

09.70.06

PMM/A 37

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

SEXTO CURSO PANAMERICANO DE METALURGIA

Dentro del Programa Multinacional de Metalurgia
(Programa Regional de Ciencia y Tecnología - OEA)

INSTRUMENTAL

Dr. Luis A. Boschi
Ing. Amílcar Castellá

Departamento de Metalurgia,
Buenos Aires - Argentina
1970

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

SEXTO CURSO PANAMERICANO DE METALURGIA

Dentro del Programa Multinacional de Metalurgia
(Programa Regional de Ciencia y Tecnología - OEA)

INSTRUMENTAL

Dr. Luis A. Boschi
Ing. Amílcar Castellá

Departamento de Metalurgia
Buenos Aires - Argentina
1970

INTRODUCCION

MEDICION DE LONGITUD

Metrología

Su aplicación se extiende a todas las magnitudes susceptibles de medición.

En ningún proceso de mecanizado es posible conseguir una dimensión exacta; por lo tanto se hace necesario conocer la magnitud del defecto que pueda admitirse en dicha dimensión.

Precisión

Es la repetibilidad que se puede lograr bajo las mismas condiciones en una serie de mediciones.

Sensibilidad

Son las características de amplificación que posee un instrumento, o sea la capacidad que tiene para permitir apreciar una variación de la dimensión en ensayo.

Error Sistemático

Es originado por fallas del método de medición empleado o por defectos del observador. Son por naturaleza regulares, que se producen siempre en un mismo sentido y a menudo con igual valor.

Error accidental.

Es el debido a causas fortuitas o accidentales y variables, cuyos valores están dentro de la aproximación de los instrumentos. A ellos se aplica la teoría de Errores.

Magnitud

Es todo ente abstracto susceptible de ser medido o para el cual se puede definir la igualdad y la suma. Ejemplo: longitudes, áreas, volúmenes, pesos, cargas eléctricas, etc.

Calibre

Podemos clasificarlos en dos grupos:

- a) Calibres de límites: sirven únicamente para determinar entre qué límites, máximo y mínimo, se encuentra la magnitud de medida. Ejemplo: se necesita tener un agujero cuyo diámetro es de 40 mm., con una tolerancia admisible de + 0.025. La dimensión se puede comprobar si está entre dicho ran-

II

go, haciendo pasar un cilindro metálico por el agujero de 40 mm y luego hacer lo mismo con otro cilindro de 40.025; si el primero pasa y el segundo no, estaremos seguros de que nuestra medición relativa está dentro de lo admisible.

El inconveniente de estos calibres es que el 'no pasa' no permite señalar los defectos de forma.

Nunca se debe forzar un calibre; se debe hacer pasar por su propio peso.

- b) Calibres de Cursor o deslizantes: consisten en una regla rígida graduada (milímetro y o pulgadas) provista de un tope o punta fija. Sobre esta regla se desliza un cursor graduado con graduación distinta a la de la regla, al que va unido otro tope o punta móvil.

Las piezas a medir se toman entre las dos puntas y se efectúa la lectura. El cero del cursor indica las unidades enteras sobre la regla graduada. La graduación especial del cursor se llama NONIUS y permite leer la parte decimal de la entera leída. La inexactitud del calibre es del orden de: 0.1 a 0.3 mm. Las divisiones que suelen encontrarse en los nonius son:

10 intervalos de	9 mm	----	c, u = 0.1 mm
20 intervalos de	19 mm	----	c u = 0.05 mm
50 intervalos de	49 mm	----	c u = 0.02 mm

Micrómetro

Son calibres de dimensión variable, que permiten medir en lectura directa las dimensiones reales con una aproximación de 10 micras e incluso con una micra. Su nombre está justificado por esta aptitud de medir o apreciar las diferencias de magnitud del orden de la micra.

El principio en que se basa es el del sistema tornillo-tuerca. Si en una tuerca fija se hace girar un tornillo una vuelta, avanza simultáneamente una distancia igual a su paso.

Para que la lectura sea cómoda, se dispone de dos graduaciones:

- a) El número entero de vueltas n del tambor graduado (nonius circular) se lee en la graduación rectilínea de un manguito fijo frente al borde del tambor que se desplaza con el dado móvil.
- b) La fracción de vuelta suplementaria del tambor se lee sobre su graduación circular giratoria frente a un trazo fijo del manguito. La carrera del dado móvil es generalmente de 25 mm.

En los portátiles, que son los más corrientemente usados, la lectura con una aproximación de 0.01 mm se obtiene mediante un tornillo con paso de 0.5 mm provisto de un tambor dividido en 50 partes.

Una escala doble longitudinal sitúa la posición del tambor de 0.5 en 0.5 mm. Los aparatos fijos que dan en la lectura la aproximación de 1 micrón (1 mm de paso) tienen un gran tambor con 1.000 divisiones para lectura directa o

III

bien un tambor más reducido con solamente 100 divisiones pero provisto de un nonius para 1/10.

Bloques Patrón.

Son elementos que han sido trabajados con una gran exactitud y permiten definir una dimensión determinada. Se los confecciona de acero aleado o en acero tratado y nitrurado. Sirven como elementos de calibración de aparatos de medición.

Los más conocidos son los discos patrón. Sus diámetros respectivos están normalizados entre 10 y 100 mm con una precisión corriente de ± 1 micrón. El valor de los bloques-patrón está definido por la distancia entre las dos superficies planas, pulidas y paralelas. Se les debe utilizar a la temperatura de tasado que es de 20°C para evitar errores por la dilatación térmica.

La calidad de los bloques puede ser:

- a) De tolerancia para taller : $0.1 \text{ micrón} + \frac{2(\text{longitud bloque})}{1.000.000}$
- b) De tolerancia para laboratorio : $0.05 \text{ micrón} + \frac{1(\text{longitud bloque})}{1.000.000}$

Comparadores

Son elementos que permiten medir la magnitud de una pieza por comparación con ellos. La dimensión de la pieza será igual a la dimensión del patrón $\pm$ diferencia. Si esta diferencia permanece dentro de la tolerancia prevista, la pieza se considerará satisfactoria y en el caso contrario se rechazará.

La comprobación o comparación de las diferencias entre pieza y patrón se aplica tanto a las dimensiones lineales como a las formas geométricas.

El más conocido es el comparador de taller: actúa ordinariamente como amplificador de engranajes, en el cual las diferencias que actúan sobre un palpador se traducen en el desplazamiento de una aguja sobre un cuadrante registrador. Cuando el palpado retrocede, la aguja gira en el sentido horario e indica una diferencia positiva (en exceso) y recíprocamente.

El cuerpo del comparador o reloj puede adaptarse a una gran variedad de montajes o soportes (fijos y móviles) para medidas exteriores, interiores o de profundidad.

Definición del metro

Es la longitud equivalente a 1'553,164.13 veces la longitud de la onda luminosa del vapor de Cadmio; en condiciones de aire seco, a 15°C y a la presión barométrica de 760 mm la longitud de tal onda es de 0.64384696 micrones.

Patrones secundarios

Se construyen tomando como base los patrones prototipos: metro y el ángulo recto. El metro patrón prototipo es una barra de platino-iridio que se encuentra depositado en el Pavillon de Breteuil en Sevres (Seine).

Reglas geodésicas

Son patrones, pero de magnitudes relativamente grandes a los que se recurre para la confección de los secundarios para las mediciones. Por ej., las que posee el Instituto Geográfico Militar.

IV

BIBLIOGRAFIA INSTRUMENTAL

LIBROS :

Electrometría . Andrés M. Kanz - Eudeba .

Automatización Regulación Automática .

Servomecanismos . V. Bröida - Eudeba.

Introducción a la Automatización Industrial . A. Davie - M. Villar - Eudeba.

Prácticas Modernas del Laboratorio de Física . J. Strong - Eudeba.

Controls Engineer's Handbook . J.G. Truxal - McGraw Hill.

Medidas Eléctricas . F. Kinnard.

Techniques Generales du Laboratoire de Physique . J. Suruge - C.N.R.S.

REVISTAS :

Journal of Scientific Instruments

Review of Scientific Instruments

Instruments and Control Systems

Popular Electronics

Electronics World

Radio Electronics

Scientific American

C A P I T U L O 1

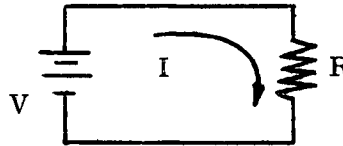
LEYES FUNDAMENTALES, MEDICIONES ELECTRICAS. TESTER

1.1. Leyes Fundamentales.

Por ser de uso muy frecuente en la mayoría de las mediciones eléctricas y cálculo de circuitos eléctricos, enunciaremos en primer lugar la ley de Ohm.

En un circuito de Corriente Continua el valor de su resistencia R es igual al cociente de la tensión V aplicada a sus extremos dividida por la intensidad de corriente I que circula por el mismo.

$$R = \frac{V}{I}$$



Cuando la tensión aplicada es 1 voltio y la corriente que circula es 1 Amper, la resistencia del circuito será de 1 ohm.

Por simple pasaje de términos podemos obtener las otras constantes del circuito a saber: la tensión V y la corriente I

$$V = R \cdot I$$

$$I = \frac{V}{R}$$

La ley de Ohm se cumple rigurosamente en circuitos con corriente contínua (pilas, baterías, acumuladores, fuentes de alimentación de corriente continua). Puede ser usada sin mayores errores en circuitos alimentados con Corriente Alternada 50 a 60 c/s (alternadores, líneas de alimentación domi ciliarias y fabriles), siempre y cuando no hayan en el circuito elementos reactivos es decir condensadores C y/o inductancias (bobinas con núcleo magné-tico) L .

Es importante y de mucho uso conocer la potencia eléctrica (en Va-tios) que se disipa en un circuito en funcionamiento, lo cual constituye la ley de Joule.

La potencia que disipa un circuito eléctrico es igual al producto de la tensión V aplicada por la corriente I que circula.

$$W = V \cdot I$$

Cuando la tensión aplicada sea de 1 volt y la corriente que circule de 1 Amper la potencia disipada será 1 vatio

Al igual que en la ley de Ohm esta segunda ecuación es válida en corriente continua y en corriente alternada de baja frecuencia .

Ver TABLA 1

Ejemplo:

Suponemos tener un circuito como el de la figura 1 en el cual usamos 2 pilas de 1,5 v cada una que totalizan 3 v y una resistencia de $100\ \Omega$

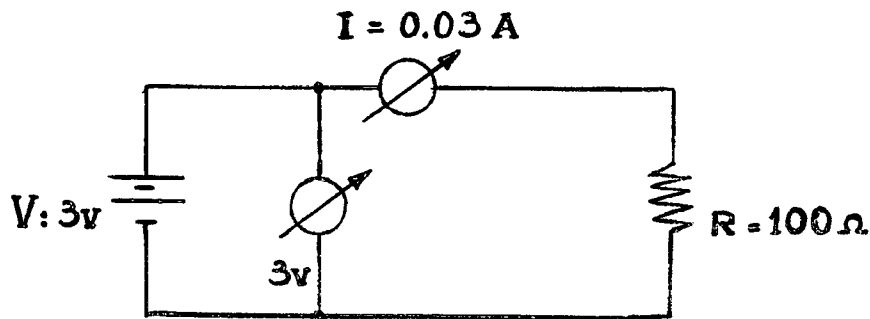


Figura 1

La corriente que circulará por el circuito será $I = \frac{V}{R} = \frac{3V}{100\Omega} = 0,03\text{ A}$

o sea 30 mA .

Calcularemos la potencia disipada en R

$$W = V \cdot I = 3\text{ V} \times 0,03\text{ A} = 0,09\text{ W} \text{ o sea } 90\text{ mW}$$

Utilizando las ecuaciones que se pueden derivar de la ley de Ohm obtenemos para el mismo circuito

$$W = V \cdot I = V \cdot \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R} = \frac{3^2}{100} = \frac{9}{100} = 0,09\text{ W}$$

$$W = V \cdot I = I \cdot R \cdot I = I^2 R = (0,03)^2 \times 100 = 0,09\text{ W}$$

T A B L A 1

TABLA DE UNIDADES ELECTRICAS MAS USUALES . -

Magnitud	Símbolo	Unidad	Símbolo	Múltiplos y Submúltiplos más usados
Corriente	I	Amper ó Amperio	A	KiloAmper (KA) = 10^3 A, miliAmper (mA) = 10^{-3} A, microAmper (μ A) = 10^{-6} A, nanoAmper (nA) = 10^{-9} A, picoAmper (pA) = 10^{-12} A.
Tensión	V	Volt ó Voltio	V	Kilovolt (KV) = 10^3 V, milivolt = (mV) = 10^{-3} V, microvolt = (μ V) = 10^{-6} V, nanoVolt = (nV) = 10^{-9} V
Potencia	W	Watt ó Vatio	W	Kilowatt (KW) = 10^3 W, MegaWatt (MW) = 10^6 W, MiliWatt (mW) = 10^{-3} W, MicroWatt = (μ W) = 10^{-6} W.
Resistencia	R	Ohm	Ω	Kilohm (K Ω) = $10^3 \Omega$, Megohm (M Ω) = $10^6 \Omega$
Capacidad	C	Farad ó Faradio	F	Microfaradio (μ F) = 10^{-6} F, nanofaradio (nF) = 10^{-9} F, picofaradio (pF) = 10^{-12} F, micromicroF = pico F.
Inductancia	L	Henry ó Henrio	H	MiliHenry (mH) = 10^{-3} H, MicroHenry = (μ H) = 10^{-6} H
Frecuencia	f	Ciclo/seg. ó Hertz	c/s Hz	Kilociclo ó KiloHertz = 10^3 c/s = 10^3 Hz. KHz. Kc/s. Megaciclo ó MegaHertz = 10^6 c/s = 10^6 Hz Mc/s. MHz.

1.2. Instrumento Básico de Medición Eléctrica.

Como se sabe, un conductor por el que circula una corriente eléctrica y se encuentra sumergido en un campo magnético $\vec{B}$ tiende a desplazarse de manera tal que sus propias líneas de fuerza de su campo magnético $\vec{b}$ se sitúen paralelas a las del campo $\vec{B}$, Figura 2.

Usando este principio pueden construirse instrumentos capaces de medir una corriente eléctrica, pues parte o toda ella circula por la bobina de dicho instrumento.

El aspecto práctico y general de un instrumento D'Arsonval de bobina móvil e imán permanente es el que se ve en la Figura 3.

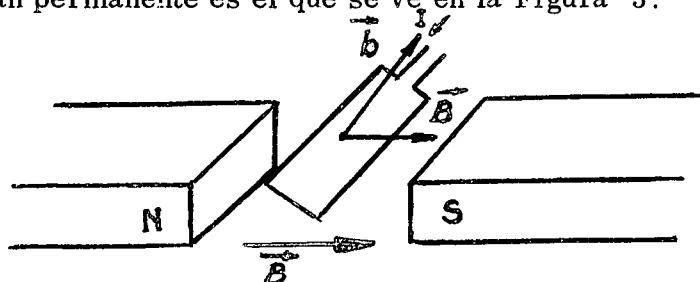


Figura 2

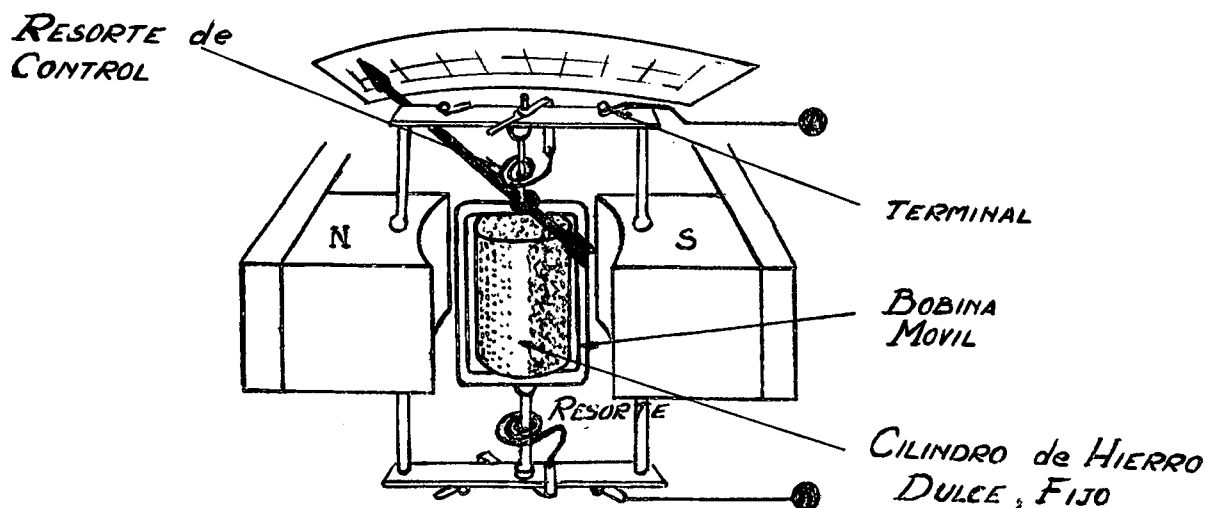


Figura 3

Al circular la corriente por la bobina, ésta tiende a ponerse perpendicular al campo magnético $\vec{B}$ de los imanes. Si se le oponen un par de resortes espirales (que a la vez son los que permiten la entrada y salida de la corriente de la bobina móvil) ellos crean una cupla mecánica antagónica que se llega a equilibrar con la electromagnética que desarrolla la bobina. Ese equilibrio nos permite medir con la ayuda de una aguja y una escala graduada la corriente que circula por el instrumento.

1.3. Sensibilidad de un Instrumento .

Se define como la sensibilidad de un instrumento del tipo de D'Arsonval, a la inversa de la corriente máxima del mismo, o sea la inversa de la corriente que produce la deflexión de la aguja al fondo de la escala

$$S = \frac{1}{I_{\max}}$$

Por la ley de Ohm sabemos que la corriente es el cociente $\frac{V}{R}$ que si lo ponemos en unidades nos dará $\frac{V}{\Omega}$. Si reemplazamos esto último en la definición de sensibilidad obtendremos Ω

$$S = \frac{1}{I_{\max}} = \frac{1}{\frac{V}{\Omega}} = \frac{\Omega}{V}$$

Es costumbre dar la sensibilidad de un instrumento tomando la tensión como unidad = 1 V. y de esta manera se expresa como "ohms per volt".

Ejemplo:

Supongamos tener un instrumento que necesita 0,001 A = 1 mA para máxima deflexión. De ello su sensibilidad será

$$S = \frac{1}{I_{\max}} = \frac{1}{0,001} = 1000 \Omega/V$$

En la actualidad estos instrumentos con esta sensibilidad son muy comunes en el mercado.

Los instrumentos más usuales para medidas universales (Testers o multímetros V.O.M.) tienen una corriente máxima de 0,000050 A = 50 μ A. De esta manera la sensibilidad será

$$S = \frac{1}{I_{\max}} = \frac{1}{0,000050} = 20.000 \Omega/V$$

Las firmas que producen instrumentos de muy buena calidad han lanzado al mercado hace pocos años instrumentos con sensibilidad de 200.000 Ω/V y recientemente los de 1 M Ω/V .

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del instrumento para saber la cantidad de ohms que deberá tener la resistencia total del mismo por cada volt que exista entre sus terminales.

En estos últimos instrumentos de muy alta sensibilidad, la suspensión de la bobina móvil se hace con una fina cinta que a la vez es la que provee el par antagónico.

1.4. Potencia consumida por el instrumento.

Generalmente la resistencia de la bobina del instrumento está entre $10\ \Omega$ y $500\ \Omega$.

Suponemos entonces que se tiene un instrumento de $1000\ \Omega/V$ con una resistencia de la bobina de $10\ \Omega$.

La corriente máxima del instrumento es pues 1 mA .

La potencia necesaria para mover la bobina será

$$W = I^2 R = (0,001)^2\text{ A} \times 10\ \Omega = 10\ \mu\text{ W}$$

Si suponemos un instrumento con una sensibilidad de $20.000\ \Omega/V$ y una resistencia en su bobina de $200\ \Omega$

$$W = I^2 R = (0,000050)^2\text{ A} \times 500\ \Omega = 1,25\ \mu\text{ W}$$

De estos cálculos se deduce que todo el sistema móvil del instrumento debe ser de poca masa y con sus rozamientos disminuidos al mínimo, es decir un sistema de precisión.

1.5. Exactitud del Instrumento.

Se define como error absoluto del instrumento a la diferencia entre el valor indicado por el instrumento A_i y el valor real A_r .

$$\Delta = A_i - A_r$$

Este error absoluto puede ser positivo o negativo.

La relación del error absoluto con el valor total de la escala $A_{\text{máx}}$ se llama error relativo del instrumento

$$\delta = \frac{\Delta}{A_{\text{máx}}}$$

El error relativo de la medición causado por el error relativo del instrumento estará dado por:

$$\delta_{\text{máx}} = \frac{\Delta}{A_r} = \delta \cdot \frac{A_{\text{máx}}}{A_r}$$

Por este motivo se trata de hacer las mediciones siempre en los 2/3 últimos de la escala del instrumento.

Los instrumentos se encuentran divididos en clases de exactitud según el máximo error relativo admisible para cada clase. Las clases de los instrumentos según las normas europeas son:

0,1 - 0,2 - 0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,5 - 5,0

Estos números indican el % de error relativo máximo del instrumento.

Así por ejemplo un instrumento clase 1,5 no debe acusar lecturas con errores mayores que 1,5% a fondo de escala.

1.6. Simbolos normalizados sobre Cuadrantes de Instrumentos.

Para tener una orientación rápida sobre qué tipo de instrumento se está usando y cómo debe usárselo, se han normalizado los símbolos que deben figurar sobre los cuadrantes de los instrumentos y que pueden verse en Tabla 2 y Tabla 3.

T A B L A 2

SIMBOLOS INDICADORES DEL SISTEMA MOTOR

1 Magneto-eléctrico de bobina móvil		11 Electrodinámico de bobinas cruzadas	
2 Magneto-eléctrico de bobinas cruzadas		12 Ferrodinámico	
3 Magneto-eléctrico de imán móvil		13 Ferrodinámico de bobinas cruzadas	
4 Magneto-eléctrico diferencial de imán móvil		14 De inducción	
5 Magneto-eléctrico de bobina móvil y convertidor termoelectrico directo.		15 De inducción diferencial	
6 Magneto-eléctrico de bobina móvil y convertidor termoelectrico indirecto		16 De hilo caliente (electrotérmico)	
7 Magneto-eléctrico de bobina móvil y rectificador de contacto		17 Electrostático	
8 Electromagnético		18 Electromagnético de resonancia (de vibración)	
9 Electromagnético diferencial		19 Electrónico	
10 Electrodinámico		20 Electrolítico	

T A B L A 3SIMBOLOS INDICADORES DEL USO

1	Corriente continúa	—
2	Corriente alterna	~
3	Corriente continúa y alterna	≡
4	Corriente trifásica con un sistema medidor	≡
5	Corriente trifásica con dos sistemas	≡
6	Corriente trifásica con tres sistemas	≡
7	Posición vertical del instrumento	⊥
8	Posición horizontal del instrumento	⌊
9	Posición inclinada del instrumento (P. e. a 60°)	∠ ₆₀
10	Blindaje magnético	○
11	Clase del instrumento (P.e. 0,5)	0,5
12	Tensión de prueba de aislación (P.e. 2 kV)	☆ _{2kV}
13	Posición del instrumento con relación al campo terrestre	↑

1.7. Galvanómetro

Este instrumento es de muy alta sensibilidad y puede medir fácilmente nA y hasta μA .

Básicamente es similar al instrumento de D'Arsonval pues es una bobina sumergida en un campo magnético pero la diferencia con el primero es su sistema de suspensión y su sistema de indicación. En el galvanómetro la suspensión está hecha con una cinta de plata o también bronce (hilo de cuarzo plateado) cuya longitud es de aproximadamente unas 10 veces el ancho máximo de la bobina.

Dicha cinta es del orden de 100μ de ancho por unos 10μ de espesor. Este sistema de suspensión elimina los rozamientos en los pivotes y da mayor sensibilidad al instrumento.

El sistema de indicación y lectura está constituido por un espejito muy pequeño colocado sobre el eje de giro de la bobina. Este espejito puede ser hecho con un trozo muy pequeño de mica plateada o con cubre-objetos de microscopio. Una lámpara y un pequeño sistema óptico provee un haz de luz que incide sobre el espejo y se refleja sobre una escala graduada.

