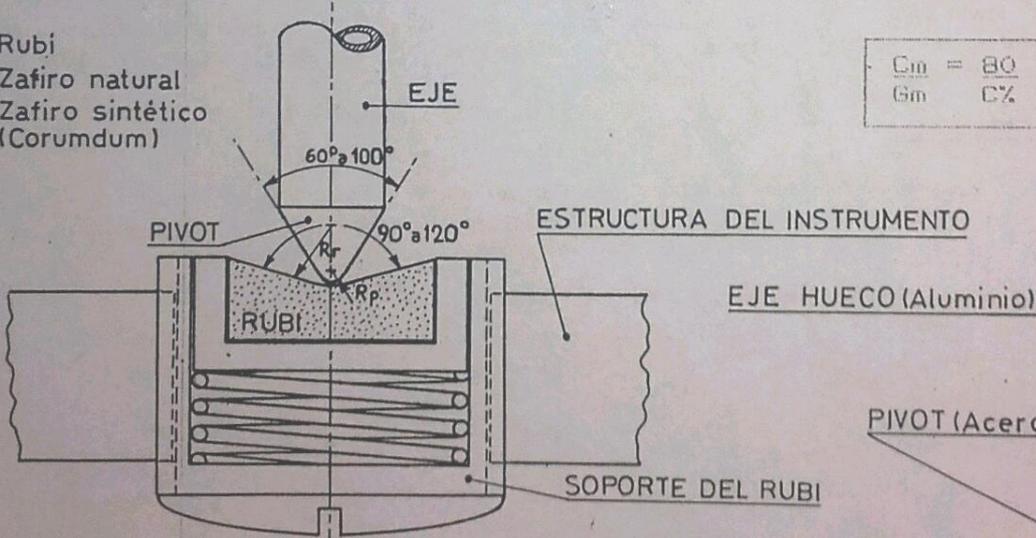
R_p = Radio del pivot.

R_r = Radio del rubi.

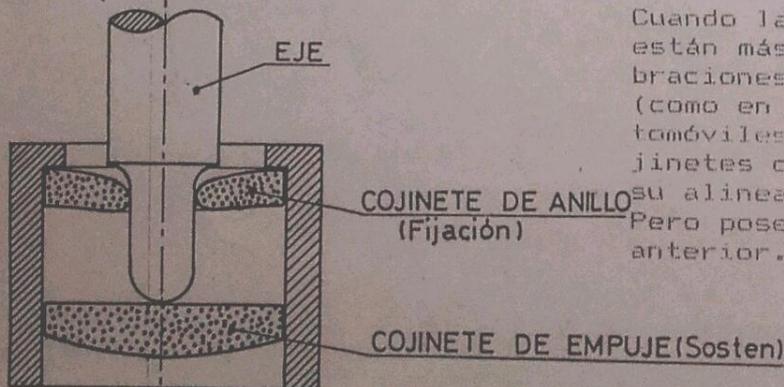
G_m = Peso del sistema móvil.

C_m = Cupla motriz.

- Rubi
- Zafiro natural
- Zafiro sintético (Corundum)



- Algunas veces el cojinete es empujado por un resorte.
- En los instrumentos con eje vertical, el peso actúa sobre un cojinete y el otro sirve como guía.