Es necesario hacer notar que al moverse el espejito por moverse la bobina, el haz de luz se mueve un ángulo doble según las leyes de reflexión en óptica. Esto duplica la sensibilidad del instrumento. Al eliminarse la aguja la inercia de todo el sistema disminuye lo suficiente como para que la sensibilidad aumente en una forma tan apreciable. Figura 4.

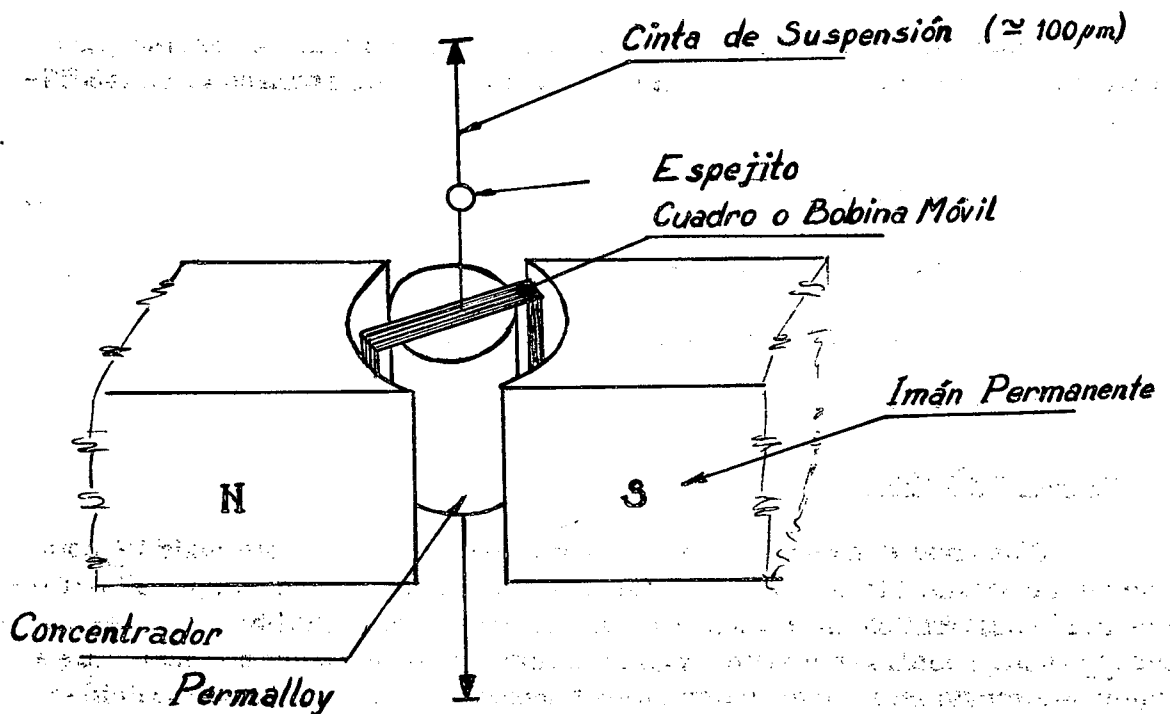


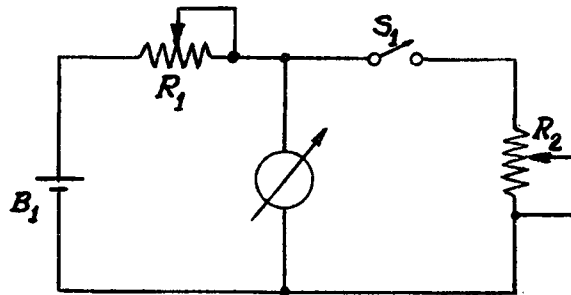
Figura 4

La cinta metálica para suspender la bobina se puede obtener fácilmente, desenrollándola de los hilos metalizados para bordados. Dicho hilo es un núcleo de algodón con un envoltorio helicoidal de la cinta metálica.

El galvanómetro es así un instrumento de muy elevada sensibilidad y cuya construcción puede encararse personalmente.

1.8. Determinación de la Resistencia interna de un instrumento de bobina móvil e imán permanente.

Se da a continuación un método relativamente sencillo de muy buena precisión para la determinación de la resistencia interna del instrumento. Para ello se utiliza el circuito de la figura 5.



Instrumento

Figura 5

Los valores del circuito que se darán son generales si bien hay que aclarar que para algunos instrumentos especiales puede ser necesario modificarlos.

B_1 = Pila o batería 1,5 v

R_1 = Resistencia variable del orden de 50 $K\Omega$.

R_2 = Resistencia variable del orden de 1000 Ω .

S_1 = Llave.

Método de la Medición :

Se arma el circuito como se muestra en la figura 5 colocando R_1 con su máximo valor, luego se ajusta tal que la corriente que circula por el instrumento lo haga deflexionar a plena escala. Luego se cierra la llave S_1 y se ajusta R_2 hasta que el instrumento indique la mitad de su escala. Sin mover R_2 se quita y se mide su resistencia en un instrumento que permita dicha medición con buena aproximación. El valor medido es igual al valor de resistencia interna del instrumento.

1.9. Amperímetro

Amperímetro es el instrumento de medición donde el momento motor es directamente proporcional a la intensidad que circula a través del sistema medidor.

Si consideramos el instrumento del tipo D'Arsonval, el alcance del mismo conectado en forma directa para medir corriente no puede ser muy grande. La razón de ello es muy simple, pues los resortes antagónicos que sirven a la vez para conducir la corriente a la bobina admiten una densidad de corriente pequeña.

Esta razón hace que la máxima intensidad de corriente admisible para este instrumento no sobrepase los 0,5 A.

Para medir intensidades mayores que las que admite el elemento móvil, se conecta en paralelo una resistencia de valor conocido y calibrado llamada Shunt. Por el elemento móvil circula entonces únicamente una fracción de la intensidad que circula por todo el sistema, como puede verse en la figura 6.

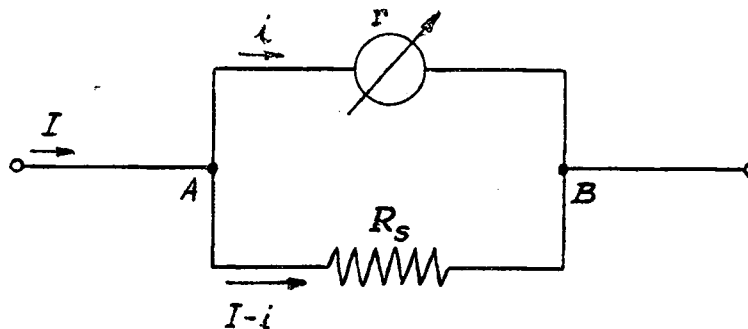


Figura 6

Para que el sistema se comporte correctamente deberá cumplirse que la caída de tensión entre los puntos A y B, debe ser igual para el instrumento que para el Shunt.

O sea que debe cumplirse que.

$$i \cdot r = (I - i) R_s \quad (1)$$

$$i \cdot r = I \cdot R_s - i R_s \quad \therefore \quad I \cdot R_s = i \cdot r + i R_s \quad (2)$$

$$I = \frac{i \cdot r + i R_s}{R_s} = i \frac{r + R_s}{R_s} = i \left(\frac{r}{R_s} + 1 \right)$$

$$I = i \left(\frac{r}{R_s} + 1 \right) \quad (3)$$

De esta manera conociendo la corriente máxima del instrumento (i) y la relación de resistencias $\left(\frac{r}{R_s}\right)$ se puede saber la ampliación de la escala.

Ejemplo:

Suponemos tener un instrumento de $10.000 \Omega / v$ y una resistencia interna de 250Ω .

Por la sensibilidad del instrumento sabemos que la máxima corriente que admite para indicar plena escala es $100 \mu A$.

Por la ley de Ohm sabemos que la máxima tensión admisible entre sus extremos serán $25 mV$.

Se desea con este instrumento construir un amperímetro que sea capaz de medir corriente continua en 8 escalas de $100 \mu A$, $1 mA$, $25 mA$, $100 mA$, $500 mA$, $1 A$, $5 A$, y $10 A$.

a) Para la escala de $100 \mu A$ el instrumento no necesitará Shunt, pues es la máxima corriente que puede pasar por su bobina.

b) Para la escala de $1 mA$

De la ecuación (1) sabemos que $i \cdot r = 0,0001 A \times 250 \Omega = 25 mV$ por otra parte $I - i = 0,001 - 0,0001 = 0,0009 A$.

Por la misma ecuación (1)

$$(I - i) \cdot R_s = 0,025 v \quad R_s = \frac{0,025 v}{(I - i) A}$$

$$R_s = \frac{0,025 v}{0,0009 A} = 27,777 \Omega$$

c) Escala de $25 mA$

$$I - i = 0,025 - 0,0001 = 0,0249 A$$

$$R_s = \frac{0,025 v}{0,0249 A} = 1,00401 \Omega$$

d) Escala de $100 mA$

$$I - i = 0,1 - 0,0001 = 0,0999 A$$

$$R_s = \frac{0,025 v}{0,0999 A} = 0,2502 \Omega$$

e) Escala de 500 mA

$$I - i = 0,5 - 0,0001 = 0,4999$$

$$R_s = \frac{0,025 \text{ V}}{0,4999 \text{ A}} = 0,05001 \, \Omega$$

f) Escala de 1 A

$$I - i = 1 - 0,0001 = 0,9999 \text{ A}$$

$$R_s = \frac{0,025 \text{ V}}{0,9999 \text{ A}} = 0,0250025 \, \Omega$$

g) Escala de 5 A

$$I - i = 5 - 0,0001 = 4,9999$$

$$R_s = \frac{0,025 \text{ V}}{4,9999 \text{ A}} = 0,0050001 \, \Omega$$

h) Escala de 10 A

$$I - i = 10 - 0,0001 = 9,9999$$

$$R_s = \frac{0,025 \text{ V}}{9,9999 \text{ A}} = 0,0025 \, \Omega$$

1.10 Amperímetro de corriente alternada.

Para mediciones de corriente alternada no se utiliza el clásico instrumento de D'Arsonval pues éste sólo puede utilizarse en corriente continua.

Para el caso que ahora nos ocupa se utiliza el instrumento de "Hierro Móvil" o los instrumentos "electrodinámicos".

En el instrumento de Hierro móvil se usa el principio de atracción y/o repulsión de piezas ferromagnéticas que son magnetizadas por la corriente que se desea medir.

Hay varios sistemas y dos de ellos se muestran en las figuras 7 y 8.

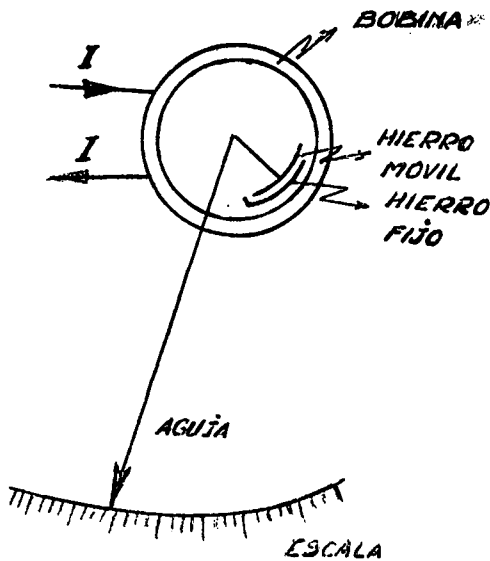


Figura 7

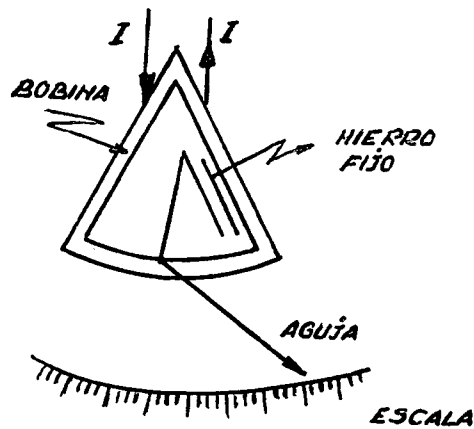


Figura 8

Estos instrumentos se utilizan hasta 250 a 300 A.

Tienen una respuesta netamente cuadrática pues el par motor es proporcional a $(I \text{ eficaz})^2$. Pueden medir con buena precisión aunque la corriente tenga un contenido de armónicas de hasta 30 %.

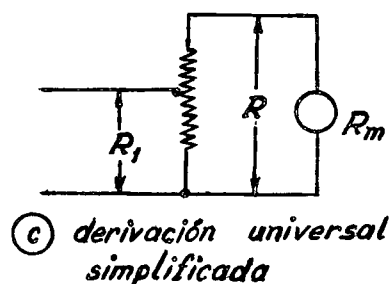
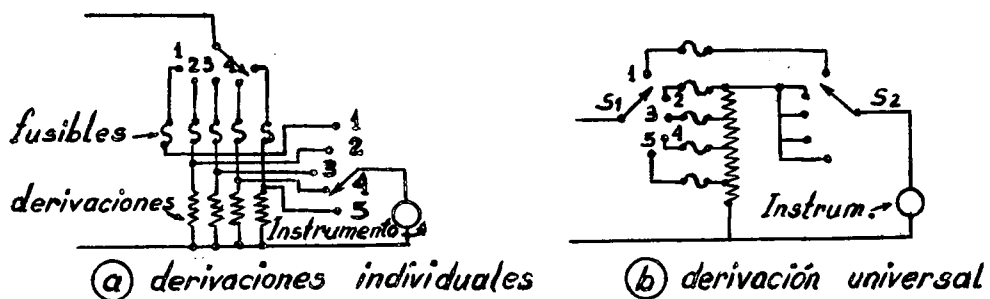
En el instrumento electrodinámico la aguja en vez de ser solidaria a una placa de hierro, es solidaria a una bobina que también hay que energizar. La disposición física es también distinta. Los de Fe móvil pueden llegar hasta frecuencias de 250 c/s, mientras que los electrodinámicos pueden llegar hasta 2500 c/s.

Amperímetros de varios rangos: Cuando se prepara un instrumento para la medición de corrientes con cierto número de rangos debe cuidarse de disponer el circuito de manera que las resistencias de contacto y del fusible no queden incluidas en la resistencia de derivación o "shunt". La Figura 9 representa algunos circuitos apropiados. Cada una de las disposiciones requiere una llave de dos secciones y del tipo de cortocircuito. Se observará, en ambos circuitos, que la resistencia del fusible y la resistencia del contacto de la llave S_1 quedan en el circuito de línea, y no producen efecto sobre la relación de multiplicación. El contacto de la llave S_2 queda en serie con la resistencia del instrumento, que es de valor mucho mayor, y no introduce error apreciable siempre que la llave esté en buenas condiciones. En el circuito representado en la Figura 9a, se ajusta individualmente cada derivación hasta obtener el

alcance indicado. El análisis del circuito universal de derivación simplificado, dibujado en la figura 9b, demuestra que la relación multiplicadora relativa es proporcional a R/R_1 , es independiente de la resistencia del instrumento y también de la resistencia total de derivación R . Por lo tanto si se toman puntos intermedios de la resistencia R , tales que la relación $R/R_1 = 1, 2, 5, 10$, entonces los factores relativos de multiplicación en estos mismos puntos serán 1, 2, 5 y 10 respectivamente, y son constantes cualquiera sea la resistencia del instrumento. La resistencia total R de la derivación universal debe ser de valor tal que en la posición 2 en la figura 9c se obtenga la desviación a plena escala.

Las derivaciones del tipo representado en la figura 9d, para rangos de corriente hasta 1 ampere, pueden construirse arrollando el alambre en pequeños carretes provistos de un agujero axial para el montaje. El "shunt" universal puede arrollarse sobre una lámina aislante. El material utilizado para su construcción es el cobre o cualquier alambre para resistencia de que se disponga (1). El único factor que debe tenerse presente es que las resistencias preparadas con "advance" "nichrome", etc., generarán, inmediatamente de haber sido sometidas a la acción del soldador, una tensión termoeléctrica suficiente para causar pequeñas desviaciones en los miliamperímetros o microamperímetros. Esto puede ocurrir también cuando están instaladas en lugares muy calientes. Para impedir la producción de este efecto, debe usarse cobre o manganina.

Figura 9



1.11 Voltímetro

En el voltímetro también la deflexión de la aguja es proporcional a la corriente que circula. Por tener en serie resistencias multiplicadoras, esta corriente también será proporcional a la tensión aplicada a sus bornes. Se llega así a la conclusión, que la deflexión de la aguja será proporcional a la tensión aplicada a los bornes del sistema.

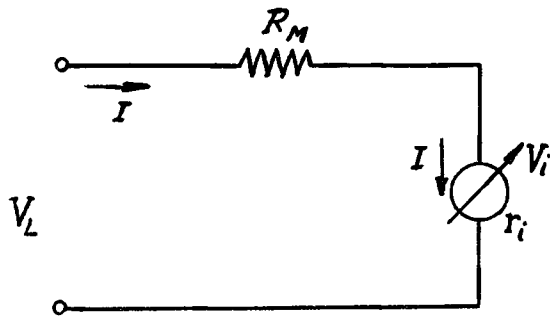


Figura 10

Se define el factor multiplicador N como la relación entre la tensión de línea V_L y la tensión en el instrumento V_i $N = \frac{V_L}{V_i}$

La tensión de línea será también el producto de la corriente que es común al instrumento y a la resistencia multiplicadora por la resistencia total del circuito $R_M + r_i$

$$V_L = N V_i = N i r_i$$

$$i R_M + i r_i = N i r_i$$

$$V_L = i R_M + i r_i$$

$$i R_M = N i r_i - i r_i \Rightarrow R_M = N r_i - r_i$$

$$R_M = r_i (N - 1)$$

En un voltímetro la corriente total nunca debe ser mayor que la máxima que admite el instrumento de bobina móvil. Como $V = R i$ y R es la total del instrumento, ello fija la tensión $V_{\max}$ para cada R multiplicadora.

Ejemplo:

Suponemos tener un instrumento de $100 \mu A$ con una resistencia interna de 250Ω . La tensión máxima admisible en el instrumento son $25 mV$.

Se desea con este instrumento construir un voltímetro que en 7 escalas pueda medir hasta: $25 mV$ - $500 mV$ - $5 V$ - $50 V$ - $100 V$ - $250 V$ y $500 V$.

Escala de 25 mV

En este caso el instrumento irá conectado directamente a la tensión a medir.

Escala de 500 mV

$$N = \frac{500 mV}{25 mV} = 20 \text{ es el factor multiplicador}$$

$$R_m = 250 (20 - 1) = 4750 \Omega$$

Escala de 5 V

$$N = \frac{5 V}{0,025 V} = 200$$

$$R_m = 250 (200 - 1) = 49.750 \Omega$$

Escala de 50 V

$$N = \frac{50 V}{0,025 V} = 2000$$

$$R_m = 250 (2000 - 1) = 499.750 \Omega$$

Escala de 100 V

$$N = \frac{100 V}{0,025 V} = 4000$$

$$R_m = 250 (4000 - 1) = 999.750 \Omega$$

Escala de 500 V

$$N = \frac{500 V}{0,025 V} = 20.000$$

$$R_m = 250 (20.000 - 1) = 4.999.750 \Omega$$

Voltímetros de varios rangos: Los circuitos para multiplicadores de voltímetros, están representados en la figura 11. Ambas disposiciones dan resultados igualmente satisfactorios aunque la indicada con a es un poco más

económica en cuanto a la cantidad de resistencias. La llave dibujada es preferiblemente del tipo de topes, y debe poseer elementos de cortocircuito: o sea que, cuando el cursor pasa de un contacto al siguiente, debe poner momentáneamente en cortocircuito ambos contactos en lugar de dejar abierto el circuito. Deben elegirse las resistencias en forma tal que en cada posición de la llave, la resistencia total en el circuito, incluyendo el fusible y el instrumento, posea el valor apropiado. En los instrumentos de alta precisión las resistencias multiplicadoras se construyen con alambre de coeficiente de temperatura igual a cero, tal como la manganina; y deben funcionar con una elevación de la temperatura relativamente pequeña. Sin embargo si la precisión garantizada para el instrumento es del orden de 1 a 2 %, resulta prácticamente adecuada cualquier resistencia de alambre, siempre que funcione a una disipación considerablemente inferior a la nominal.

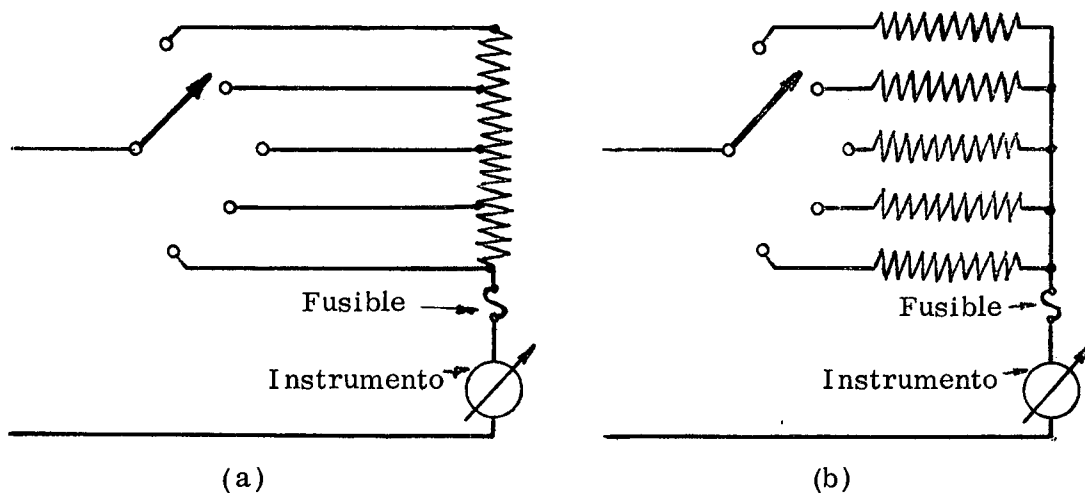


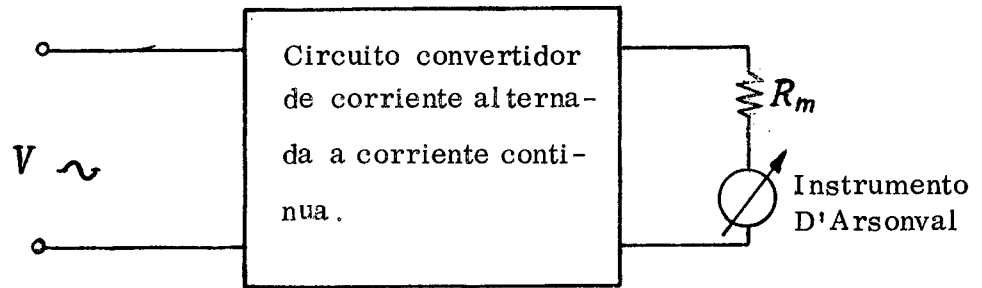
Figura 11. - Circuitos multiplicadores para voltímetros.

1.12 Medición de tensiones alternadas

Para las mediciones de tensiones en corriente alternada sucede igual que en el caso de los amperímetros. El voltímetro hasta ahora descrito no se lo puede usar.

Para medir tensiones alternas cuando el uso es de tipo industrial, es decir que no hace falta gran sensibilidad, se utilizan los voltímetros con instrumento de hierro móvil o instrumentos electrodinámicos. Las resistencias multiplicadoras se calculan igual que para el ejemplo que se mostró. Cuando es necesario tener un voltímetro de mucha sensibilidad es preciso disponer de un instrumento medidor tipo D'Arsonval, pero como éste no responde a corrientes alternadas se realiza el siguiente artificio:

Figura 12



Se intercala entre la tensión alterna y el instrumento un circuito convertidor de corriente alternada a corriente continúa. Dicho circuito es un rectificador que puede ser simple, figura 13, o en un montaje tipo puente, figura 14.