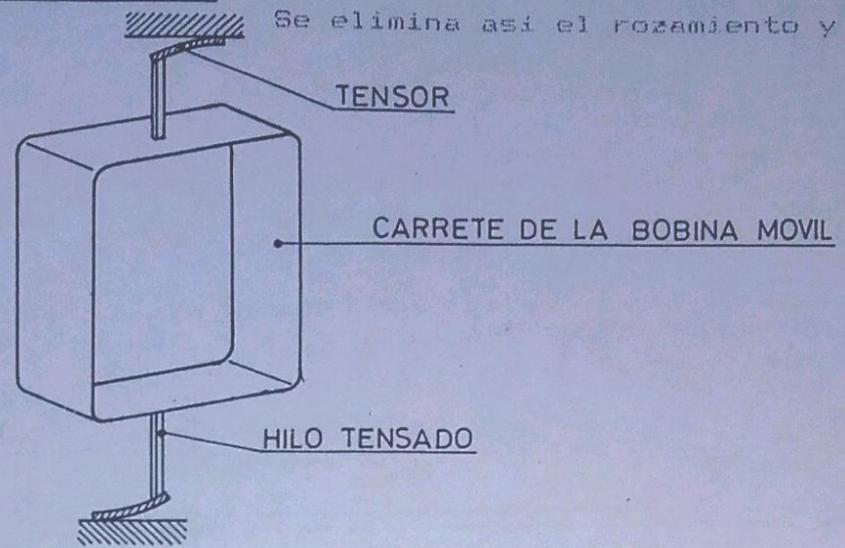


Cuando las condiciones de trabajo están más exigidas en cuanto a vibraciones, oscilaciones, y choques (como en instrumentos navales, automóviles, etc.). Se utilizan cojinetes como el de la figura. Por su alineamiento. Pero posee mayor rozamiento que el anterior.

SUSPENSION POR HILO TENSADO :

tanto su error.

Se elimina así el rozamiento y por lo



INDICES Y ESCALAS

ESCALAS:

Las escalas generalmente son circulares, sobre ellas se calibran por medio de divisiones, las magnitudes a medir. La mayoría de los instrumentos poseen escalas con fondo blanco y divisiones negras.

Los instrumentos de los tableros de automóviles o aviones, son con fondo negro y divisiones blancas, amarillas, o de una pintura luminiscente y pueden llevar también iluminación local.

Los instrumentos industriales (de menor clase), traen divisiones separadas y gruesas.

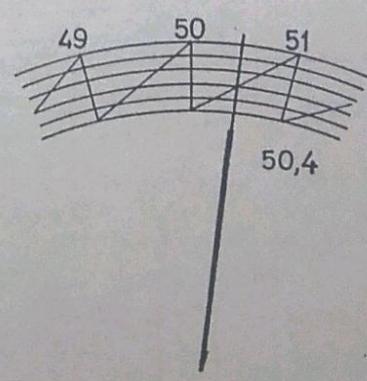
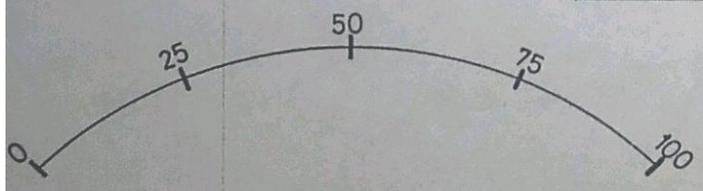
Los instrumentos de laboratorio (de mayor clase) traen divisiones finas y muy juntas, y a veces divisiones largas y cortas alternativamente.

Estas características también dependen de la distancia a la que se efectúa la lectura.

TIPOS DE ESCALAS:

Existen 3 tipos fundamentales de escalas y cuya clasificación corresponde a la ley de distribución de las divisiones sobre la escala, la cual dependerá del principio de funcionamiento del instrumento.

ESCALA UNIFORME O LINEAL : $X_m = K \cdot l \cdot \alpha$



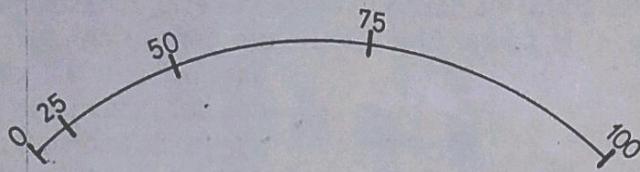
Ej: Instrumento: Alcance = 200 [A] - 100 [div] error absoluto de apreciación 1/5 [div]

Calcular el error relativo de apreciación.-

$$E\% = \frac{200 \text{ [A/div]} \cdot \frac{1}{5} \text{ [div]}}{200 \text{ [A]}} \cdot 100 = \frac{C_i \cdot E_a}{I_{\text{max}}} \cdot 100 = 0,2\%$$