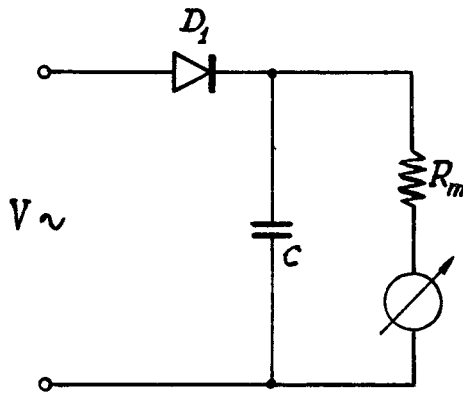


Figura 13

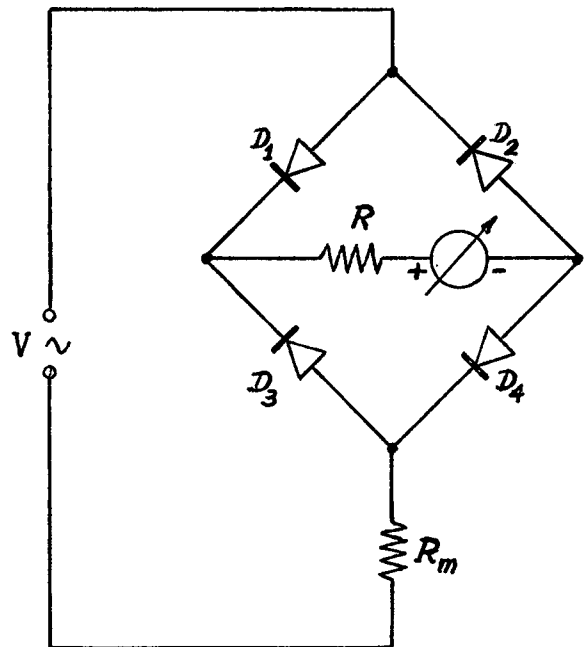


Figura 14

En el circuito de la figura 13 debe tenerse en cuenta que el capacitor C se carga casi a la tensión de pico de la onda que se mide y por consiguiente es necesario recalibrar la escala del instrumento en valores de tensiones eficaces, puesto que las tensiones alternadas como también las corrientes alternadas se las designa por su valor eficaz o valor RMS (Root Mean Square) o raíz media cuadrática.

En el circuito de la figura 14 se aumenta el rendimiento del sistema rectificador merced a la disposición puente de los diodos.

Es necesario hacer notar que estos instrumentos generalmente no tienen escalas inferiores a los 500 mV debido a que los diodos tienen una característica tensión-corriente que no es lineal.

NOTA: El comportamiento de los instrumentos para la medición de corrientes alternadas, cuando se aplican a corrientes no sinusoidales es de particular importancia porque estos instrumentos están, prácticamente siempre, calibrados en valores eficaces de corriente sobre la base de ondas sinusoidales. Los instrumentos a hierro móvil, alambre caliente y termocupla, dan lecturas exactamente proporcionales al valor eficaz de la onda. Luego, si esta onda consiste en la suma de varios componentes de diferentes frecuencias, cuyas magnitudes son I_1 , I_2 , I_3 , etc., estos instrumentos darán la misma deflexión que correspondería a una onda sinusoidal de valor eficaz

$$I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots$$

La substitución en esta fórmula, demuestra que la presencia de 20% de segunda armónica, aumenta la lectura en 2%. La lectura no depende de la fase relativa de las varias armónicas.

Con instrumentos a rectificador y con voltímetros a válvula, la situación es un tanto diferente. El instrumento a rectificador da una desviación proporcional al valor medio de la onda rectificada, y las armónicas afectan este valor medio en una magnitud que depende no solamente de sus amplitudes, sino también de sus fases relativas. Con los voltímetros a válvula, el comportamiento depende del ajuste y es posible hacer que las indicaciones sean proporcionales al valor eficaz de la onda, al valor medio del semiciclo positivo de la onda, al valor medio del semiciclo positivo o al valor de cresta o amplitud.

1.13 Ohmetro

Este instrumento permite medir resistencias en buena aproximación cuando los materiales empleados en su construcción tienen tolerancias estrechas. El principio básico de este instrumento es la utilización práctica de la ley de Ohm.

Se tiene una pila o batería que da una tensión constante V . El instrumento mide la corriente que circula, que va a ser inversamente proporcional a la resistencia desconocida que se intercala en el circuito.

Generalmente tienen el aspecto básico de la figura 15 para medir altas resistencias y el aspecto de la figura 16 para medir bajas resistencias.

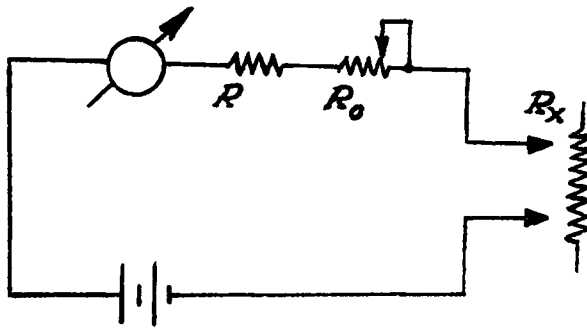


Figura 15

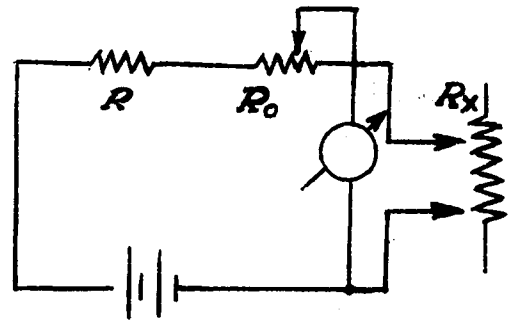
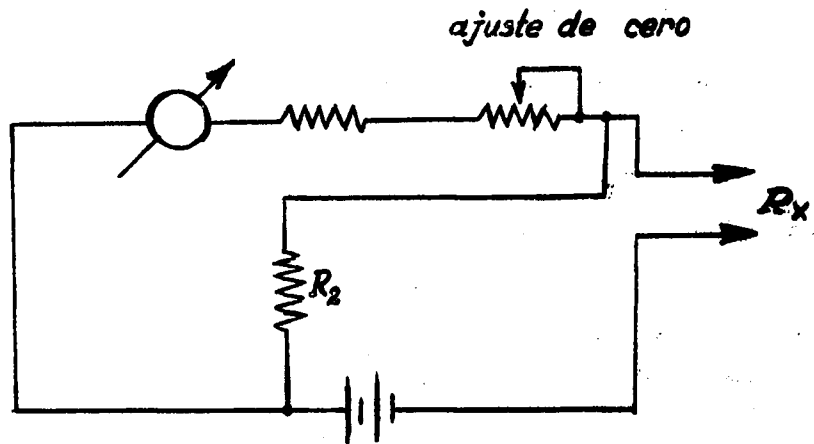


Figura 16

El procedimiento para hacer la medición es sin la resistencia que se desea medir juntar las puntas de prueba y con R_0 ajustar la corriente para que el instrumento a fondo de escala marque $R = 0$. Luego se conecta entre las puntas de prueba la resistencia a medir y se lee en la escala pre-calibrado el valor de la misma.

Se puede tener ambos instrumentos (medición de Resistencias altas y bajas) combinados en uno solo como se muestra en la figura 17.

Figura 17



R_2 es la resistencia que puede producir cambios de escalas.

1.14 Tester ó Multímetro

El tester o multímetro es un instrumento en el cual están combinados el voltímetro, el amperímetro, y el ohmetro. El alma del tester es el instrumento D'Arsonval y una llave de múltiples contactos.

Mejor será la calidad del tester cuanto mayor sea la sensibilidad del instrumento D'Arsonval.

La llave de múltiples contactos es la que selecciona la "función" que se va a utilizar (tensión continua, tensión alterna, ohms, ó corriente continua) y además los alcances en cada una de las escalas.

Como estos instrumentos son generalmente usados en telecomunicaciones y electrónica no poseen por lo general posibilidades de medir "corriente alternada" y las escalas de corriente continua generalmente no son superiores a los 500 mA. Algunos testers de buena calidad tienen la posibilidad mediante una conexión extra de medir hasta 10 A.

Mediante otra serie de artificios estos aparatos pueden medir valores de resistencias muy altas, capacidades, inductancias, decibeles, radiofrecuencia y muy altas tensiones, del orden de los 20 Kv. En la llave selectora está claramente indicada la función (generalmente con diversos colores) y también la escala que se está usando.

Tanto en las mediciones de tensión como de corriente, si no se conoce la magnitud a medir, es conveniente comenzar con las escalas mayores.

1.15 Concepto de impedancia de entrada de un instrumento.

Todos los elementos físicos que se utilizan en electricidad y electrónica como: resistencias, inductancias, capacitores, transformadores, puede representárselos esquemáticamente por un elemento puramente resistivo más un elemento puramente reactivo.

Cuando estos elementos físicos son alimentados con corrientes alternadas se va a disipar una energía en forma calórica en la porción puramente resistiva mientras que la porción reactiva (capacitiva o inductiva) va a almacenar energía en 1/4 de ciclo y la entregará en el cuarto siguiente. La parte reactiva, a pesar de no disipar potencia, influye sobre lo que podría llamarse resistencia total del elemento, que se denomina "impedancia" "Z" que también se mide en ohms.

Matemáticamente la impedancia se representa por un número complejo donde la parte real es la suma de todas las resistencias puras y la parte imaginaria es la suma algebraica de todas las "resistencias reactivas"

que se representa por X .

$$Z = R + j X$$

En los voltímetros especialmente para tensiones alternas la impedancia que el instrumento presenta a una fuente de energía eléctrica o a dos puntos en los cuales se va a medir la tensión se denomina "impedancia de entrada".

Se deduce fácilmente que cuanto mayor sea la impedancia de entrada de un instrumento (en este caso voltímetro) menor será la perturbación que introducirá en el circuito en que se mida. En un voltímetro dicha Z está formada por

- a) el valor resistivo de: cables, resistencias multiplicadoras, resistencia dinámica del rectificador, resistencia de la bobina del instrumento, y
- b) el valor reactivo de: inductancias de cables, y resistencias y capacidades de conexionado y las capacidades distribuidas de las resistencias.

Por otra parte la impedancia es directamente dependiente de la frecuencia de la corriente que por ella circule.

Cuando se desea medir tensión alterna de pequeño valor sobre una impedancia alta, los voltímetros hasta ahora descriptos son muy defectuosos.

1.16 Voltímetros electrónicos.

Hace ya muchos años el ingenio del hombre ayudado por las válvulas electrónicas desarrolló los voltímetros a válvula (Vacum Tube Volt Meter V T V M) que tienen la virtud de tener una impedancia constante de aproximadamente $11\text{ M}\Omega$ en todas las escalas y que además es aproximadamente constante hasta frecuencias altas, generalmente hasta 5 ó 10 MHz.

La aparición de los semi conductores de silicio y germernio como lo son los diodos y transistores y más recientemente los transistores de efecto de campo (Field -Effect-Transistor FET) ha hecho que los VTVM sean más pequeños, más compactos y con mejores impedancias de entrada. Con cualquier FET convencional es posible tener impedancias de entrada del orden de los $50\text{ M}\Omega$.

Más recientemente, con la aparición de los MOSFET ó (Metal-Oxide-Semiconductor, Field-Efect Transistor), se pueden obtener impedancias de entrada del orden de 10^{13} a $10^{14}\Omega$ y se puede llegar a medir hasta frecuencias de varios cientos de MHz.

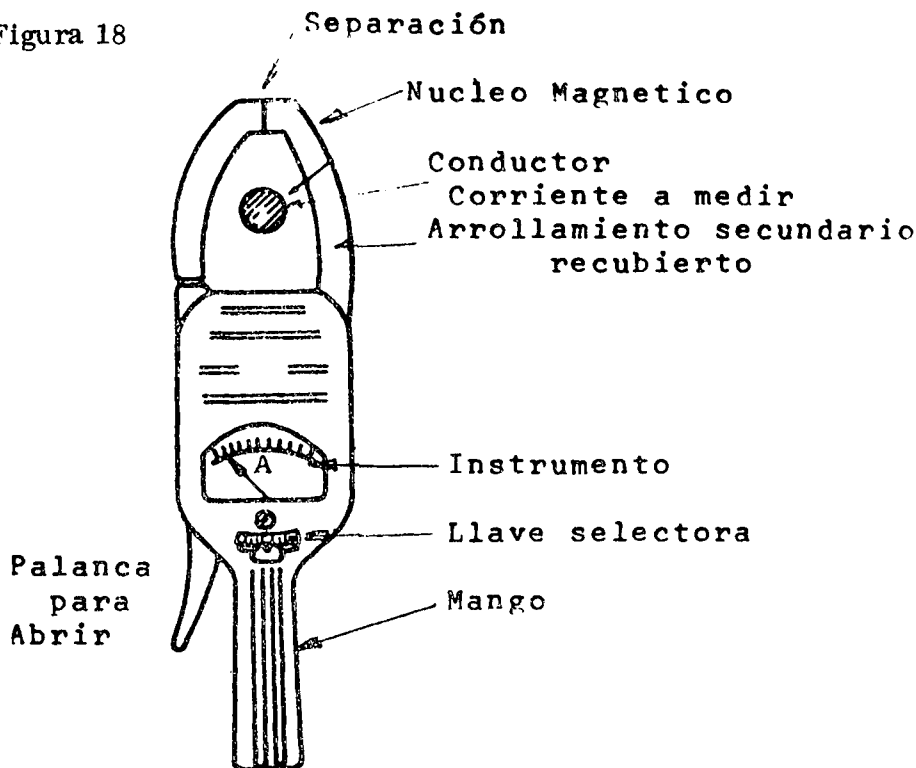
1.17 Pinza Amperométrica-Instrumento de alambre caliente.

La pinza amperométrica tiene la virtud de permitir medir la corriente que circula por un conductor "sin interrumpirlo" para intercalar el instrumento medidor.

Esencialmente es un transformador cuyo primario es el conductor por el cual circula la corriente a medir. El secundario es un arrollamiento sobre un material magnético que está dispuesto en forma circular, interrumpido en un punto y articulado cual una pinza, en el punto diametralmente opuesto. El circuito secundario alimenta un instrumento capaz de medir corriente alterada y que se encuentra alojado en el mismo mango de la pinza.

El conjunto puede verse esquemáticamente en la figura 18.

Figura 18

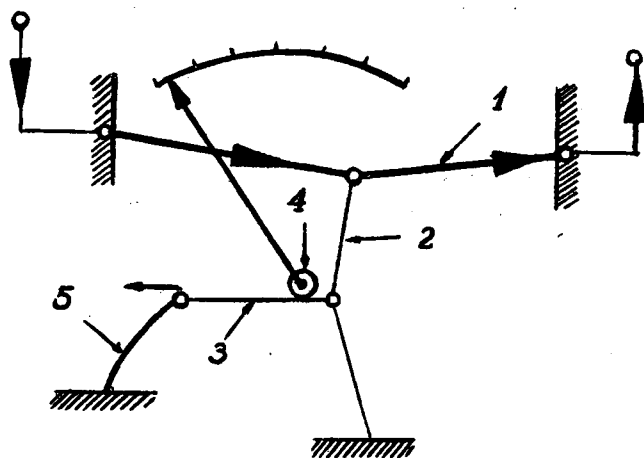


Es de hacer notar que estas pinzas permiten sólo medir corrientes alternadas y generalmente para valores muy grandes. Las escalas más pequeñas son generalmente de 5 ó 10 A. Se utilizan para mediciones industriales en motores y líneas de transmisión.

Los instrumentos de alambre caliente, han sido muy usados tiempo atrás para la medición de corrientes en radiofrecuencia, pero en la actualidad están virtualmente abandonados. Utilizan un delgado alambre de resistencia, estirado entre dos puntos de sostén. Cuando se calienta este alambre se dilata ligeramente y desvía una aguja ligada mecánicamente con él, que indica la magnitud de la dilatación y por lo tanto permite medir la corriente.

Esquemáticamente se lo muestra en la figura 19.

Figura 19



La resistencia por la cual circula la corriente a medir está suspendida en sus extremos. En un punto intermedio de ésta está amarrado un fino alambre cuyo otro extremo está sujeto a la carcasa del instrumento. Del punto medio de este último alambre sale un hilo de seda que está arrollado en un tambor que sujeta la aguja. El otro extremo del hilo de seda se halla sujeto a una lámina de acero que lo tensiona. Al dilatarse la resistencia por el paso de la corriente I todo el sistema se pone en movimiento y la aguja rota sobre un eje indicando el valor "eficaz" de la corriente que circula.

Este instrumento es de ley cuadrática, es decir su escala se va expandiendo en los valores mayores.

Su respuesta en frecuencia se extiende hasta el orden de los megaciclos o MHz.

C A P I T U L O 2

MEDICION DE TEMPERATURAS

2.1 Efectos Thomson - Peltier y Seebeck

Si bien una explicación completa de las fuerzas electromotrices térmicas es compleja, puede darse una explicación simple que haga razonable la existencia de este efecto.

Efecto Thomson: suponemos que una varilla metálica se sostiene con aisladores y que uno de sus extremos se calienta como se muestra en la Fig. 20 de modo de establecer un

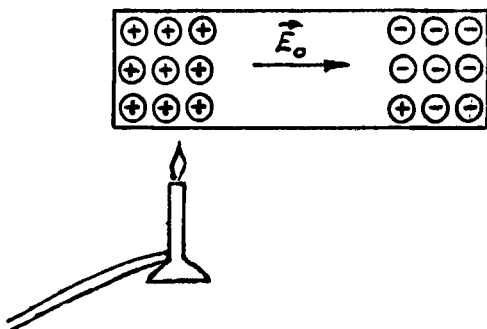


Fig. 20

gradiente de temperaturas a lo largo de la barra. Si suponemos a los electrones libres del metal como un gas, puede esperarse que la mayor temperatura en un extremo ocasionará un aumento de presión de este "gas de electrones" y habrá una difusión del mismo desde el extremo más caliente. La acumulación de cargas negativas en el extremo frío de la varilla crearía un campo eléctrico dentro de la varilla en el sentido representado por el vector $\vec{E}_0$. La difusión cesaría cuando la fuerza sobre los electrones, debida a este campo, tuviera un valor suficiente para compensar su tendencia a difundir a causa de la diferencia de temperatura.

Es un hecho comprobado experimentalmente que cuando existe una diferencia de temperatura en una varilla metálica se crea un campo eléctrico en la misma. Esta teoría no es del todo satisfactoria puesto que se ha descubierto que en algunos conductores

este campo está dirigido en sentido contrario. Es necesario aclarar que las fuerzas electromotrices (f.e.m.) de Thomson no son grandes sino de algunos milivoltios.

Efecto Peltier: cuando dos metales distintos pero a la misma temperatura se ponen en contacto por medio de una soldadura o un contacto ohmico muy bueno como se muestra en la Fig.21 habrá una difusión de electrones del uno al otro a menos que el "gas electrónico" tenga la misma presión en ambos conductores.

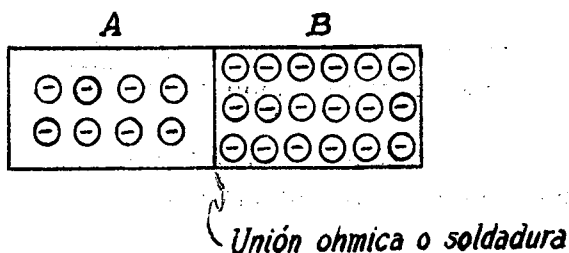


Fig.21

La reagrupación de electrones continúa hasta que se establece en la soldadura un campo eléctrico E de intensidad suficiente para que se establezca el equilibrio. La soldadura de ambos metales se convierte en el origen de la f.e.m. Peltier, en honor de Jean C. Peltier. Esta f.e.m. depende de ambos metales y de la temperatura de la soldadura.

Con una juntura hecha con antimonio y bismuto para los cuales la f.e.m. es inusualmente grande, no es difícil obtener enfriamiento de la juntura cuando la corriente que se haga circular por la juntura y la f.e.m. Peltier tienen el mismo sentido, esta f.e.m. es también del orden de algunos milivolts.

Efecto Seebeck: consideremos ahora un circuito cerrado formado por dos metales diferentes A y B como en la Fig. 22. Las soldaduras se encuentran a las temperaturas T_1 y T_2 . Hay pues un gradiente de temperatura en cada uno de los metales de modo que se creará en cada uno una f.e.m. Thomson.

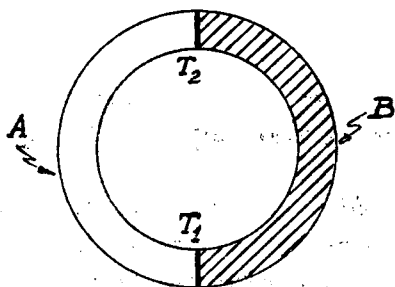


Fig. 22

Dado que las soldaduras están a distintas temperaturas las f.e.m. Peltier serán también distintas. De esta manera la f.e.m. neta del circuito será la suma algebraica de las dos f.e.m. Peltier y de las dos f.e.m. Thomson.

La f.e.m. neta por lo general no es nula y por consiguiente existirá una corriente en el circuito mientras ambas soldaduras estén a temperaturas diferentes. Este fenómeno fue observado por Thomas J. Seebeck en 1826 y esa f.e.m. neta se denomina fuerza electromotriz Seebeck.

El circuito de la Fig. 22 se denomina par termoeléctrico o termocupla. Las f.e.m. de las termocuplas nunca son muy grandes sino del orden de las decenas de milivolts.

Puede intercalarse en un circuito termoeléctrico un metal D sin modificar la f.e.m. siempre que las junturas AD y BD estén a igual temperatura Fig. 23 a y b.

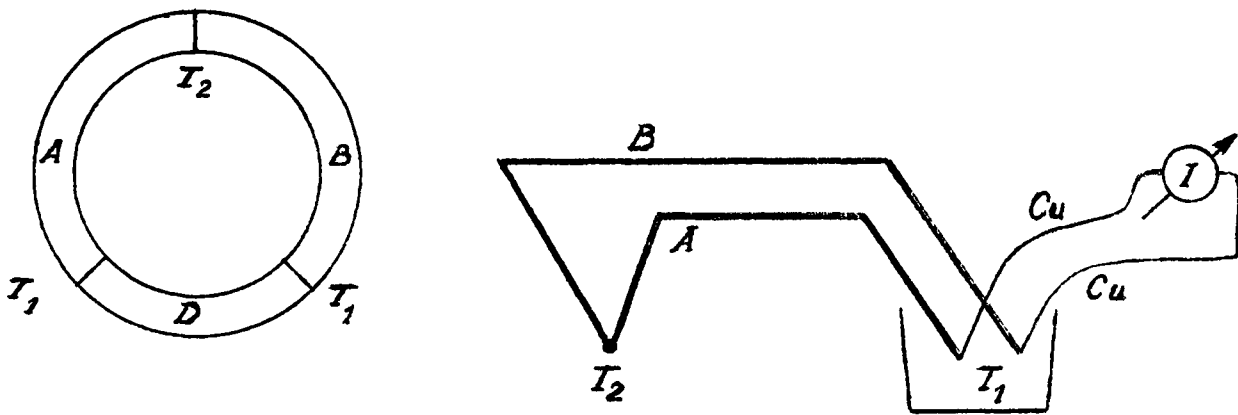


Fig. 23

Si la temperatura T_1 es 0°C entonces la corriente que circule por el instrumento será proporcional a la temperatura T_2 y midiendo sólo la corriente puede saberse la temperatura T_2 si se tiene una curva de calibración.

2.2 Termocuplas - Su construcción

Según se ha visto el efecto Seebeck es el responsable de la tensión eléctrica que se genera cuando se calienta la juntura de dos metales diferentes.

En muchos procesos, especialmente en metalurgia, es necesario conocer la temperatura y ésta no puede medirse con los termómetros de mercurio que en el mejor de los casos llegan hasta 400°C . Para temperaturas superiores y hasta los 2300°C se utilizan las termocuplas.

Cuando el par de metales usado da una tensión de Seebeck elevada como el caso de Cu-Constantan, puede construirse la termocupla retorciendo en un extremo dos alambres de dichos metales, como se muestra en la Fig. 24.

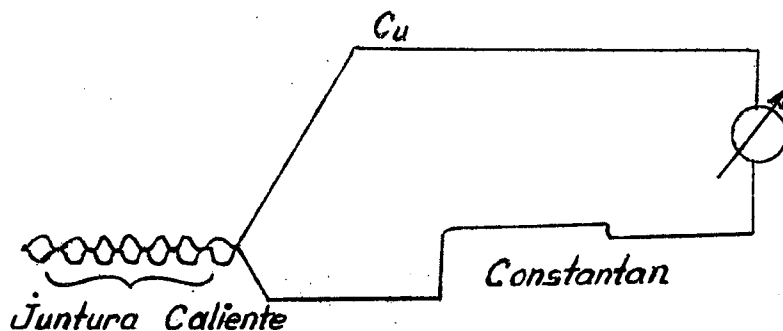


Fig. 24

Este tipo de construcción tiene la desventaja de poca rigidez mecánica y de falsos contactos entre los alambres. Por ello se prefiere construir la juntura caliente como una soldadura, es decir que haya una buena unión metalúrgica. La soldadura para los alambres es del tipo oxi-acetileno o eléctrica. Dependiendo del uso que va a tener la termocupla, si en procesos industriales o ensayos de laboratorio, se las hace con metales más robustos o más delgados.

El montaje y a veces los metales usados dependen de la atmósfera en la que deba funcionar. El par de metales también depende de la temperatura máxima que se desee medir.

Los extremos "fríos" pueden terminar en alambres de bronce que pueden estar plateados o dorados.

Usando termocuplas se puede medir bajas temperaturas y puede llegarse incluso hasta el 0° absoluto. Actualmente no suelen usarse termocuplas dado que tienen poca sensibilidad. Para medir bajas temperaturas se utilizan los termistores y aún las resistencias de compuestos de carbón.

2.3 Metales usados para termocuplas industriales y de laboratorio

La práctica ha hecho que se seleccionen algunos metales puesto que cumplen dos requerimientos fundamentales para las termocuplas. Estos requerimientos son:

- a) que la diferencia de potencial sea lo más elevada posible
- b) que la temperatura que soporta el extremo caliente sea lo más elevada posible.

Las termocuplas que cumplen el requerimiento a) nos permiten tener mayor sensibilidad para medir la temperatura, mientras que las que cumplan el requerimiento b) nos permitirán medir una gama de temperaturas más amplia.

Es evidente que lo ideal es la termocupla que cumpla ambas condiciones simultáneamente. Desafortunadamente no se cumple esto en la realidad. . A pesar de ello se han seleccionado pares de metales que pueden soportar hasta temperaturas muy altas y que pueden entregar una diferencia de potencial suficiente para tener una buena apreciación de la temperatura. En orden creciente de temperaturas las termocuplas más usadas son:

TABLA 4

<u>Par de metales</u>	<u>Temperatura hasta la la que se puede usar</u>	<u>Tensión en mV/°C</u>
Cobre-Constantan	500°C	0,04
Hierro-Constantan	600°C	0,04
Cromel-Alumel	1300°C	0,0488
Niquel-Niquel Cromo	1300°C	0,0488
Platino-Platino Rhodio *	1600°C	0,015
Tungsteno-Tungsteno Rhenio (25%)**	2300°C	0,0173

* La aleación Platino-Platino Rhodio hay con porcentajes fijos de 10 y 13% de Rhodio

** La aleación Tungsteno-Tungsteno Rhenio hay con porcentajes de 10 y 25% de Rhenio.
Esta termocupla debe usarse en vacío.

Los pares que contienen Cu y/o Fe tienen limitada la temperatura de uso por la oxidación del Cu y del Fe. El Constantan es muy poco oxidable, es una aleación Cu-Ni con un coeficiente de variación de resistencia con la temperatura muy bajo. Juntamente con la "manganina" se los suele usar para construir resistencia patrones por ser muy estables con variaciones de temperatura.

Las termocuplas industriales cuyo uso es medir temperaturas en hornos de procesos y controlarlas, están construidas con alambres gruesos y la mayoría de ellas envainadas para protegerlas de la oxidación y erosión en el interior del horno.

Para mediciones y control en ensayos de laboratorio generalmente se utiliza el par Cromel-Alumel, alambres del orden de 0,5 a 0,8 mm de diámetro.

2.4 Construcción del "Punto Frío"

En una termocupla se denomina punto Frío a la temperatura que tienen los puntos de unión del par termoeléctrico al instrumento o a un par de conductores que llevan la tensión hasta el instrumento. La construcción del punto frío depende pura y exclusivamente de la precisión que se desee tener en la medición de la temperatura. Cuando no es necesario tener mucha precisión y se está midiendo en el orden de los 900 a 1000°C se utiliza como punto frío la temperatura ambiente. Con esta disposición se está midiendo con un error de aproximadamente 5%.

Si se desea tener con mayor exactitud la temperatura que se mide habrá que restar la temperatura ambiente que deberá ser medida en el lugar donde se encuentra la junta fría.

Supuesto que la temperatura ambiente sea de 20°C, si la lectura que se tiene en el instrumento es 1000°C la temperatura real del punto caliente será:

$$T_{\text{real}} = 1000^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 980^{\circ}\text{C}$$

Punto frío a 0°C: Si por algún método logramos que la junta fría esté a 0°C entonces la junta caliente nos dará una tensión indicadora de su temperatura. En ensayos de laboratorio es fácil construir este punto frío de la siguiente manera, Fig. 25.

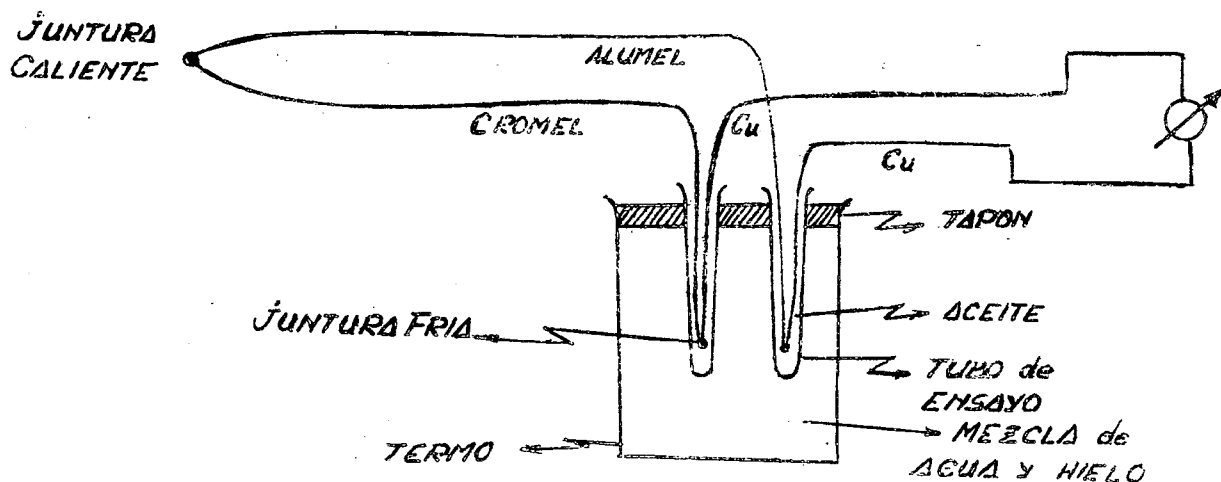


Fig 25

Generalmente, en ensayos de laboratorio se utiliza el par Cromel-Alumel de 0,4 a 0,8 mm de diámetro.

El aceite que se coloca dentro de los tubos de ensayo es para que haga una buena transmisión de la temperatura que existe en la mezcla hielo-agua. Según se sabe por la regla de las fases esta temperatura será de 0°C . Los alambres de Cu que van desde la juntura fría hasta el instrumento, es conveniente que sean gruesos, de esta manera la caída de tensión en el alambre de Cu es despreciable y la lectura es más exacta.

Punto frío a 100°C : Se ha desarrollado, especialmente para procesos largos, donde se debe mantener una temperatura durante días o semanas, un punto de referencia que no varíe a lo largo del tiempo, éste es el "punto de ebullición del agua".

Este dispositivo se muestra esquemáticamente en la Fig. 26. Consta esencialmente de una columna de vidrio que en su parte interior posee una conformación especial en forma de uñas cuyo fin es hacer condensar el vapor de agua. En la parte inferior posee una entrante que permite alojar la resistencia calefactora. En uno de los costados y por sobre el nivel de agua hay una entrante en el vidrio que permite ubicar la soldadura fría de la termocupla. Aquí también el aceite tiene por objeto homogeneizar la temperatura. Sobre el nivel del agua se forma una zona de vapor que está en permanente contacto con el alojamiento de la termocupla. Hay también dispositivos para evitar

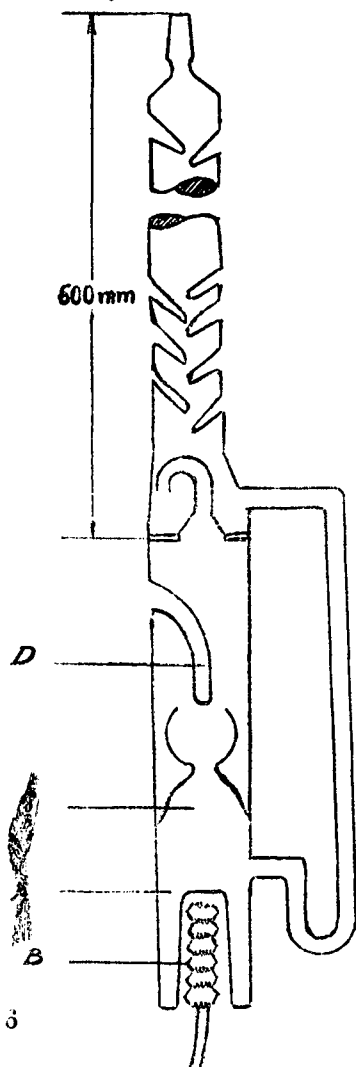


Fig. 26

que el agua al hervir salpique el lugar donde está la termocupla.

La cantidad de agua es de 50 a 60 cm^3 y se utiliza una resistencia de unos 20 W.

La temperatura de ebullición del agua es de 100°C para condiciones normales de presión. Si se mira en los valores tabulados de la temperatura de ebullición para los valores que normalmente se tienen de presión atmosférica se verá que dicha temperatura está dentro del grado.

El vapor de agua al elevarse en la columna se pone en contacto con las uñas interiores, allí se condensa y gotea nuevamente en la parte inferior de la columna. Luego vuelve a cumplir el ciclo. De esta manera el gasto de agua es muy pequeño y el sistema puede funcionar durante semanas, manteniendo un buen punto de referencia para la termocupla. En las mediciones hay que tener en cuenta que el punto frío se encuentra ahora a 100°C y por lo tanto habrá que restarlos de

la temperatura que mide el punto caliente.

2.5 Instrumento de medición Importancia del largo de la termocupla Compensaciones Instrumentos Industriales

La termocupla es una fuente de potencial del orden de los milivoltios y cualquier resistencia añadida en el circuito es perjudicial pues la tensión debe ser medida con instrumentos de poco consumo de corriente, lo que equivale a decir instrumentos muy sensibles. Es debido a ésto que deben tenerse circuitos de baja resistencia

En la mayoría de las aplicaciones metalúrgicas el par termoeléctrico más usado es Cromel-Alumel. Es así como casi todos los instrumentos indicadores usados en Metalurgia vienen calibrados para este tipo de termocupla

El instrumento de lectura es del tipo D'Arsonval al cual se lo prepara para tener sensibilidad suficiente. Los hay calibrados con 1200°C a fondo de escala, es decir que medirán unos 50 mV a plena deflexión. Cuanto mayor sea la resistencia interna del instrumento menos molestará el largo de la termocupla.

El circuito equivalente de una termocupla y el instrumento de medición es como se muestra en la Fig. 27.

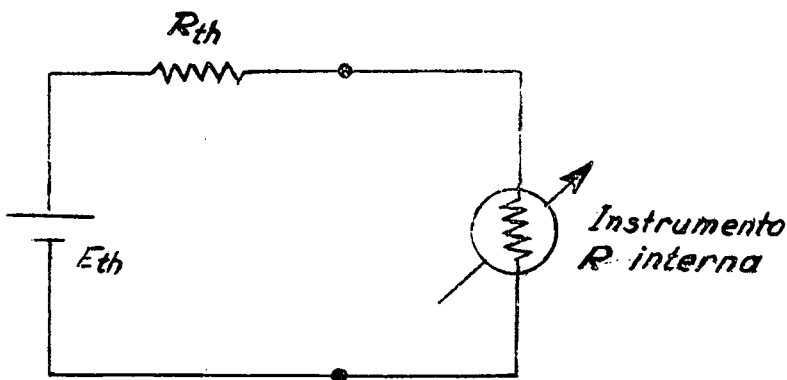


Fig. 27

Cuanto mayor sea la resistencia del instrumento menos corriente circulará y por lo tanto menor será la caída de tensión en la R_{th} o sea en la resistencia del alambre de termocupla

Los fabricantes de estos tipos de pirómetros (gr. pyros=fuego, metron=medida, instrumento para medir temperaturas) calibran los instrumentos para una resistencia de termocupla generalmente $2\ \Omega$ ó $10\ \Omega$.

Así el fabricante garantiza que

si la resistencia que el usuario conecta es de dicho valor la calibración de la escala es fiel. Generalmente esta indicación como así también la resistencia interna de la bobina vienen adarados en el cuadrante del instrumento, que se halla graduado directamente en $^{\circ}\text{C}$ y que poseen el aspecto general del de la Fig. 28

Cuando el instrumento se encuentra instalado en una industria generalmente hay una decenas de metros entre la juntura caliente y el sistema visualizador. Este es el caso en que se tienen centralizados en un panel de instrumentos los registros de varios sistemas. Los sistemas visualizadores modernos poseen dentro una resistencia susceptible de ser variada entre valores de 20 a $0\ \Omega$ aproximadamente. De esta manera

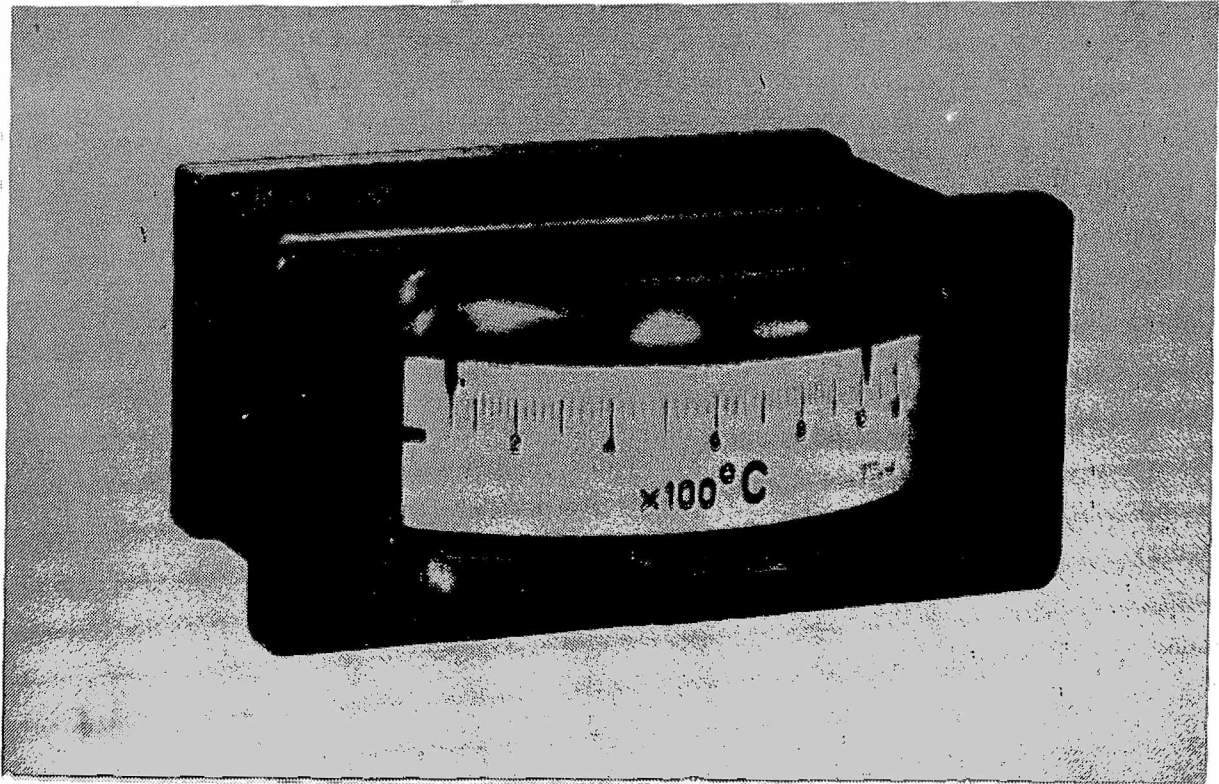


Figura 28

cuando se instala la termocupla y su resistencia total no alcanza al valor óptimo se agrega lo faltante con esa resistencia variable.

Instalación industrial de una termocupla

Las termocuplas industriales poseen una vaina de protección y homogeneización de temperatura con una longitud que en la mayoría de los casos es superior al metro. La vaina atraviesa la pared del horno tal como lo muestra la figura 29.

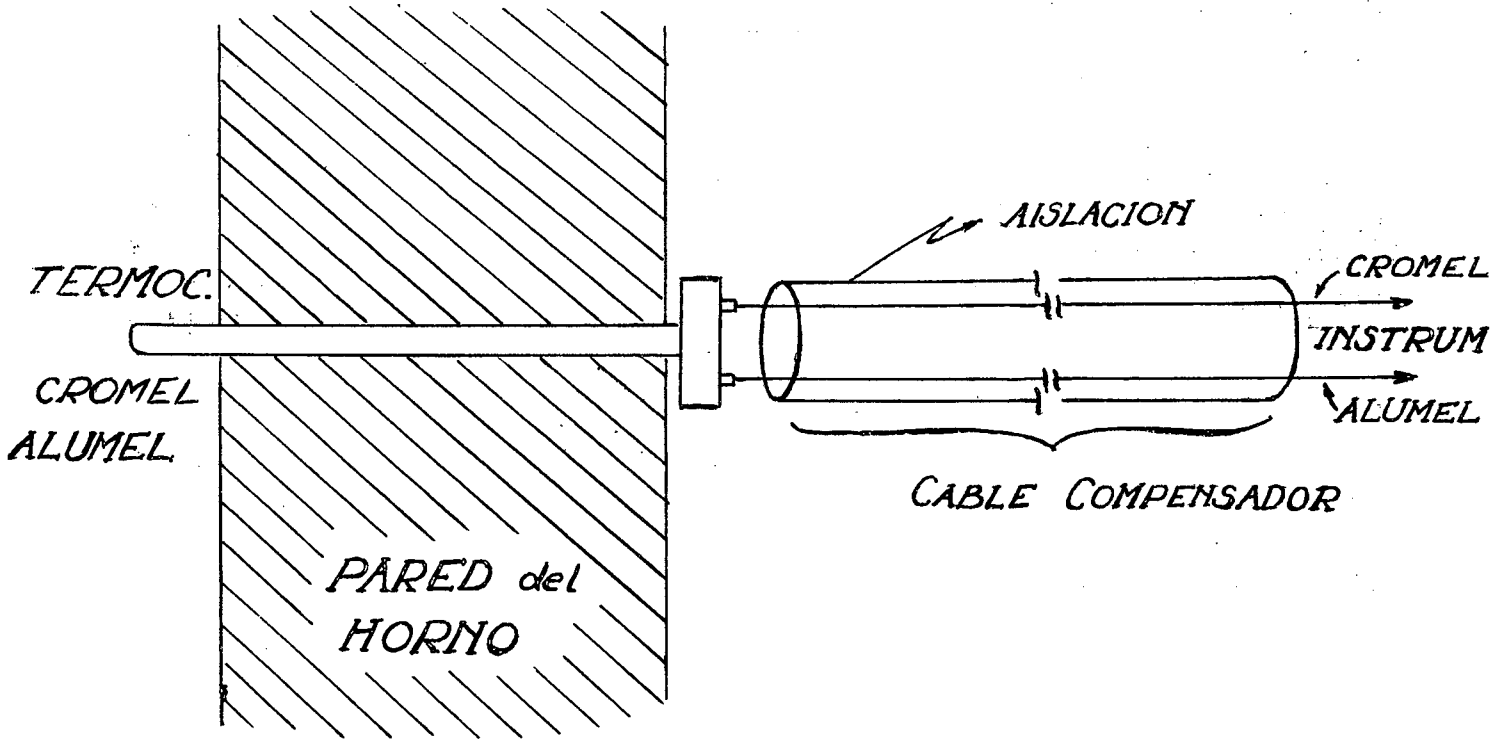


Fig 29

Es evidente que el cabezal, donde se conecta el conductor que lleva la tensión hasta el instrumento, no se encuentra a baja temperatura, es decir, no se lo puede considerar punto frío. Aún peor es el hecho de que su temperatura - cualquiera que fuere - no es constante en absoluto. Es así como al cabezal no se lo considera punto frío. Se utiliza entonces un cable compensador. La condición que debe cumplir este cable es que su diferencia de potencial por grado centígrado debe ser igual a la de la termocupla. Cuando la termocupla es de cromel - alumel el cable compensador es del mismo material pero más delgado.

Dentro del horno el alambre es de 5 a 6 mm de diámetro mientras que el compensador es del orden del mm de diámetro. El cable compensador se lleva hasta un lugar donde se pueda considerar punto frío, generalmente el instrumento visualizador.

Se aclara que cuando la termocupla es de metales costosos como Platino-Platino Rhodio, el cable compensador no es de Platino sino de un par de metales que dan la misma tensión pero que son menos costosos. La precisión que se tiene es del 5% puesto que ésta es también la precisión del instrumento visualizador. Es conveniente medir la temperatura de la junta fría para saber cual es el punto de referencia.

La termocupla en el laboratorio

Cuando se usa la termocupla en un horno de laboratorio generalmente los alambres no son de más de 0,4 mm de diámetro. La junta fría se instala en el termo como se explicó en el punto 2.4 para tener la temperatura de referencia en 0°C, o sino también puede usarse el Ebulloscopo para procesos largos, como se muestra en la Fig. 26.

El instrumento visualizador de la temperatura es generalmente un "potenciómetro" cuya virtud principal es no consumir corriente, por lo tanto la medida de la tensión de termocupla es la tensión en vacío de la misma. Esto es equivalente en el circuito de la Fig. 8 a no haber conectado ningún instrumento de medida. De esta manera no interesa el largo de la termocupla pues la medida es independiente de la resistencia de los alambres R_{th} . El principio de funcionamiento del potenciómetro se explica en el párrafo (3.1).-

2.3 Termocuplas para temperaturas muy elevadas

Cuando hay que medir temperaturas más elevadas que 1200°C, según puede verse en la Tabla 4, es menester usar termocuplas más costosas. Hay que usar para estos casos el par Platino-Platino Rhodio o el par Tungsteno-Tungsteno Rhenio. Ambas termocuplas son muy costosas y tienen una calibración muy confiable.

El par Platino-Platino Rhodio puede usarse en aire mientras que el par Tungsteno-Tungsteno Rhenio debe usarse en vacío.

El tungsteno y el renio, con puntos de fusión de 3410 y 3180°C respectivamente, son los dos metales más refractarios y, por lo tanto, los más lógicamente elegidos para los sistemas de termocuplas para altas temperaturas. El diagrama de fase para el sistema tungsteno-renio, según fue publicado por Dickinson y Richardson, muestra que al 25% de peso de renio, la primera aparición de líquido (p.ej. la temperatura de sólido) ocurre a levemente pasados los 3100°C. Una aleación conteniendo 25% de su peso en renio, fue seleccionada primeramente para su evaluación como termoelemento en la esperanza de obtener una máxima fuerza electromotiva contra el tungsteno, sin precipitación de fase Fig. 30. Aunque el tungsteno tiene el punto de fusión más alto y la menor expansión térmica de todos los metales, desafortunadamente muestra -a altas temperaturas- un rápido crecimiento de grano con la consecuente fragilidad al enfriarse a bajas temperaturas. Este crecimiento de grano puede evitarse adicionando pequeños porcentajes de inhibidores de límite de grano, como el dióxido de torio. Aunque la investigación está en desarrollo en este sentido, estos materiales han servido para impedir -pero no prevenir- la fragilidad durante la recrystalización.