ESCALA CUADRÁTICA O AMPLIADA: ⊗

$$X_m = K_2 \cdot \alpha^2$$

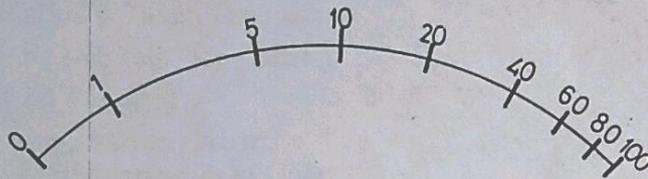


ESCALA LOGARÍTMICA: ⊕

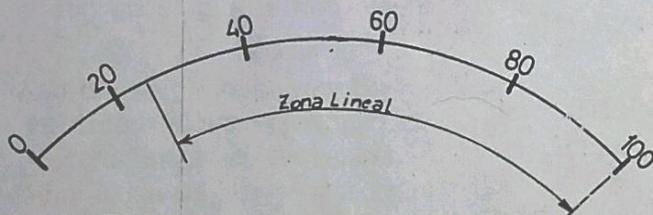
$$\ln X_m = K_3 \cdot \alpha$$

En realidad la escala es casi logarítmica.

$$\ln (X_m + 1) = k_3 \cdot \alpha$$

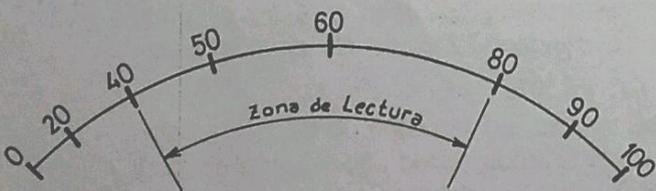


⊗ Realizando un entrehierro especial puede lograrse una ESCALA CUADRÁTICA ESPECIAL. ESCALA NO UNIFORME.



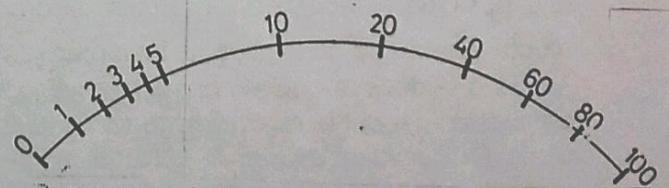
Escala sensiblemente uniforme.

ESCALA ENSANCHADA:



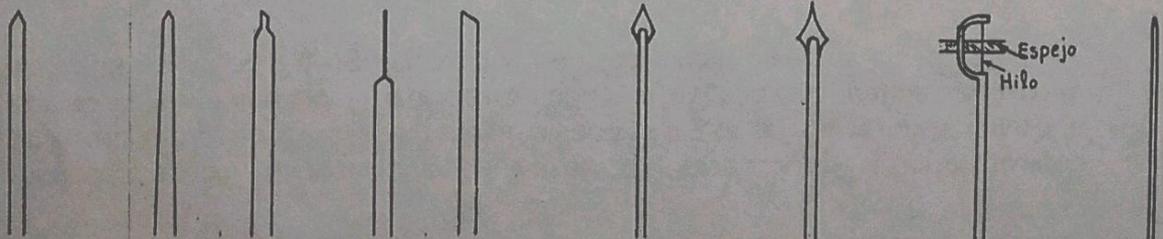
Util para medir sobrecargas.

⊕ ESCALA PARTE INICIAL ENSANCHADA:



Para que los valores pequeños puedan leerse bien.

INDICES: Distintos tipos de índices físicos (agujas)-



Barra Varilla Cuchilla Lanza Lanza acuchillada Bandera Cristal (esp.)

Cuando mayor es la long. del índice mayor es la sensibilidad del instrumento. Pero como un aumento de la long. de estos incrementa el peso del sistema móvil.

Algunas veces el índice puede ser luminoso y de longitudes de hasta 5 [m].

Como protección de sobrecarga pueden colocarse en los topes del instrumento contactos que cierran un circuito de alarma.-