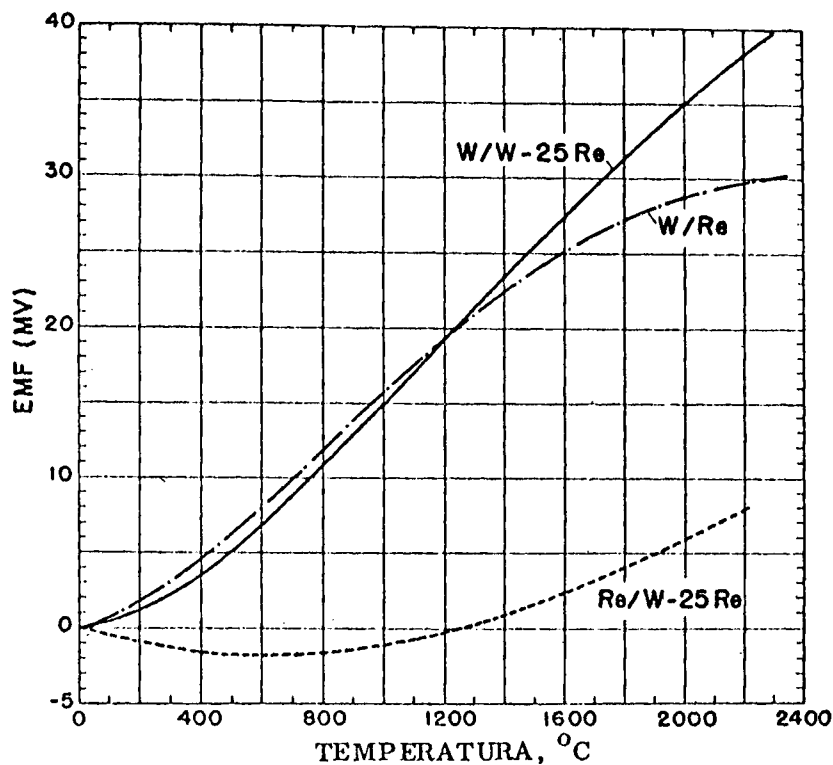


Fig. 30

Fuerza térmica electromotriz de termocuplas de Re/W-25Re, W/Re, y W/W-25Re en función de temperatura, referida a 0°C.

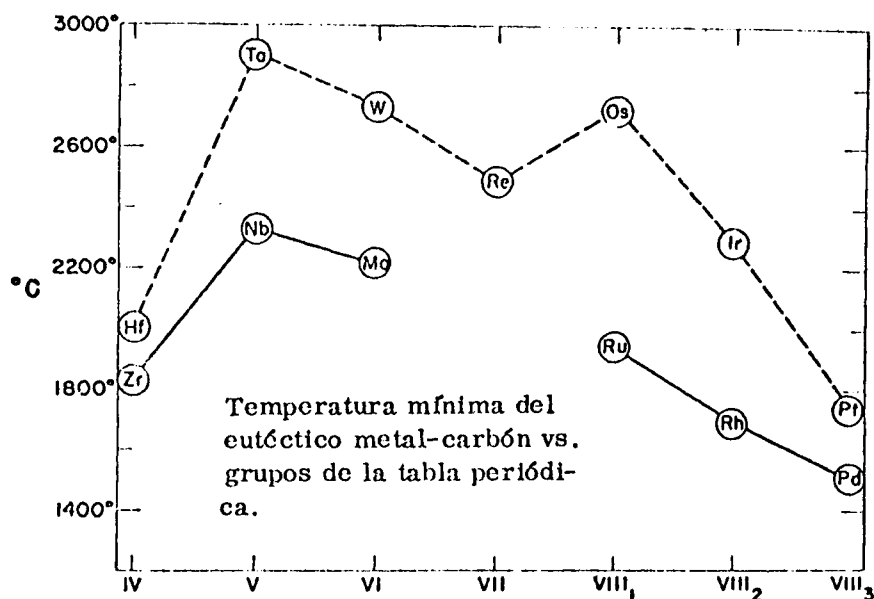


Fig. 31

Gráfico mostrando la temperatura mínima del eutéctico metal-carbón para períodos 5 y 6 en función de los grupos de la tabla periódica.

Dado que las aleaciones W-Re, conteniendo menos que 26% de su peso de Re, tienen más ductilidad a temperatura ambiente que el tungsteno puro, una probable aproximación fue la termocupla W-5Re/W-25Re, por ejemplo, donde se puede todavía tener una útil curva σ - ϵ y dos ramas dúctiles. Esto ha sido tratado por Lachman y McGurty (descrito en su reciente publicación titulada "El uso de metales refractarios para termocuplas para temperaturas ultra altas"). Infortunadamente, ellos descubrieron "que un exceso del 10% de renio se requiere para aumentar la ductilidad a temperatura ambiente del tungsteno después de calentarlo por encima del punto de recristalización". Después discutiremos cómo hemos evitado la fractura de la rama del tungsteno por medio de un conveniente diseño.

Una ventaja de las termocuplas de W/W-Re es que pueden ser utilizadas en una atmósfera de hidrógeno (así como en vacío o en atmósfera de gases inertes) en todas las temperaturas, sin ningún problema de reacción. En su reciente artículo "Mediciones de temperatura en el núcleo de un reactor" Shinault y McGrath establecen que "...a elevadas temperaturas, el tungsteno en contacto con el hidrógeno formará hidruro de tungsteno" bajo bombardeo continuo de rayos gamma y neutrones. Este efecto no ha sido observado en ninguno de los reactores Kiwi-A. Sin embargo, es esencial que la atmósfera esté libre de oxígeno y nitrógeno porque los óxidos del tungsteno y del renio son volátiles, y el tungsteno forma nitruros bastante refractarios. La existencia de nitruros de renio está pobremente definida en la literatura, pero parece que el renio no reacciona con el nitrógeno a elevadas temperaturas.

En la presencia del carbono, sin embargo, hay ciertas limitaciones para el uso de termocuplas W/W-Re desenvainadas. La investigación más corriente del diagrama de fase del tungsteno-carbono ha sido efectuada por Sara et al, quienes están de acuerdo con la mínima temperatura eutéctica del sólido (W-W₂C) publicada por Nadler y Kemptner: $-2732 \pm 22^\circ\text{C}$. Los últimos investigadores obtuvieron $2720 \pm 20^\circ\text{C}$ para el punto de fusión del WC. Así, en la presencia de carbono, se puede observar la aparición de líquido en la rama del tungsteno a temperaturas algo mayores que 2700°C . El diagrama de fase ternario del C-Re-W no ha sido publicado, por lo que no se puede predecir exactamente la temperatura mínima a la cual puede aparecer el líquido en la rama W-Re, Fig. 31. El diagrama de fase para el sistema Re-C ha sido publicado por Hughes, quien encontró que el renio y el carbono forman un sistema eutéctico simple, ocurriendo el punto eutéctico a 16.9% atómico del carbono y a 2480°C . Esto está muy de acuerdo con el valor de $2486 \pm 18^\circ\text{C}$ publicado por Nadler y Kemptner. Así, para una termocupla de W/Re o de Re/W-Re en la presencia de carbono, se puede observar la aparición de líquido en la rama del renio a ligeramente por debajo de los 2500°C .

Si se utilizan alambres de termocupla de diámetro suficiente la unidad puede sostenerse a sí misma sin que sea necesario el asilamiento (excepto de espacio). Otro método, que fuera utilizado exitosamente en los reactores Kiwi-A para termocuplas W/Mo, Consiste en un tubo taponado firmemente a un extremo con un cilindro del mismo material termoelectrico dentro del cual se encaja una varilla axialmente alineada del segundo termoelemento. Aislación tubular puede ser utilizada para separar la varilla del tubo en el extremo frío, pero nuevamente el espacio libre es utilizado como aislación en la junta

caliente. Este método tiene la ventaja (para algunas aplicaciones) que solo uno de los elementos está expuesto.

Instalación de termocuplas en reactores atómicos

A efectos de medir altas temperaturas en atmósferas de carbón, donde los métodos ópticos no pueden ser empleados, dos técnicas se han utilizado en los reactores Kiwi-A. La primera técnica fue recientemente publicada por Nadler y Kemptner y comprende la utilización de temperatura mínima de sólido (eutécticas) de diversos sistemas metal-carbono. El segundo método utiliza las termocuplas de tungsteno/tungsteno-renio, ya sea solas o convenientemente aisladas y envainadas. La utilización de termocuplas incluidas las de W/W-25 Rh, en atmósferas de carbono, ha sido publicado por los mismos autores. La presente discusión trata, con mayor envergadura, de la exitosa utilización de las termocuplas W/W-25 Rh, en las atmósferas carbono-hidrógeno de los reactores Kiwi-A y Kiwi-A3 del programa de incremento nuclear Rover.

Las termocuplas de tungsteno/tungsteno-25% renio fueron utilizadas para medir la temperatura de salida del gas de los reactores Kiwi-A previamente probados. Dos diferentes diseños de termocuplas fueron utilizados.

En el proyecto de diseño envainado, alambres de 20 mil milésimas de pulgada de tungsteno y tungsteno-25% renio son comprimidos dentro de un lingote de molibdeno y protegido por un forjado leve. Bolitas de óxido de berilio con dos agujeritos en los extremos son ensartadas en los alambres en un largo de 14", lo cual comprende la "zona caliente" de la termocupla. El conjunto se inserta entonces dentro de un 3/8" OD tubo de molibdeno de pared de 30-mil y el bloque "moly" se inserta dentro del tubo para completar la unidad. La termocupla es instalada a través de la celda de presión dentro de la región de desagote del reactor y asegurado y sellado por medio de un ajuste de compresión. Este diseño funcionó bien durante las pruebas.

En el diseño de termocupla no envainada, alambres de termocuplas de 60-mils (tungsteno y tungsteno-25%renio) son ajustados a presión y forjados dentro de un bloque de tungsteno. Los alambres son pasados a través de un aislante de nitrato de boro, un sello de presión y aislantes de MgO, todos los cuales están contenidos en un cuello de termocupla; Conax modificada. Los alambres se extienden seis pulgadas dentro de la salida del reactor y están orientados de manera tal que ambos alambres están en un plano vertical a efectos de alcanzar el máximo de resistencia para soportar las fuerzas aerodinámicas de la corriente de gas. Una pieza de transición, hecha de micarta, proporciona conexión a alambres de 20-mil del mismo material. Los alambres de 20-mil son envainados en acero inoxidable y terminados en la soldadura fría.

En este diseño de termocupla solamente los alambres desnudos y el bloque de soldadura fría están en la región caliente; son eliminados así los problemas de aislación eléctrica y sellado a alta temperatura.

Los alambres de termocuplas de tungsteno y tungsteno-renio se pueden conseguir en el mercado en los siguientes proveedores:

Hoskins Manufacturing Co.
Engelhard Industries
Chase Brass and Copper Co.

2.7 Calibración de termocuplas

Cuando se utilice un par termoeléctrico cuya f.e.m. se desconoce o cuando se desee obtener mucha precisión en las medidas deberá calibrarse la termocupla con temperaturas conocidas. Tales temperaturas pueden obtenerse con metales cuyo punto de fusión se conoce.

Es sabido por las reglas de las fases que cuando existen dos fases en equilibrio su temperatura es constante. Cuanto mayor pureza tengan los metales mayor será la precisión que se obtendrá.

En un crisol pequeño o en un tubo de ensayos se funde el metal y se lleva su temperatura a valores más altos que los de fusión y se retira la fuente calefactora. Se introduce la termocupla en el metal fundido y a intervalos regulares, aproximadamente

5 a 10 segundos, se anota la tensión que dé la termocupla. En el momento en que estén en equilibrio las dos fases sólido y líquido, la temperatura permanecerá constante y como consecuencia la tensión de la termocupla. Cuando todo el líquido se transforme en sólido la temperatura seguirá bajando. Se obtendrá de esta manera un gráfico similar al de la Fig. 32. La zona plana en la cual la tensión de la termocupla es constante con el tiempo corresponde a la temperatura de fusión del metal usado.

Una calibración usada para termocuplas Cromel-Alumel son los puntos de fusión que se indican a continuación:

Hielo	0°C
Estaño	231,9°C
Plomo	333°C
Zinc	419,5°C

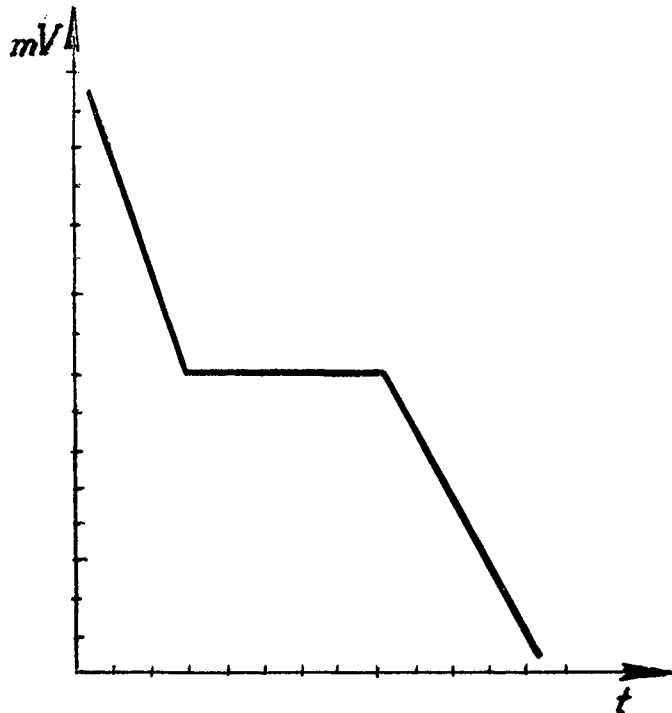


Fig. 32

Se obtendrá de esta manera una curva de calibración semejante a la Fig. 33.

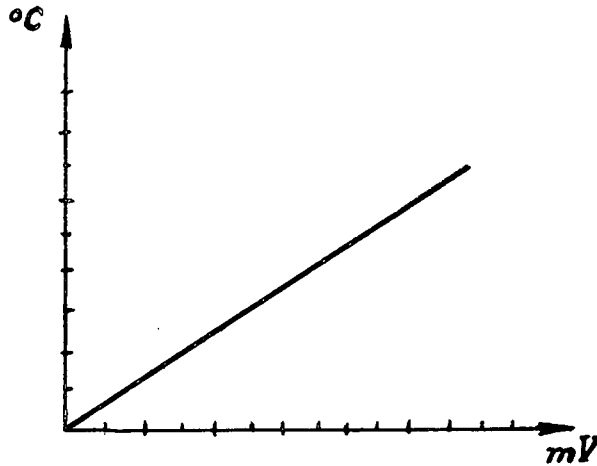


Fig. 33

Con esta calibración se obtienen errores menores que el 1%.

2.8 Vainas para termocuplas

Es evidente que los alambres de las termocuplas deberán estar aislados entre sí durante su recorrido hasta el instrumento visualizador.

Dicha vaina, que en muchos casos además de aislar los conductores los protege del medio ambiente debe poder soportar la temperatura máxima de la termocupla. Para termocuplas comunes de Cromel-Alumel se puede utilizar cuentas de porcelana o también vainas de porcelana cuya sección es como se muestra en la Fig. 34.

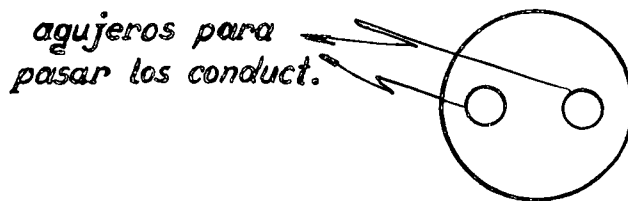


Fig. 34

También pueden usarse en este caso vainas de cuarzo. Cuando las termocuplas están instaladas en hornos de llama es imprescindible su protección con una vaina debido a que la llama produce una erosión pronunciada. Hasta los 800 a 900°C pueden usarse vainas de acero inoxidable. Hasta los 1200°C puede utilizarse vainas de inconel. Las termocuplas de Tungsteno-Tungsteno Rhenio deben envainarse en tantalio.

En aquéllas aplicaciones donde se requiera aislación eléctrica sólida una vaina protectora es asimismo requerida. Por ejemplo, en presencia del carbono, todos los óxidos de metales refractarios, incluyendo los dos más estables -óxido de berilio y dióxido de torio- reaccionan a temperaturas por debajo de los 2000°C.

En la fabricación de termocuplas de W/W-Re (y otros metales y aleaciones de los grupos V, VI y VII) que incorporan material aislante refractario, debe estar libre de aire sino los termoelementos y frecuentemente la vaina será rápidamente atacadas a altas temperaturas. Es recomendable que dichos aisladores se desgasen al vacío y su fabricación se lleve a cabo al vacío o en atmósfera de gas inerte anhidro.

Con respecto a los posibles materiales de envainado de metal, una manera conveniente de medir la temperatura a la cual puede ocurrir la fractura de la vaina en una atmósfera de carbono, es midiendo la temperatura del sistema metal-carbono. De los metales de transición del grupo IV al VIII, el tantalio es el de mayor de sólido. Considerando los siete metales (Ta, Nb, W, Mo, Re, Os y Ir), que tienen temperaturas de sólido por encima de los 2200°C, se puede circunscribir la selección en base a diversos criterios, como se ve en la Tabla 5. El osmio y el iridio son, en la actualidad, metales muy caros y en cuanto al osmio no se ha podido aún fabricarlo con ninguna forma. El renio se puede obtener en forma de hojas, láminas, alambre y varillas pero, hasta el momento, no se lo puede fabricar en forma de tubo.

El tungsteno se consigue comercialmente en forma de tubos con costura pero no se hace como tubos sin costura. El tántalo, niobio y molibdeno se pueden conseguir como tubos.

TABLA 5
Propiedades de algunos metales refractarios

<u>Metal</u>	<u>Punto-fusión del eutéctico M-C</u>	<u>Absorción Neutrones Barns</u>	<u>Densidad g/cc</u>	<u>Precio U\$ por pulgada cúbica</u>
Tantalio	2902	21	16.32	21
Osmio	2732	15.3	22.5	942
Tungsteno	2732	19.2	19.3	2.44
Renio	2486	86	21.02	594
Niobio	2328	1.15	8.57	11.13
Iridio	2296	440	22.42	881
Molibdeno	2210	2.7	10.22	2.95

Es lamentable que los dos más "fabricables" de estos metales, tantalio y niobio, se fragilicen demasiado por reacción con el hidrógeno a 350-650°C aproximadamente. Sin embargo, el tungsteno y molibdeno no reaccionan con el hidrógeno aún en sus puntos de fusión. En los reactores térmicos no es recomendable el iridio, pero el niobio y el

molibdeno tienen secciones de captura de neutrones térmicos bastante pequeñas. Son también interesantes aleaciones como W-Mo, W-Re y Mo-Re. En base a todas estas consideraciones se eligió al molibdeno como el mejor material para envainado para los reactores Kiwi-A.

Afortunadamente, los efectos de la radiación nuclear sobre las termocuplas en las altas temperaturas de operación de los reactores Kiwi-A son bien controladas por medio de recocidos térmicos. Aunque la investigación en los efectos de la radiación está claramente indicada, se puede esperar que la radiación pueda influenciar las cantidades de las reacciones químicas conocidas y puedan producir cantidades mínimas de nuevos elementos que no causan ningún problema al funcionamiento de la termocupla.

2.9 Pirómetros ópticos

El objeto de estos instrumentos es medir temperaturas por sobre los 600°C cuando ésta medición debe ser hecha a distancia y no puede ponerse en contacto ningún transductor.

Es sabido que por sobre los 600°C la energía radiante de cualquier cuerpo que se encuentre en esas temperaturas es bastante elevada, y más lo será cuanto mayor sea la temperatura.

Estos pirómetros utilizan justamente este fenómeno para realizar las mediciones. Hay dos tipos fundamentales de estos pirómetros.

a) desaparición de filamento

b) radiación total

Pirómetro de desaparición de filamento

El fundamento de este instrumento es comparar el color del objeto cuya temperatura se desea medir con el color de un filamento cuya calibración color-temperatura se conoce.

Mediante un sistema óptico se colocan en un mismo plano focal el filamento de una lámpara eléctrica y la imagen del objeto cuya temperatura hay que medir. El esquema general de este pirómetro se muestra en la Fig. 35.

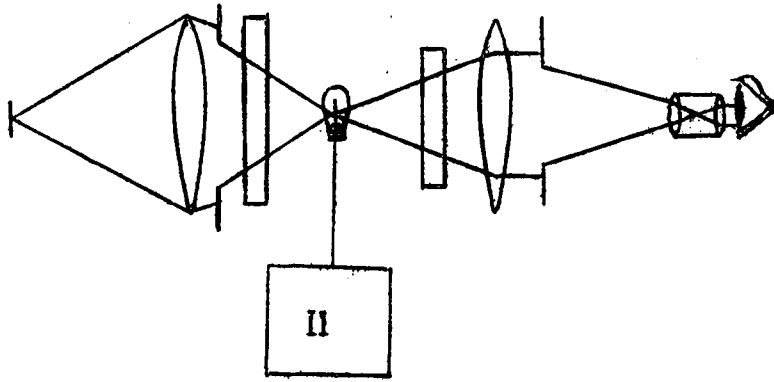
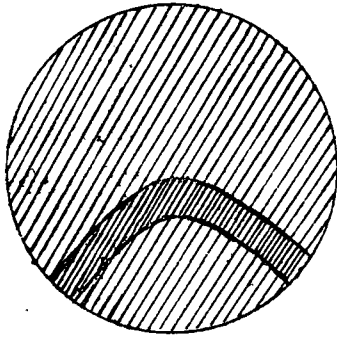


Figura 35

Procedimiento de medición: se apunta el sistema óptico hacia la fuente a medir hasta que se ve a foco la superficie radiante. Mediante el reóstato de control de corriente de filamento se le provee corriente al mismo hasta que su coloración sea igual a la de la superficie emisora. En ese momento el filamento desaparecerá, es decir no se verá. Teniendo el reóstato calibrado en temperatura se leerá directamente la temperatura que se deseaba medir.

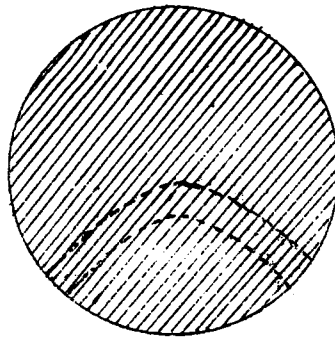
En la Figura 36 se muestran las tres posibilidades cuando:

- a) el filamento está más frío que la fuente
- b) el filamento tiene igual temperatura que la fuente
- c) el filamento tiene mayor temperatura que la fuente



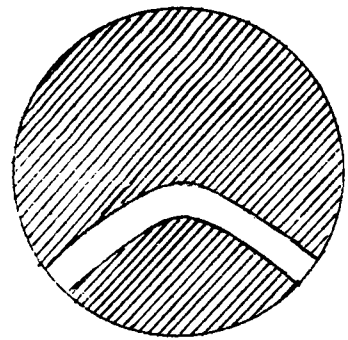
a

*El filamento se ve
mas oscuro que el fondo.-*



b

*El filamento
no se ve.-*



c

*El filamento está mas
brillante que el fondo.-*

Fig 36

Pirómetro de radiación total

Si bien el principio de funcionamiento es diferente al del pirómetro de desaparición de filamento, su configuración es similar. Posee un sistema óptico como el pirómetro anteriormente descrito, pero en el lugar donde antes se hallaba el filamento incandescente ahora se encuentra una "roseta de termocuplas". Dicha roseta de termocuplas es una configuración radial de varias termocuplas conectadas en serie. De esta manera la tensión total que suministrará el sistema será n veces la tensión de una termocupla. El esquema de todo el sistema se muestra en la figura 37.

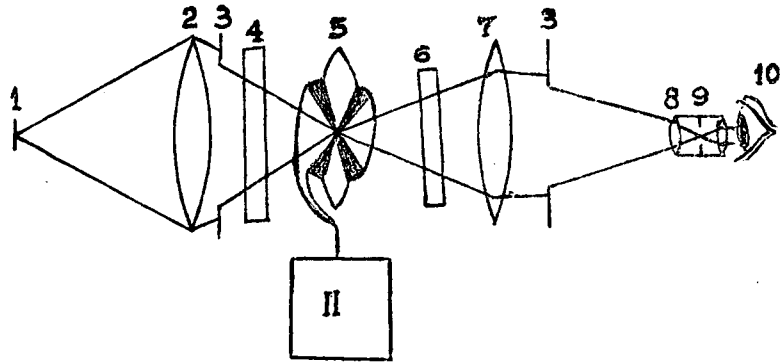


Fig. 37

mientras que el detalle de la roseta de termocupla se muestra en la Fig. 38.

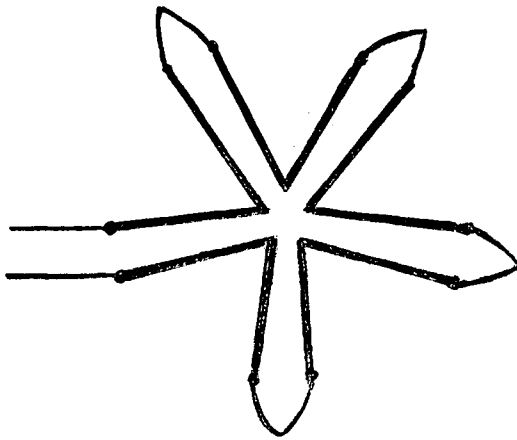


Fig. 38

Medición: se apunta al sistema como en el caso anterior y se verá una imagen como muestra la Fig. 39.

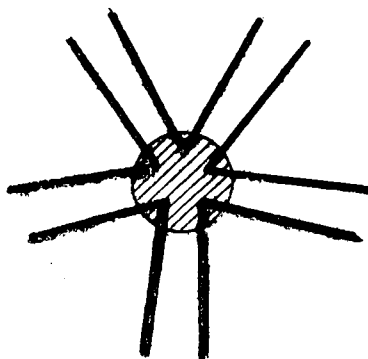


Fig. 39

En un instrumento de lectura de tensiones de termocupla se leerá la tensión correspondiente. Con una curva de calibración se tendrá la temperatura de la fuente.

C A P Í T U L O 3

SISTEMAS DE MEDICION, REGISTRO Y CONTROL

En el presente Capítulo se tratarán los métodos y sistemas más usados para medición, registro y control de tensiones eléctricas continuas y alternadas de baja frecuencia. Se dará más énfasis a los sistemas usados para tensiones continuas pues así son las provenientes de termocuplas. La orientación será preferentemente a los usos y mediciones que se realizan en las técnicas metalúrgicas.

3.1 . POTENCIOMETRO - PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La idea fundamental del potenciómetro es oponer una tensión conocida a la tensión que se desee medir y con un instrumento detector de cero determinar en qué momento ambas tensiones son iguales. Sabiendo en ese instante cuál es el valor de la tensión del potenciómetro se sabe inmediatamente cuál es el valor de la tensión desconocida. Esta idea fundamental puede verse esquematizada en la figura 40.

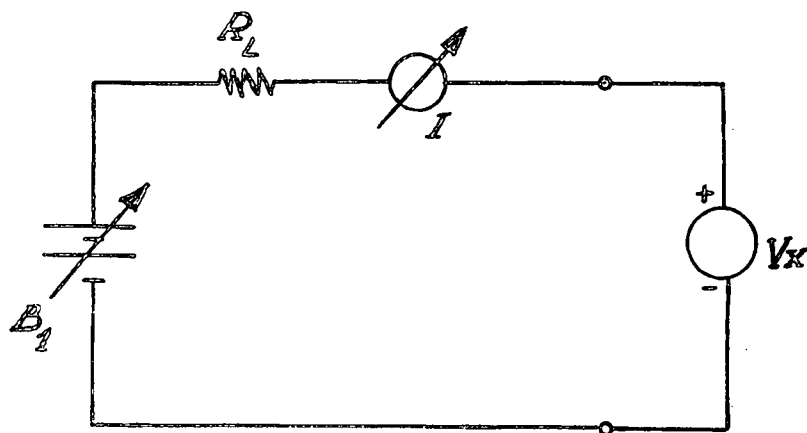


Fig. 40

La batería B_1 es una fuente de tensión conocida con la posibilidad de ser variada.

La resistencia R_L actúa como resistencia limitadora de corriente del circuito en caso que el desequilibrio de tensiones sea muy grande. V_x es la fuente de potencial que se desea medir.

El instrumento I es el que indica cuándo la corriente del circuito es cero, es decir en qué momento las tensiones de B_1 y V_x son exactamente iguales.

Hasta ahora se ha visto el potenciómetro desde un punto de vista pura-

mente teórico pero puede construirse uno casi tan sencillo como el anterior y que realmente puede cumplir funciones de medición dentro de los errores lógicos y naturales de un instrumento simple; éste puede verse esquematizado en la figura 41.

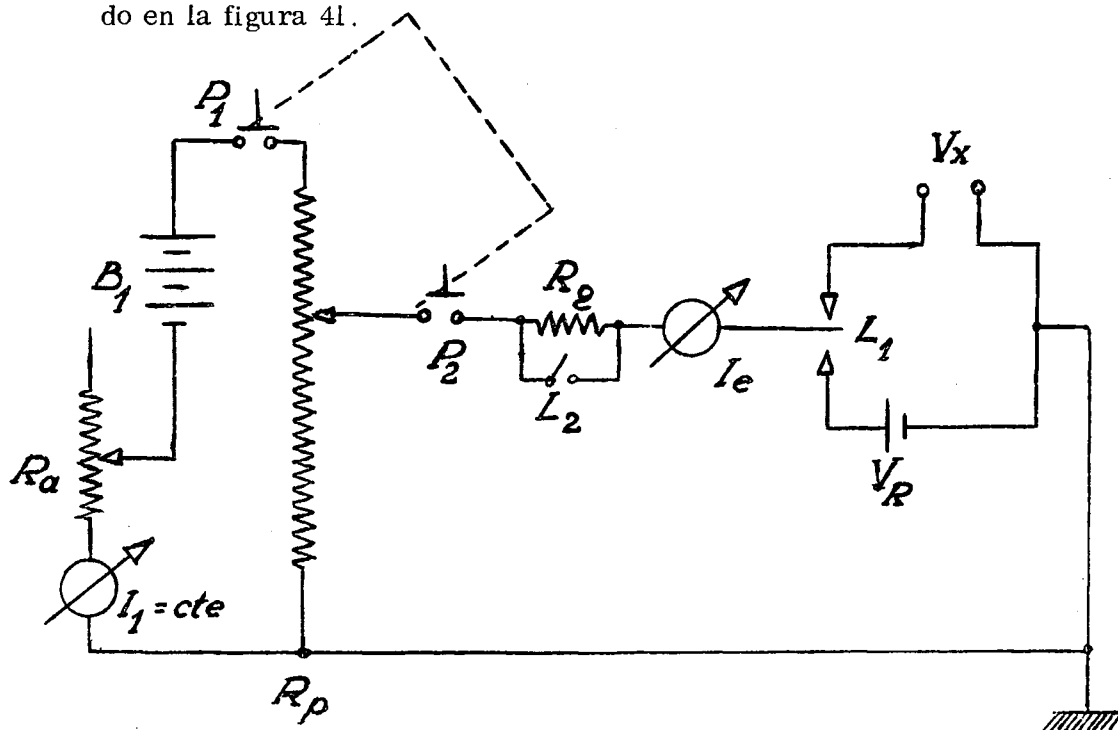


Fig. 41

El alma del potenciómetro es así la resistencia R_p y el instrumento I_e , detector de cero.

La resistencia R_p debe ser de buena calidad, además calibrada en toda su longitud y de variación lo más lineal posible. En el momento del diseño se fija la corriente que circulará por esta resistencia que generalmente debe ser pequeña para asegurar una vida larga a la batería B_1 . Los valores normales de esta corriente están entre 1 y 5 mA los cuales pueden ser fácilmente controlables mediante la resistencia variable R_a y el instrumento $I_1 = cte$.

Sabido el valor de resistencia en cada punto de R_p y también fijado el valor de la corriente que deberá circular, se sabrá en cada punto de la resistencia R_p la tensión que habrá respecto de la tierra de referencia del sistema, esquematizada por el símbolo .

Para tener una calibración de mejor calidad y asimismo obviar el uso del instrumento I_1 se dispone en el sistema de una tensión de referencia, conocida con buena aproximación simbolizada por V_R .

Los pulsadores P_1 y P_2 están montados de manera tal que se cierran ambos simultáneamente al oprimir un solo botón. La llave 4 conmuta la fuente

de tensión de referencia ó la tensión desconocida a medir V_x .

R_g cumple las funciones de proteger al instrumento detector de cero I_e ante eventuales desequilibrios grandes del sistema. La llave que la cortocircuita se cierra cuando se está muy próximo al valor correcto aumentando de esta manera la sensibilidad del equipo.

Procedimiento de medición:

En los bornes V_x se conecta la fuente de potencial desconocido.

El cursor de R_p se ubica en el lugar justo que corresponde a la tensión de la fuente de referencia.

Se conecta V_R con la llave L_i sin oprimir los pulsadores P_1 y P_2 . Oprimiendo los pulsadores P_1 y P_2 se ajusta el valor de corriente principal mediante la resistencia R_a observando el cero en el instrumento I_e . Para aumentar la sensibilidad se cortocircuita luego la resistencia R_g . En el momento en que I_e sea cero la corriente que circula por R_p será la que corresponde a la calibración del instrumento.

Se pasa L_i a la posición neutra, se sueltan los pulsadores y se abre la llave L_2 .

Se conecta con L_i la tensión a medir V_x y se oprimen los pulsadores; con el cursor de R_p se busca el equilibrio del sistema y luego se incrementa sensibilidad cerrando L_2 .

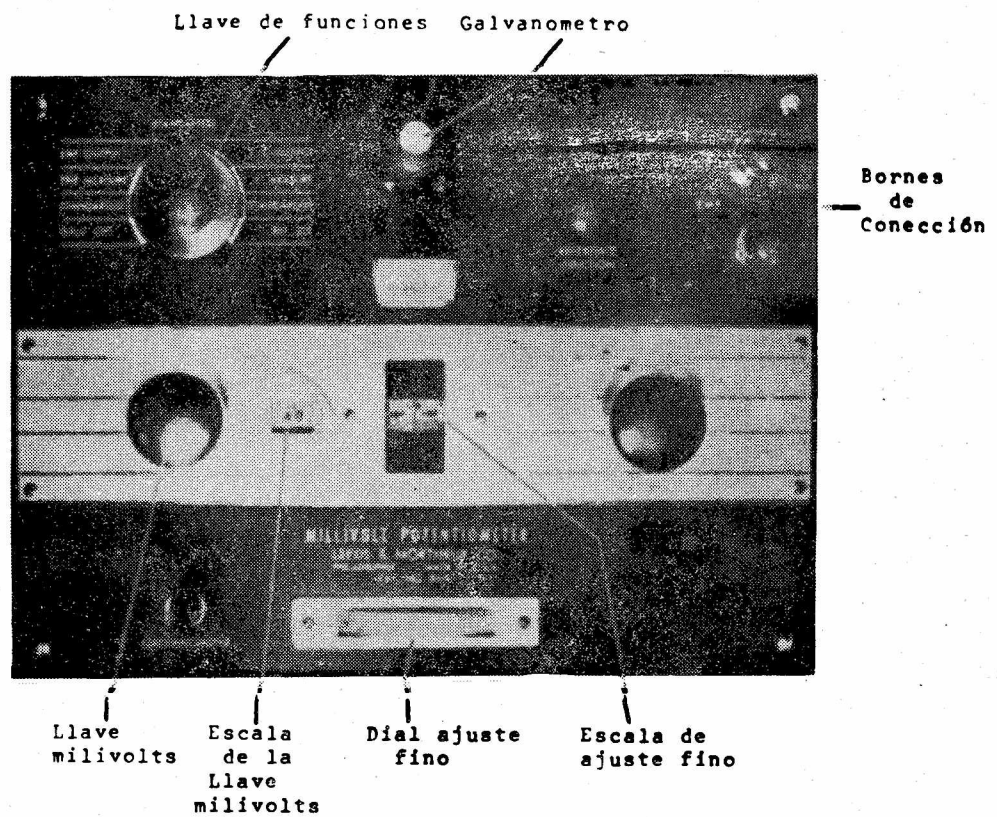
Cuando I_e sea cero, la tensión a medir será la que marca el cursor de R_p . Generalmente el dial de R_p está calibrado en mV.

En este tipo de instrumentos es imprescindible poseer una tensión de referencia de mucha confiabilidad. Hasta hace unos pocos años se utilizaba una pila Weston cuya tensión es confiable en 1 parte por millón, es decir son confiables hasta 6 decimales en el valor de su tensión. Se aconseja leer la nota sobre pilas Weston en el capítulo de misceláneas.

Actualmente se utiliza para todo el equipo fuentes de tensión con regulación electrónica aprovechando las ventajas de los diodos Zener (ver nota sobre diodos Zener en Capítulo de semi-conductores). Con estos dispositivos puede tenerse una confiabilidad de 1 parte en 10.000.

A pesar de todo ello actualmente y en equipo de muy buena calidad, se utiliza la pila Weston.

Hasta ahora la corrección del potenciómetro se hace manualmente. Los potenciómetros actuales funcionan sobre el principio descripto si bien los elementos que se usan en su construcción deben ser de buena calidad y calibrados para que las mediciones sean confiables y con aproximación suficiente.



Vista del frente de un potenciómetro manual de tipo comercial

Figura 44

Las complicaciones que posean los instrumentos comerciales tanto en construcción como en proceso de medición, tienen por objeto mediciones más precisas y confiables.

En la figura 42 se ve el aspecto físico de un potenciómetro manual de tipo comercial.

3.2 POTENCIOMETRO AUTOMATICO

El potenciómetro automático ha sido desarrollado en los comienzos de la década de 1930 pero que sigue aún en uso y es un instrumento de concepción moderna sumamente útil.

El principio de funcionamiento se conserva, si bien ha sufrido las modificaciones debidas al lógico adelanto de la tecnología. La idea básica es hacer en forma automática lo que el operador hace manualmente en los potenciómetros comunes. La corriente de desequilibrio que detecta el instrumento de cero, hace accionar un sistema que mueve el cursor del potenciómetro. Un diagrama en bloques del instrumento puede verse en la figura 43.

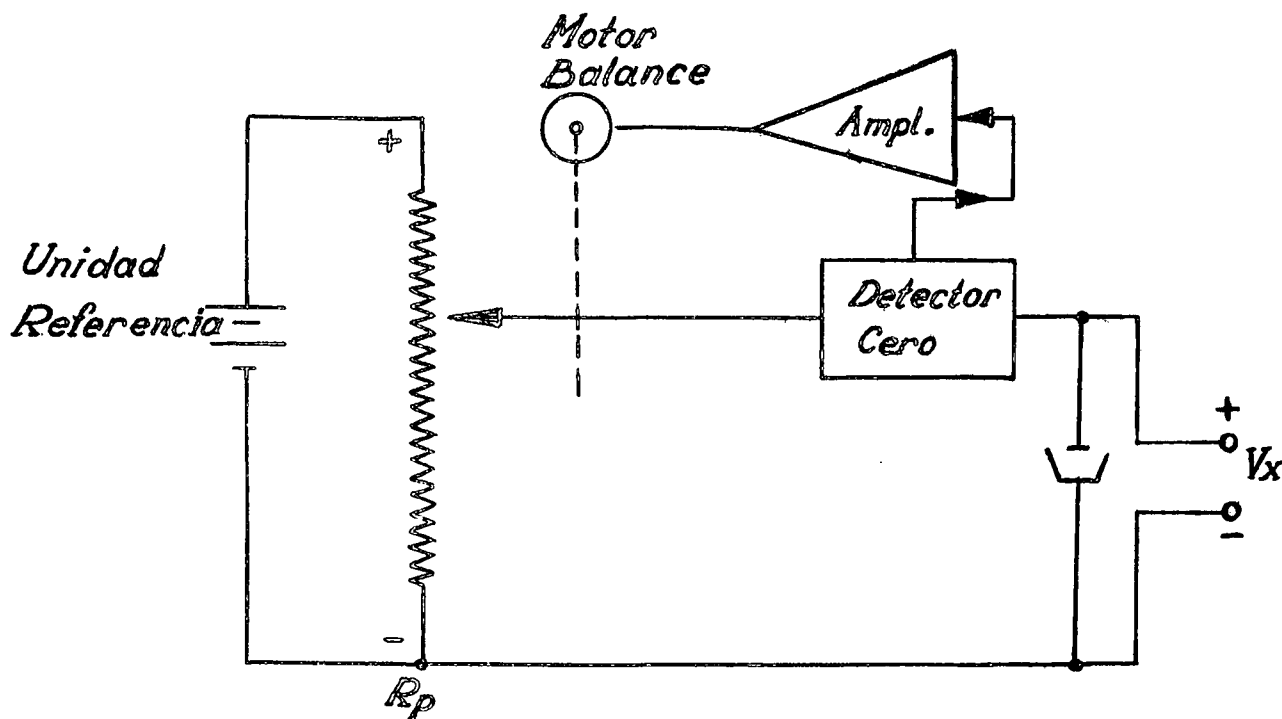


Figura 43

El amplificador es imprescindible para accionar el motor puesto que la tensión en el detector de cero es muy pequeña.

En este lugar se presenta un serio problema que es: Amplificar una tensión continua y de pequeño valor que se presenta sobre una impedancia

alta. El amplificador que se usa tiene una ganancia de aproximadamente 10.000, lo cual hace complicado al sistema.

Actualmente se utilizan amplificadores de corriente continua de estado sólido lo cual simplifica mucho el problema, pero tiempo atrás la solución que se encontró fue transformar la corriente continua en corriente pulsante y amplificarla con un amplificador de corriente alternada.

El sistema que primitivamente se usó para tal fin fue un interruptor mecánico llamado también "chopper".

Los primeros fueron un trocito de imán permanente sumergido en un campo magnético alterno a la frecuencia de la línea, unido al sistema interruptor, es decir que interrumpiría el circuito 100 veces /seg. Se obtiene de esta manera una onda que es aproximadamente rectangular, la cual se inyecta a la entrada del amplificador de tensión alterna.

El hecho de amplificar unas 10.000 veces una tensión alternada de 100 c/s cuando la alimentación del sistema es de 50 c/s hace que deban tenerse en cuenta todos los factores que pueden introducir "ruido" puesto que cualquier onda de 50 c/s que se introduzca en el amplificador, ya sea por mal filtrado o por inducción creará un serio problema.

La salida del amplificador se conecta a un motor de corriente alterna bifásico. Una de las fases de este motor se conecta a la línea de alimentación mientras que la otra fase conectada a la salida del amplificador es la que hace girar el motor en el sentido correcto para equilibrar el potenciómetro. Mediante un sistema mecánico el árbol de salida del motor mueve el cursor del potenciómetro.

En el momento que el potenciómetro está equilibrado la tensión de error será nula y por lo tanto el motor bifásico quedará detenido.

En estos potenciómetros al igual que en los manuales hay que tener una fuente de tensión de referencia y que hay que contrastar con la fuente que se utiliza para la medición. Para hacer este contraste hay dos métodos fundamentales:

- a) Cuando en el potenciómetro una de las variables es el tiempo, periódicamente el sistema en forma automática conecta la fuente de referencia y asimismo todo el sistema de corrección. En forma automática durante un par de segundos realiza los ajustes necesarios y luego continúa midiendo la variable.
- b) Cuando no se tiene como variable el tiempo, es decir en potenciómetros registradores del tipo X - Y el contraste se hace en forma manual.

Se aclara que todos los potenciómetros de este tipo fabricados de la segunda mitad de la década de 1960 en adelante, ya no utilizan la fuente de refe-

rencia para contraste sino que tienen una fuente única, estabilizada mejor que 1 parte en 10.000 y que se utiliza para realizar todas las mediciones.

Asimismo todos estos potenciómetros poseen un sistema de registro pues el sistema mecánico que mueve el potenciómetro tiene potencia suficiente como para mover una pluma inscriptora. Los registradores se explicarán en el punto 3.3.

Problema de ruidos en potenciómetros automáticos:

Cuando los potenciómetros automáticos se usan para medir tensiones continuas donde puede haber presente ruido de 50 c/s y más específicamente cuando se los usa para medir termocuplas, hay que tomar precauciones a veces muy especiales para que el tal ruido no moleste la medición.

Es común que la termocupla se use en un horno eléctrico y cuando se está a temperaturas elevadas, por sobre 700°C, la cerámica del horno y de la vaina de la termocupla se hacen relativamente conductoras. En ese caso la corriente alternada de la calefacción del horno puede introducirse por la termocupla y llega hasta el potenciómetro produciendo perturbaciones.

Estas perturbaciones se manifiestan como una constante oscilación de la aguja que dificulta la medición.

Para evitar este problema la vaina de la termocupla se hace metálica o de cerámica metalizada conectándose a tierra dicha envoltura metálica.

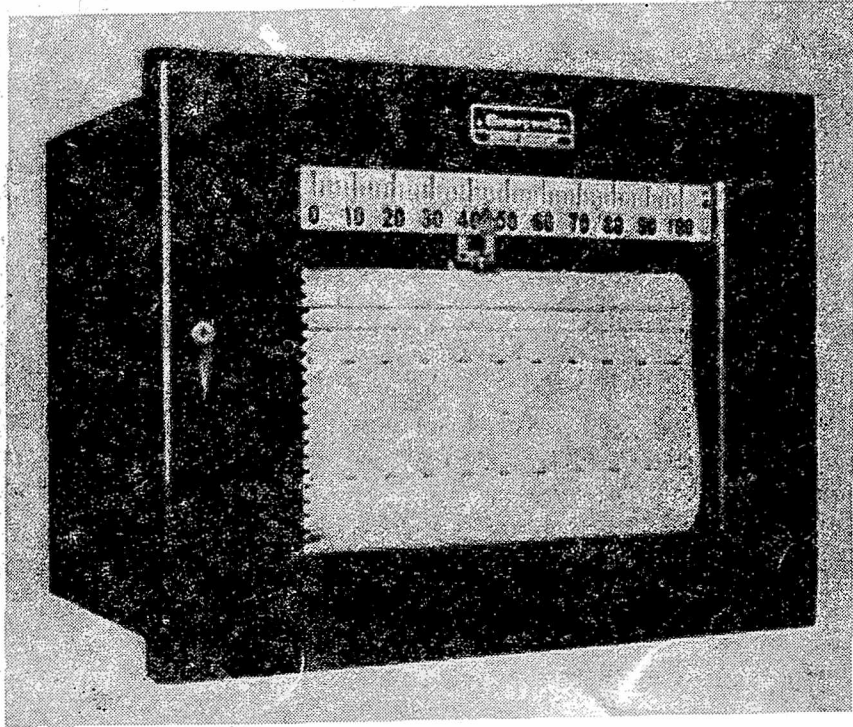
3.3. REGISTRADORES.

Si bien no todos, la gran mayoría de los registradores utilizan como base un potenciómetro automático. En muy raras circunstancias los potenciómetros automáticos no poseen un sistema de registro.

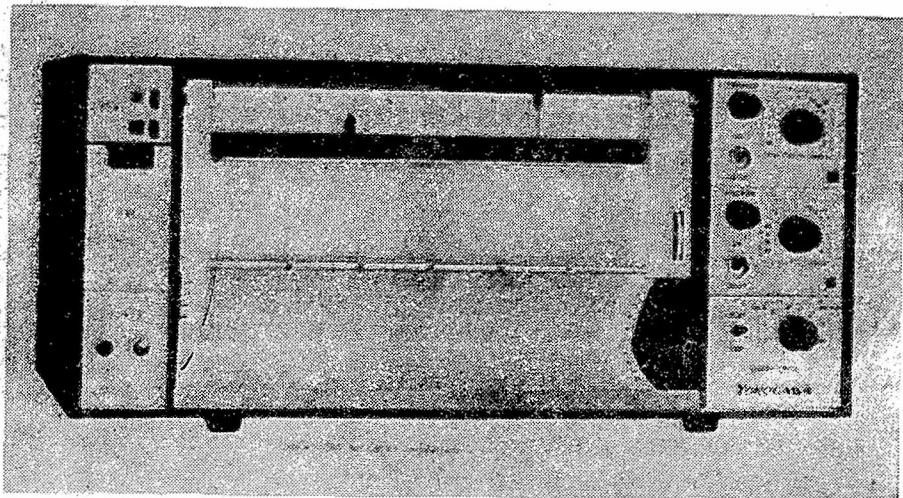
La solución más inmediata y sencilla es acoplar al cursor del potenciómetro una pluma inscriptora y hacer deslizar frente a ésta una cinta de papel. En este caso el arrastre del papel se hace a velocidad constante con un motor sincrónico y un sistema reductor de velocidad; de esta manera una de las variables será el tiempo. Hay asimismo registradores cartesianos, es decir con dos variables X e Y y también del tipo polar.

Los más usados son los primeros, es decir registran una variable en función del tiempo.

Por lo general estos registradores no son muy rápidos pues el sistema de escritura tiene una masa apreciable. Los hay con velocidades para recorrer toda la escala desde unos 30 segundos (éstos, para procesos lentos) hasta 1/2 segundo (éstos, para procesos rápidos) y dicha escala es generalmente de unos 30 cm.



a) Registrador monocanal



b) Registrador de dos canales

Figura 44

Modernamente, estos registradores traen un "chopper" electrónico. Los ruidos se manifiestan como oscilaciones en la aguja inscriptora que si no son muy grandes pueden tolerarse .

Los amplificadores ya no son con válvulas de vacío sino con semiconductores .

En lo que respecta a la parte mecánica no tienen mejoras muy sustanciales . Estas mejoras pueden ser mayor velocidad de respuesta, mejores motores, mejor sistema de amortiguamiento, eventualmente un sistema multicanal. En la figura 44 se ve el aspecto comercial de uno de estos aparatos.

Registradores Multicanales: Una vez que se tiene todo el sistema anterior es relativamente fácil hacer un registrador multicanal. Sobre el cursor del potenciómetro se monta un sistema capaz de imprimir números, generalmente de 1 a 10, como los tipos de una máquina de escribir. Interiormente el potenciómetro tiene un sistema conmutador de entradas y que hace cambiar los números a imprimir. Es así como en el registro hay una sucesión de números. La línea imaginaria que une todos los números iguales es el registro de la variable que entra en ese canal.

Hay otros sistemas que utilizan colores para el mismo fin.

Los registradores modernos tienen escala de tiempo variable puesto que poseen una caja de velocidades en el motor que arrastra el papel.

Registradores de Escala ampliada:

Generalmente los registradores son capaces de medir 10 mV a plena escala y los hay también de 1 mV a plena escala. Muchas veces es necesario tener precisión de 1 mV en un total de 10 ó más mV. Para ello lo que se hace es un conector de cero. Hasta una cantidad de mV se le opone una tensión fija de referencia y a partir de allí se conecta la variación de 1 mV. Generalmente la tensión de referencia se hace con un sistema decimal, por unidades, decenas, centenas. De esta forma se sabe la tensión que se mide con una exactitud de 1 mV.

Hay otro método para ampliar la escala que es poner un divisor de tensión a la entrada del instrumento.

De esta forma evidentemente se pierde sensibilidad en el sistema.

Si se desea medir 50 mV con un registrador de 10 mV la solución es hacer un divisor como el que se muestra en la figura 45.

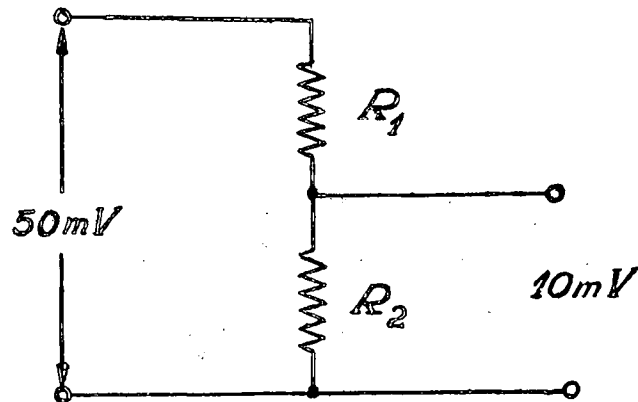


Figura 45.

Aquí $R_1 + R_2$ es conveniente que sean próximas al valor de resistencia con que hay que cargar la fuente de entrega 50 mV mientras que R_2 es conveniente que sea del valor adecuado para entrar al registrador. Por otra parte deberá cumplirse que $R_1 = 4 R_2$. Generalmente se adopta una solución de compromiso.

Registradores rápidos:

El registrador galvanométrico (fig. 46) representa al más antiguo y básico de los registradores de escritura directa. Este tipo de registrador utiliza una pluma adherida a la bobina móvil de un instrumento imán (tipo d'arsonval). La señal eléctrica a registrar es aplicada a la bobina, la cual rota sobre su eje en la presencia de un campo magnético. El rotor movible lleva la pluma a través de la carta en movimiento, produciendo un trazo. El registrador de escritura directa de tipo galvanométrico puede utilizarse ya sea con una pluma fuente, un punzón aguzado sobre una película de carbón o un punzón especial sobre papel sensible al calor o a la electricidad.

La configuración en la figura 46 produce un trazo curvilíneo en el medio registrador debido al arco descrito por la pluma al ser llevada por el rotor giratorio. Variadas técnicas son utilizadas para traducir este movimiento giratorio en uno rectilíneo para facilitar su interpretación y la correlación de los datos. Dispositivos mecánicos son también utilizados para traducir el movimiento curvilíneo a registro rectilíneo.

Como el movimiento de la bobina móvil debe conducir la pluma y brazo registrador, la frecuencia de respuesta en registradores de este tipo está limitada a menos de 100 cps.

Si bien el registrador que se acaba de describir no es de los más rá-

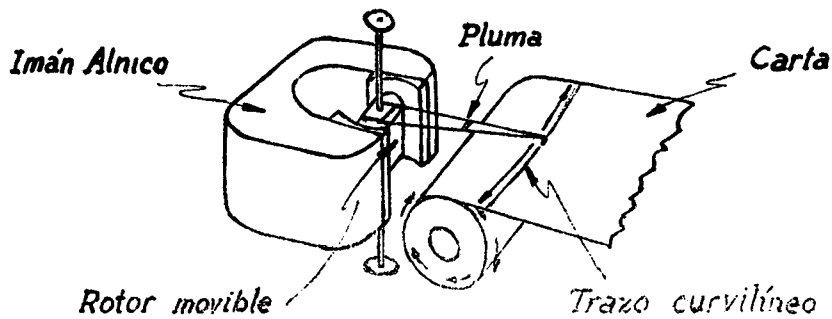


Figura 46 : El movimiento del galvanómetro básico produce un trazo curvilíneo. -

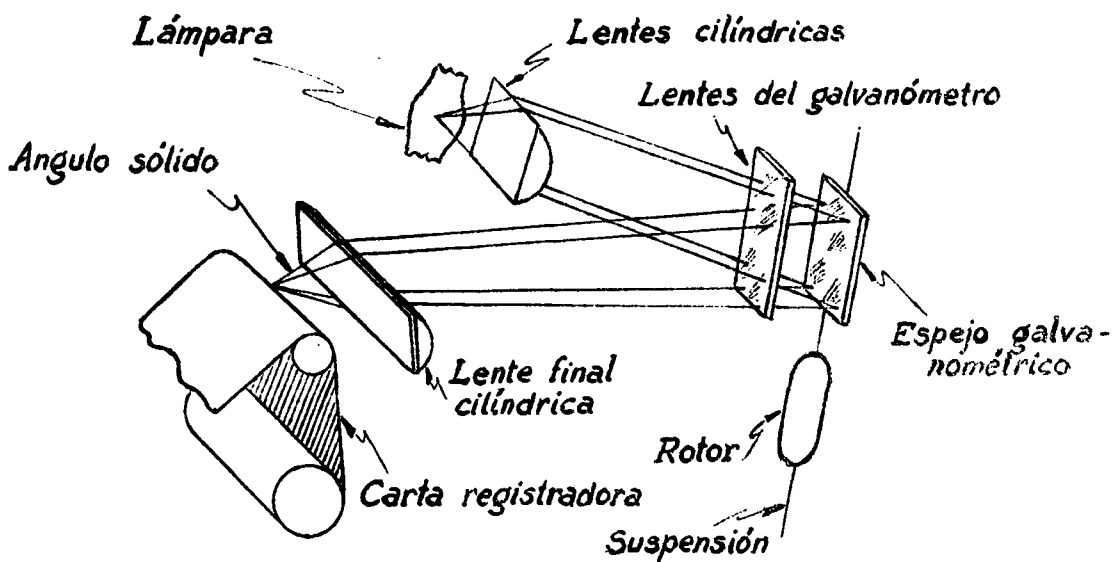


Figura 47 ; Sistema óptico de un galvanómetro típico con oscilógrafo por haz de luz . El tamaño de los lentes del galvanómetro, espejo y rotor han sido exagerados . -

pidos, ya pueden con él registrarse fenómenos en fracciones de décimas de segundo.

Actualmente hay registradores mucho más rápidos.

En el registrador galvanométrico de haz luminoso, un pequeño espejo unido a la bobina móvil refleja la luz proveniente de una fuente fija hacia un medio registrador fotosensible. Dado el tamaño extremadamente pequeño del espejo, comparado con una pluma registradora, este tipo de registrador es capaz de "escribir" velocidades de hasta 10 kc. La presentación es inherentemente rectilínea, pero la desventaja básica de este tipo de registrador es la demora en la observación del trazo debido a la necesidad de revelar el papel registrador. Modernos sistemas de revelado rápido permiten tener el registro en alrededor de 1 segundo; sistemas de impresión requieren un minuto.

La oscilografía por haz luminoso se ha convertido en una importante herramienta en la investigación e ingeniería. Con la conveniente adición de papel registrador que no necesita procesamiento químico, esta técnica de registrador va ganando mayor aceptación cada vez. Para utilizar plenamente la precisión inherente a este tipo de registrador es necesario conocer los principios de operación, incluidos los factores que ejecutan el funcionamiento dinámico primordial de un sistema y producen un registro con la combinación de una buena resolución, alta velocidad de escritura y excelente contraste de trazo. El corazón del oscilógrafo multicanal es el galvanómetro. Una pequeña bobina es mantenida en un campo magnético uniforme por una fina cinta de suspensión. Una corriente constante a través de la bobina producirá una fuerza de torsión que está relacionada con la corriente, el campo magnético, el número de vueltas de la espiral, la geometría de la espiral y su posición con relación al campo magnético. El pequeño tamaño de la espiral y el leve ángulo a través del cual gira permite considerar el campo magnético uniforme y normal en todo lugar a un plano conteniendo el eje del galvanómetro. Adosando un pequeño espejo a la suspensión del galvanómetro, un haz luminoso se refleja desde el espejo a un material fotosensible. La geometría de este sistema determinará hasta donde será obtenida una verdadera linealidad y simetría de desviación.

Sistema Optico de Registro

El sistema expuesto en la figura 47 utiliza lentes cilíndricos y puede ser considerado como compuesto por dos sistemas independientes. Un sistema enfoca en el plano vertical y otro en el horizontal.

En el plano vertical, el primer lente, a menudo denominado lente colector forma una imagen alargada del arco de la lámpara en el espejo de galvanómetro. Este lente compensa por el limitado tamaño vertical de todas las lámparas de arco de alta presión. El uso de un lente colector cilíndrico hace que el espejo galvanométrico se transforme en la fuente aparente de luz para

el lente final en el plano vertical. La fuente agrandada en este plano da una imagen con suficiente alta luminosidad sin la necesidad de una lente final correctora.

La luz reflejada del espejo galvanométrico cae en el lente cilíndrico final y forma una estrecha imagen en el papel registrador. En el plano vertical el lente galvanométrico no tiene poder de enfoque. Sin embargo, en el plano horizontal este lente forma una imagen del ancho de la fuente de arco en el material registrador.

3.4 SISTEMAS DE ESCRITURA

Los sistemas de escritura pueden ser desde en lápiz sujeto al cursor del potenciómetro, como también un bolígrafo, una pluma fuente hasta sistemas tan complejos como aguja caliente, etc.

Las complicaciones de escritura aumentan cuando aumenta la velocidad del registro y es por ello que se han desarrollado nuevos métodos de escritura.

Tanto el papel como la tinta deben ser cuidadosamente seleccionados a efectos de un buen registro. Es una ventaja utilizar tinta sólida.

Uno de los métodos más antiguos para producir una línea en una carta móvil es el de lapicera capilar. Esta construcción era simple pero tenía la molesta tendencia de "arrojar" tinta. Este problema fue resuelto por medio de la escritura eléctrica o térmica. Sin embargo, el papel sensible a la electricidad o térmico es caro y susceptible de dar datos incorrectos. Asimismo, los trazos no son tan legibles.

Estos problemas fueron minimizados con el desarrollo de dos nuevos métodos: 1) escritura con tinta viscosa compacta y 2) escritura con cera capilar caliente o tinta sólida.

La precisión depende tanto de la calidad del papel de la carta y la tinta como del sistema amplificador del motor-pluma. Mayor claridad sobre un mayor rango de velocidad de escritura se obtiene cuando la tinta, pluma escritora, motor pluma y el papel son todos compatibles.

Escritura con tinta viscosa compacta

La pluma consiste en un tubo hueco cuya punta se presiona contra la carta con una fuerza determinada por la viscosidad y compactación de la tinta.

La viscosidad de la tinta es tal que la capilaridad por sí sola no alcanza a alimentar con la tinta a la velocidad requerida por la escritura muy rápida. Por lo tanto, la tinta viscosa debe ser comprimida. La mejor punta de pluma es un tubo de acero inoxidable (0,018" OD y 0,010"-0,012" ID).

La presión de la punta es de 25 gr. lo cual forma un tapón contra la presión del fluido (15 a 20 ips). Los sistemas hidrostáticos de este tipo son completamente independientes de la posición y escriben satisfactoriamente aún cuando se incline o en un ambiente de alto G.

Tinta Viscosa

Las tintas viscosas contienen más del 50% de colorante, y el volumen de tinta requerido para producir una línea opaca en el papel es considerablemente menor que para una tinta líquida convencional (que contiene alrededor de 2% de colorante). Por ejemplo, una onza de tinta viscosa puede escribir una línea de 100 millas de largo (pero si el papel es muy absorbente, esta ventaja se anula).

Seleccionando el papel

Tres propiedades importantes que debe tener el papel son: absorción superficial, acabado y estabilidad dimensional.

Las velocidades de escritura de los registradores a pluma varían de 0,05 mm/seg a 4500 mm/seg (0,002 a 180 psi). La absorción de la superficie del papel debe ser suficiente como para absorber tinta a las más altas velocidades, pero al mismo tiempo no ser tan poroso como para causar "chorro" en las velocidades bajas. La variable principal para efectuar buenas reproducciones (Ozalid o Xerox) de las cartas es la diferencia en la transmisión ultravioleta entre el papel y el trazo de tinta. Papel de carta especial es utilizado para que el trazo alcance la opacidad UV a todas las velocidades de escritura, sin tener que sacrificar la definición de la línea ni la exactitud.

El mejor tipo de papel para ser utilizado con tintas compactables es el revestido (fibra de pulpa combinada con un revestimiento mineral aplicado en caliente). Esto permite una alta absorción y la suavidad necesaria para reducir la fricción de la punta de la pluma.

El papel con un revestimiento muy denso no permite la suficiente absorción necesaria para un trazo claro y a prueba de borrones. A la inversa, la mayor porosidad permite ampliar el trazo y no permite apoyar la punta lo suficiente como para que la tinta se desparrame a altas velocidades de escritura o que se endurezca dentro de la punta cuando no se utilice el registrador. Un mal papel transtorna el balance del delicado sistema hidrostático.

Verdadera absorción no es esencial, materiales plásticos con un conveniente acabado mate (Mylar, acetato y pilisterene) tienen una efectiva absorción que acepta satisfactoriamente tinta viscosa.

Escritura

La punta de la pluma se apoya en la superficie absorbente de la carta. Como se produce un movimiento entre la punta y el papel, la tinta viscosa penetra en la superficie de absorción del papel. La tinta en la superficie del papel es "cortada", por así decir, por las paredes de la pluma, dando lugar a un trazo que es seco y a prueba de borrones ya que no hay película superficial de tinta. Una sola pasada de la pluma llena los poros del papel revestido, para evitar la futura absorción. Dado que la presión hidrostática de la tinta está sobrecompensada por la fuerza de la punta, la tinta no puede derramarse ni formar charcos. Esto significa una ventaja cuando la pluma se mueve tan rápidamente que vuelve sobre su trazo repetidas veces en una fracción de segundo. Debido al fino trazo producido por los sistemas hidrostáticos, y al hecho de que la tinta adicional no se deposita cuando la línea se vuelve a trazar, la misma cantidad de tinta registrará muchas veces más que en el sistema de tinta líquida, en el cual se depositan grandes cantidades de tinta en el papel cuando la línea se vuelve a trazar.

Cuando la tinta viscosa es "cortada" por la punta de la pluma, la misma lubrica la punta. Y, como la punta no toca el papel, esto resulta en la mayor duración de la pluma.

El papel entintado "sella" la punta como si fuera un tapón cuando el sistema no se usa, por lo tanto la tinta no se puede secar dentro de la punta de la pluma. No hay obstrucción cuando el sistema está casi parado porque tanto la base de glicol de la tinta y la tintura disuelta penetran en la cobertura del papel en la misma proporción impidiendo la concentración de tintura.

Escritura con tinta en estado sólido.

El método de escritura con tinta en estado sólido, recientemente desarrollado (utilizado en registradores potenciométricos de baja velocidad y carta amplia), ofrece una inherente precisión y un inmejorable mantenimiento aún bajo condiciones adversas.

Varillas sólidas de cera especial teñida son colocadas en un tanque calentado. Cuando se derrite, la cera fluye libremente de un pequeño tubo sobre la superficie del papel. Una válvula de aguja controla la densidad del trazo para que convenga a su aplicación. El trazo se seca rápidamente, es claro y permanente.

Cuando no se usa, la cera permanece sólida y no se evapora o deteriora. Incluso cuando el registrador es utilizado ocasionalmente, la tinta derretida fluye libremente de la pluma después de un breve recalentado. Se evita el flujo excesivo porque el trazo de la tinta seca instantáneamente en contacto con el papel. La línea de cera sólida colocada por la punta de la pluma penetra en las fibras del papel y los trazos son fácilmente reproducibles en Ozalid o Xerox.

Trazos consistentes son producidos a cualquier velocidad de escritura desde los 0.01 ips a 40 ips (0,25 a 1000 mm/seg). La masa de tinta (que acompaña en su recorrido a la punta de la pluma) limita la velocidad de registro a 2 cps en 10 pulgadas "pico a pico", o 10 cps a 1 pulgada "pico a pico". El circuito de control para mantener una temperatura de pluma constante evita la obstrucción por "cerradura por vapor", la congelación y la obstrucción a bajas temperaturas. Después que el voltaje de la pluma es ajustado (10-11 V) no se precisan ajustes posteriores dado que el elemento calentador del tanque controla la temperatura. El sistema está capacitado para producir trazos consistentes en la temperatura ambiente desde 0 hasta 150° F.

La tinta en estado sólido es térmicamente estable, no deja residuos, no forma gomosidad, y no mancha. Una varilla sumergida indica el nivel de la tinta. Una barra de tinta, del tamaño de un lápiz, de 1 pulgada de largo, provee de suficiente tinta como para registrar un rollo de carta de 120 pies, y el recipiente tiene capacidad para cuatro barras. Toda vez que se requiera un registro bajo severas condiciones de trabajo, o para operaciones que se efectúen solas, o donde una máxima seguridad es esencial, es preferible la tinta en estado sólido. El papel necesario para este tipo de tinta es el usado comúnmente. No necesita ser recubierto pero el acabado debe ser duro y estable dimensionalmente porque el registro potenciométrico a menudo requiere sistemas muy exactos, de aproximación 0.1 %.

Conclusión

Desde el desarrollo de estas nuevas técnicas de escritura y de motores pluma con control a realimentación, el desempeño de los sistemas de registro en la actualidad es a menudo superior a muchos tipos de transductores, salida de computadores analógicos o telemétricos. Estos recientes descubrimientos han hecho del registro gráfico un implemento más útil en todos los campos de la ciencia y la industria.

Actualmente hay registradores que utilizan lámparas ultravioletas con un sistema de enfoque como el de la figura 47 siendo el papel sensible a esta luz y con un sistema de fotorevelado. Asimismo se ha conseguido aumentar el número de galvanómetros a 6 es decir que sobre un mismo papel se pueden registrar hasta 6 canales. Estos equipos tienen un ancho de banda de 5 Kc/s. Se consigue tan alta velocidad dado que no hay partes móviles de gran masa.

3.5 SISTEMAS DE CONTROL DE HORNO, SI -NO, PROPORCIONALES,

Un hecho importante es poder controlar la temperatura de un horno o un sistema calefactor.

El sistema sensor para la temperatura de un horno es el mismo que se utiliza para medirla, es decir la termocupla.

Lo que primero se piensa es enviar la señal de la termocupla a un instrumento D'Arsonval y hacer que la aguja desconecte eléctricamente el sistema de control. Ello es imposible debido a que la aguja tiene un par muy débil como para cerrar un contacto y luego podría quedar pegado debido a la chispa del contacto.

Una solución, que se utilizó, fue colocar en la posición de la aguja que marca la temperatura que se desea controlar un sistema sensor de la aguja. Primeramente se colocó un sistema de pinzas que se accionan mecánicamente. Cuando la aguja no llegó a la apertura de las pinzas éstas pueden cerrarse totalmente y entonces no accionan el corte de la calefacción. Cuando en la apertura de las pinzas se ubica la aguja, las pinzas no pueden cerrarse del todo y ello hace que se desconecte la calefacción. Este sistema es mecánicamente complicado y tiene el inconveniente que el palpado de la aguja se hace en forma lenta por lo cual no pueden detectarse variaciones rápidas de temperatura. A pesar de ello pueden usarse en hornos industriales donde las variaciones son lentas.

Hay asimismo otras maneras de obtener una orden de la aguja sin tocarla.

Uno de los métodos que se utilizó fue variar la frecuencia de un oscilador introduciendo una lámina metálica suspendida de la aguja entre las placas de un capacitor de sintonía del oscilador. Actualmente el sistema que se usa es comandar un relay mediante la iluminación de un foto-resistor con una pequeña lamparita eléctrica, o interrumpir el haz de luz, lo cual está hecho por una banderita que va suspendida de la aguja de un instrumento D'Arsonval. La lamparita y el foto-resistor van solidarios a una varilla que hace de indicador de temperatura límite.

En forma esquemática puede verse en la figura 48.

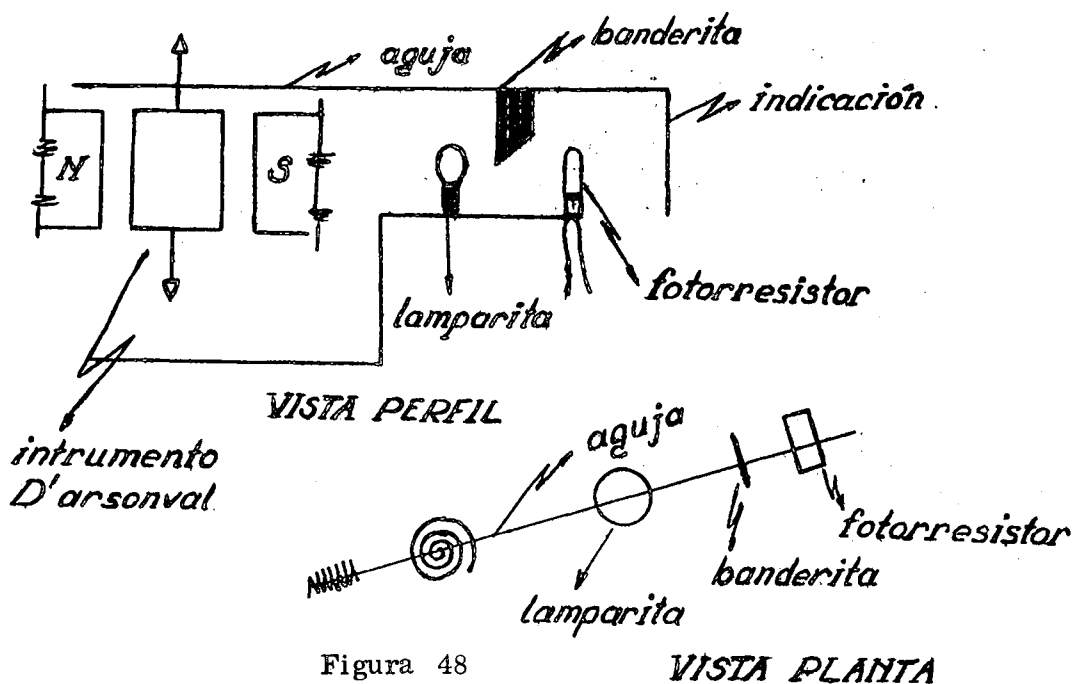
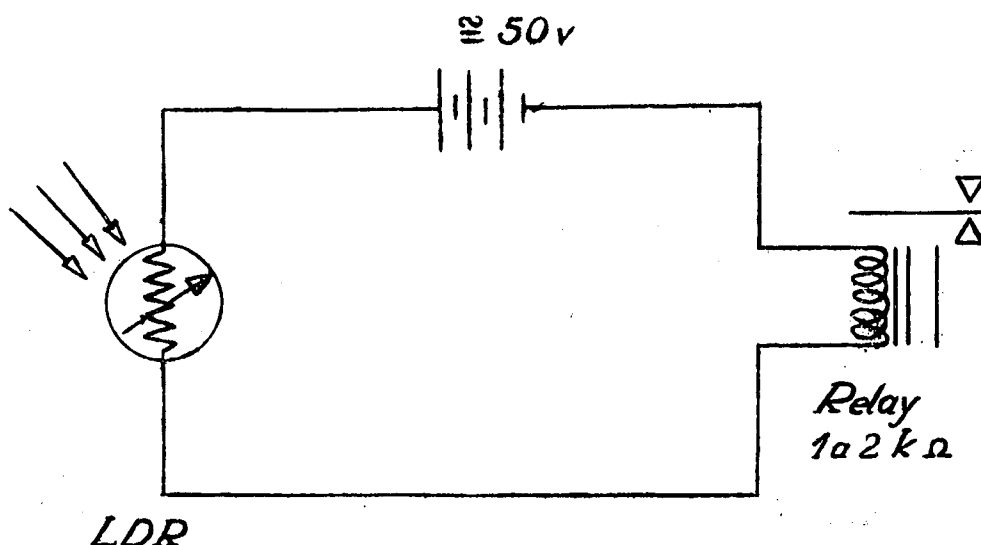


Figura 48

VISTA PLANTA

Dado que los foto-resistores tienen una variación de resistencia de más de $1\text{ M } \Omega$ desde plena iluminación a oscuridad, se los puede utilizar como llave y ése es el papel que desempeñan en este tipo de control.

El circuito eléctrico del control es el que se ve en la figura 49



LDR = Light Dependence Resistor = Fotorresistor

Figura 49

Cuando la lamparita ilumina el foto-resistor éste tiene una resistencia de aproximadamente $350\ \Omega$ mientras que cuando la banderita lo oscurece, tiene una resistencia de más de $100\text{ K } \Omega$. En estas condiciones la corriente que circula es muy pequeña, el relay no puede permanecer cerrado y al abrirse desconecta otro sistema de relays que interrumpen la calefacción del horno.

Este es un sistema clásico SI-NO o también llamado ON-OFF.

También puede hacerse este sistema colocando pequeñas llaves en los límites de temperatura en el cursor de un potenciómetro automático.

El inconveniente que se presenta si se desconecta y conecta toda la potencia calefactora puede desdoblarse en 2:

- al conectar y desconectar mucha potencia en los contactos se producirá mucha chispa que los dañará pronto.
- las fluctuaciones de temperatura dentro del horno van a ser muy grandes y más difíciles de controlar.

Para solucionar este problema lo que se hace es lo siguiente:

Se divide la calefacción del horno de manera tal que: un porcentaje grande de la misma, pero que no sea suficiente para llegar a la temperatura de trabajo, esté conectado permanentemente. Generalmente ésto es del 80 a 90 % del total.

El resto de la calefacción es la que se enciende y apaga con el control SI-NO. De esta manera la potencia que se maneja es menor y las fluctuaciones de temperatura son muy pequeñas.

Sistema proporcional.

Como su nombre lo indica es un sistema que suministra calefacción al horno en forma proporcional a su enfriamiento. No se maneja toda la potencia de una sola vez sino que se regula proporcionalmente a la temperatura.

Un sistema sencillo sería un motor que comandara un transformador variable que regule la alimentación del horno. Actualmente hay reguladores proporcionales electrónicos que no poseen piezas móviles y comandan la potencia con diodos de silicio controlados (SCR).

Generalmente se aconseja que la termocupla sensora esté lo más cerca posible del elemento calefactor para tener buena regulación de temperatura.

3.6. SISTEMAS DE SEGURIDAD.

Es conveniente que los hornos tengan un sistema que no permita que la temperatura suba excesivamente si falla el sistema termoregulador.

Una falla clásica y común en los termoreguladores es que la termocupla de control se corte.

De esta manera al cortarse la termocupla el sistema termoregulador no recibe información de la temperatura del horno y es como si el horno estuviera frío, quedando la calefacción conectada. Un sistema de seguridad usado es que hay un elemento que puede ser un foto-resistor que detecta la aguja indicadora, cuando ésta se encuentra en cero y hace interrumpir la calefacción. El inconveniente de este sistema es que cuando el horno está frío no arranca solo, sino que manualmente hay que desconectar el sistema de seguridad para que comience a calentar y la aguja salga del sensor de cero.

Otra solución que es mejor que la antes mencionada es la siguiente: Se arma un circuito eléctrico de manera tal que aplique una tensión suficiente al instrumento como para que la aguja vaya a fondo de escala cuando se corta la termocupla. Dicho circuito puede verse en la figura 50.

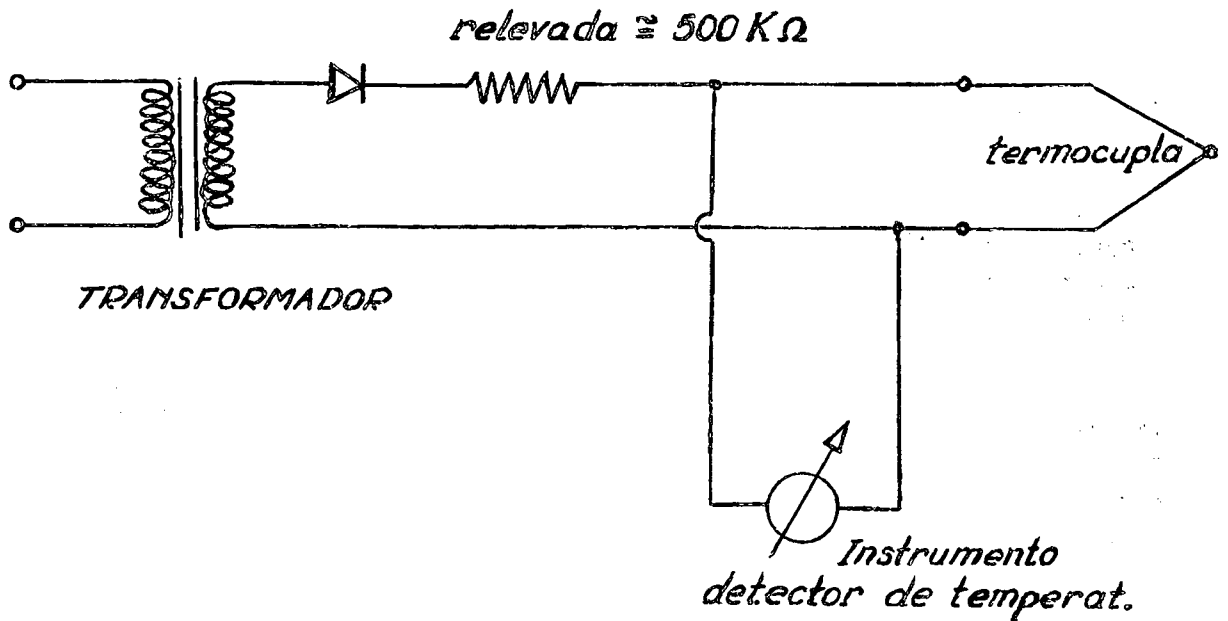


Figura 50

En el circuito de la figura 50 la termocupla tiene unos pocos Ω de resistencia; entonces casi toda la tensión rectificada cae en la resistencia de aproximadamente $500\text{ K}\Omega$. Si por alguna causa se corta la termocupla la tensión se aplica al instrumento y éste va a fondo de escala interrumpiendo la calefacción.

Un sistema muy práctico y seguro es conectar en serie con la calefacción y dentro del horno un trozo de alambre que funda unos grados por debajo de la temperatura máxima que puede haber en el horno. Cuando el sistema de control falla, la temperatura sube y el alambre se funde interrumpiendo toda la calefacción.

El inconveniente de este último sistema es que se necesita disponer del alambre que funda unos grados por debajo de la temperatura máxima.

C A P I T U L O 4

HORNOS Y SISTEMAS DE CALEFACCION

4.1. DISTINTOS TIPOS SEGUN LAS TEMPERATURAS. HORNOS DE LABORATORIO Y HORNOS INDUSTRIALES.

Los hornos difieren de unos a otros en el elemento calefactor según sea la temperatura a la que deberán trabajar y por otra parte diferirán si su uso va a ser en un laboratorio o en la industria, y si son de vacío, atmósfera inerte, etc.

Generalmente en el laboratorio se utilizan hornos eléctricos debido a que su operación y muchas veces su construcción es más sencilla. En la industria por razones de economía se utilizan hornos con combustible que puede ser: petróleo, gas-oil, o también gas. En hornos eléctricos de calefacción por resistencia y de los más simples, se puede llegar hasta los 1600°C .

Con algunas complicaciones puede llegarse hasta los 3000°C y con los hornos de inducción en alta frecuencia puede llegarse hasta 4500°C .

Generalmente en la industria, salvo casos muy especiales, las temperaturas requeridas no son tan elevadas; por lo tanto se utilizan hornos de combustión. En algunos casos de manufacturas especiales se utilizan hornos eléctricos y también de inducción de alta frecuencia.

4.2. HORNOS ELECTRICOS POR CALEFACCION A RESISTENCIA DE ALAMBRE

La condición que se debe satisfacer primeramente es que el alambre que actúe de resistencia calefactora deberá resistir la temperatura a la que trabajará el horno y deberá resistir la oxidación por el aire. Generalmente estos hornos son para uso en laboratorio, poseen una cámara generalmente cilíndrica de cerámica o cuarzo; algunas veces es un semi-cilindro con una base plana. Alrededor de esta cámara se arrolla el alambre calefactor y se recubre por fuera con materiales aislantes y refractarios.

Elemento calefactor: Hay varios tipos de alambres con los cuales se puede construir la resistencia calefactora. Hasta temperaturas del orden de los 900°C puede utilizarse la aleación Ni-Cr que se vende con el nombre comercial de "Nickrom".

Si es necesario alcanzar temperaturas mayores debe utilizarse otra aleación que es Ni-Cr con pequeñas cantidades de Al y que se conoce con el nombre comercial patentado por la firma Ericcson, de "Kanthal". En la industria alemana hay un producto muy similar que se conoce con el nombre de "Megapyr".

Del alambre Kanthal hay varios tipos y el que más temperatura resiste es el A-1 que se puede usar hasta 1350°C , en aire.

La alta temperatura que se puede alcanzar es debido a que el aluminio se transforma a esas temperaturas en alúmina que actúa como protector.

Este calefactor no se puede usar en vacío porque el aluminio se evapora y de esta manera pierde sus propiedades.

Este alambre tiene otro inconveniente que es el crecimiento de grano que lo torna muy quebradizo y un movimiento en el alambre después de calentado, puede hacer que éste se corte. Si fuera necesario hacer uniones luego de haberse cortado por esta circunstancia, puede hacerse uniones retorciéndolo si previamente se lo calienta a unos 850°C , con una llama.

Si es necesario obtener temperaturas del orden de 1700°C se puede utilizar una aleación platino 20% de Ródio. Claro está que este elemento calefactor es costoso pero tiene la ventaja de poder usarse tanto en vacío como en aire y asimismo es fácil de reparar en caso de cortarse.

Hay otros elementos calefactores que son de Carburo de Silicio y que se fabrican en forma de barras con el nombre comercial de "Globar". Los extremos de estas varillas se hacen muy conductores mediante el agregado de metal pulverizado.

Un esquema de estas varillas puede verse en la figura 51

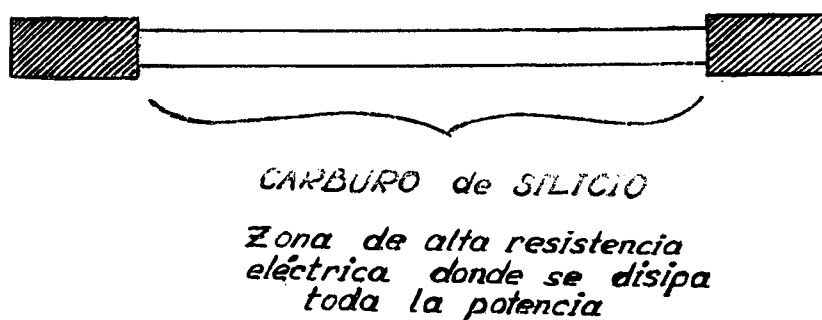


Figura 51

Las zonas rayadas tienen agregados metálicos que hacen que sean muy conductoras y que allí no se disipe potencia.

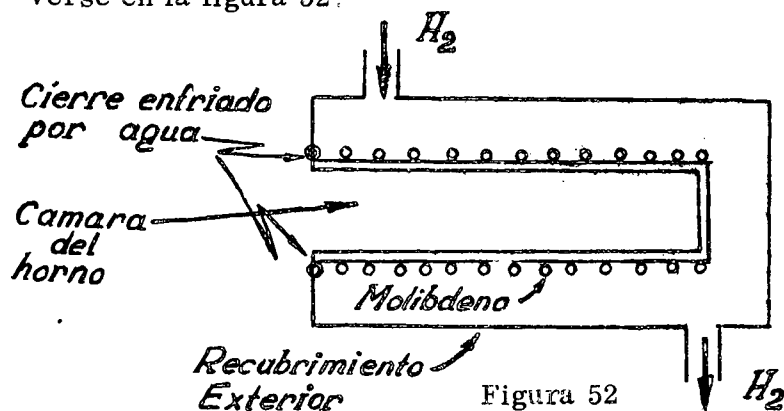
Es necesario que la zona central donde se disipa toda la potencia esté ubicada en la zona de la cámara del horno. Para hacer una calefacción homogénea habrá que ubicar varias varillas de globar. Con este material puede llegarse hasta 1600°C .

Este tipo de calefactores tiene el inconveniente que el carburo de Si envejece y aumenta su resistencia eléctrica. Por lo tanto habrá que tener un transformador que permita elevar la tensión a medida que se usa el horno. Generalmente estos hornos trabajan con tensiones bajas entre 50 y 100 V y con corrientes elevadas de las decenas de amperes

Cuando se desea aumentar la temperatura ya las soluciones no son tan simples si bien hay todavía una posibilidad para llegar hasta los 1800°C sin excesiva complicación.

Para este orden de temperaturas se utiliza alambres refractarios como Tantalio o Molibdeno

Sobre la cámara de alumina del horno se arrolla el alambre calefactor de Molibdeno y luego el conjunto se encierra en una cámara por la cual se hace circular una atmósfera reductiva, o sea H_2 . Un esquema de este horno puede verse en la figura 52.



Este horno tiene recomendaciones especiales en cuanto a puesta en marcha, pues se debe purgar la cámara y además mantener en presión positiva dentro de la misma.

Este horno tiene recomendaciones especiales en el apagado, no debe enfriarse con un régimen muy superior a 10°/hora. Esto es debido a los coeficientes de dilatación de la alúmina.

4.3. Horno de Tantalio

Este horno permite alcanzar temperaturas del orden de los 2500°C pero posee varias complicaciones respecto a los que se vieron hasta ahora.

Como primera medida debe usarse en vacío es decir que todo el horno debe estar dentro de una campana a la cual se le hace el vacío hasta por lo menos 10^{-4} torr.

El principio de funcionamiento es por resistencia construyéndose el elemento calefactor con 1 sola espira de tantalio. Una figura esquemática de

este horno puede verse en la figura 53.

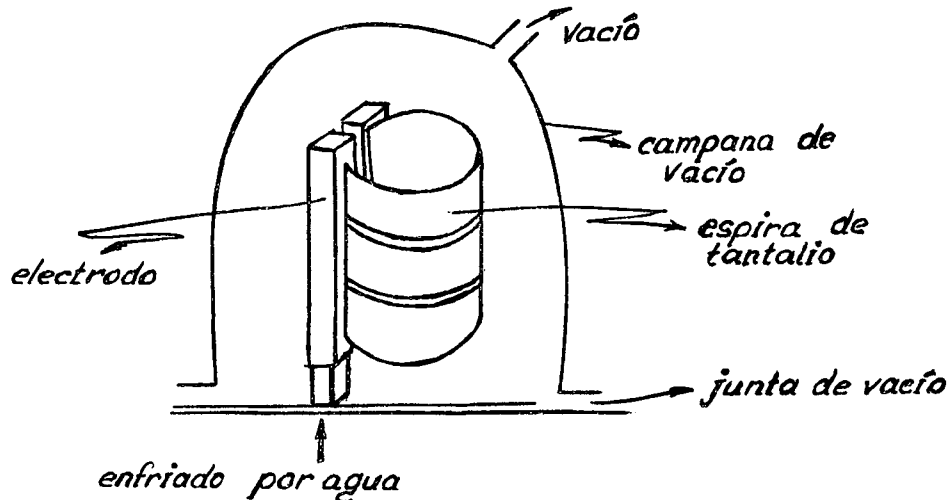


Figura 53

Este horno exige el uso de un transformador pues trabaja con unos 10 V y una corriente de varios cientos y hasta miles de amperes. Desarrolla una potencia del orden de los 15 kw.

La cámara caliente tiene unos 7 a 8 cm. de diámetro y unos 18 a 20 cm. de largo. A veces la espira está fraccionada en 3 o 4 espiras menores para regular la temperatura y zona de calefacción. Las diversas espiras permiten alimentación independiente.

4.4. Horno de Tungsteno

Cuando es necesario tener temperaturas del orden de los 3000°C se utiliza un horno cuyo elemento calefactor es de tungsteno. Aquí en vez de una chapa es una malla tejida de tungsteno. Tanto los electrodos de conexión como la campana para efectuar vacío están refrigerados por agua.

La corriente de alimentación para el calefactor puede ser continua o alterna indistintamente.

Su construcción es muy similar a la del horno de tantalio. Su cámara son 3 gajos de malla de tungsteno que se unen todos en la parte inferior.

Esta configuración se debe a que la alimentación del horno es trifásica. La potencia de este horno es de aproximadamente 30 kw. En este horno como en el de tantalio el mayor tamaño está ocupado por el transformador que debe suministrar corrientes altísimas con muy baja tensión. Para que la energía radiante no llegue a la campana, este horno tiene rodeando a la cámara varios reflectores también de tungsteno, tal como puede verse en la figura 54.

VISTA EN PLANTA del HORNO de TUNGSTENO

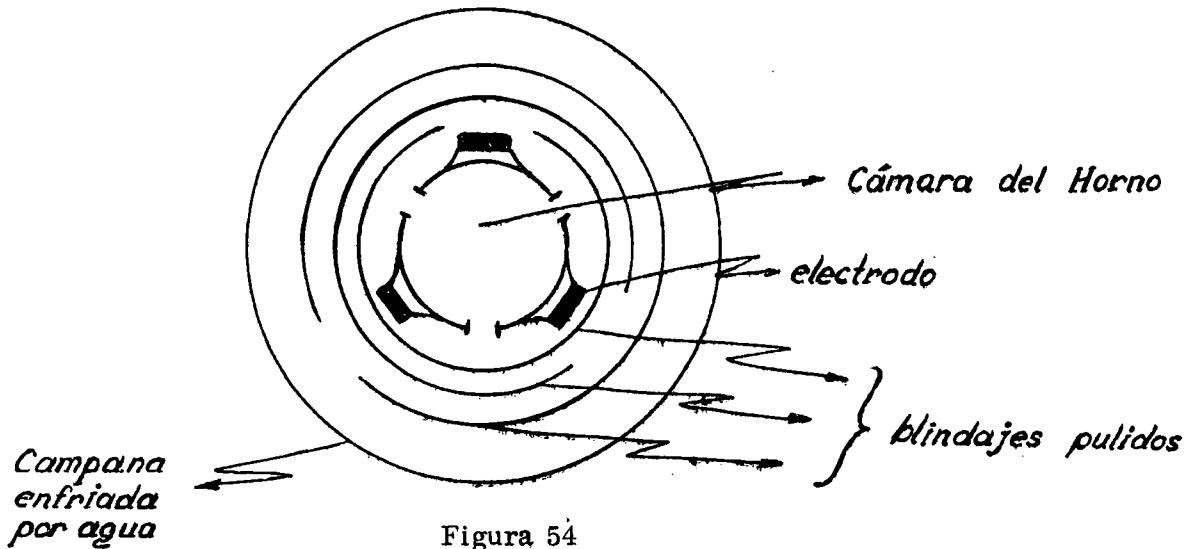


Figura 54

4.5. Horno de caño de Grafito Nermst-Tamman

En este horno la cámara está constituida por un caño de grafito que a su vez es el elemento calefactor. Una corriente que circula por el mismo es la que produce calefacción al disiparse la potencia sobre el mismo caño. Con este horno se puede llegar hasta 3000°C . Es necesario usar una atmósfera reductora pues el grafito se quema fácilmente. Para ello se hace circular por dentro, gas de alumbrado el que se enciende en el pico de escape en el tapón de la cámara. Una figura esquemática puede verse en la figura 55.

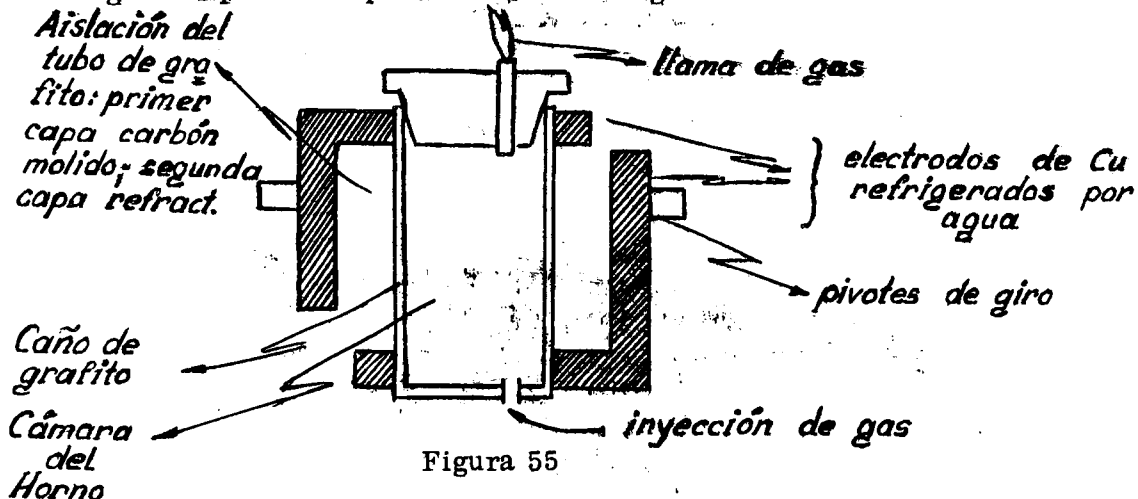


Figura 55

Este horno necesita ser alimentado con un transformador pues trabaja con una tensión de 10 a 12 v y con varios miles de amperes.

4.6. Horno con soplete o inyector

Para estos hornos se puede usar soplete oxídrico cuando son de tamaño de laboratorio o sino con inyector de gas-oil para los tamaños industriales.

Con el soplete oxidr ico se puede llegar hasta 3000 C mientras que con los inyectoros de gas-oil hasta 2500 C.

A los costados de la cámara se ubican los picos de soplete o los inyectoros de manera tal que la llama describa una hélice sobre la cámara que es conveniente que sea cilíndrica. Luego se hace un recubrimiento exterior de material cerámico y aislante.

4.7. Hornos de arco. Electrodo de carbono. Electrodo consumible

Los hornos de Arco se basan en el funcionamiento del arco Voltaico, en el cual la chispa que salta entre los electrodos vaporiza el material de los mismos y eleva enormemente su temperatura produciendo la fusión del electrodo en algunos casos y dependiendo del material del mismo.

Los hornos de electrodos de carbón se utilizan industrialmente para la fusión de aceros de buena calidad.

En estos hornos uno de los electrodos es el material a fundir, la chatarra o las ferroaleaciones para obtener el acero. El polo positivo del arco está constituido por electrodos de grafito que muchas veces superan los 50 cm. de diámetro. Los electrodos se introducen en forma vertical por la tapa del horno. Generalmente son 3 los electrodos puesto que la alimentación es trifásica. Hay un sistema de regulación de corriente que introduce más o menos los electrodos.

Los hornos de electrodo consumible se utilizan tanto en laboratorio como en industria cuando es necesario fundir metales de muy alto punto de fusión. Ambos electrodos son del material a fundir. El electrodo se hace por sinterizado, es decir se obtiene por vía química el polvo del material, luego se hace el prensado obteniendo una barra que luego se sinteriza. Al formarse el arco a unos 3500 C el material del electrodo se funde y se aprovecha para colarlo en la forma deseada. Generalmente este horno se utiliza para materiales como el tungsteno, molibdeno, etc. pero en vacío.

Horno de imagen de arco: Hay otro tipo de horno de arco que se utiliza en laboratorio pues tiene una zona caliente muy pequeña.

La fuente de calor es un arco voltaico que se refleja sucesivamente en 2 espejos parabólicos. Un corte esquemático de este tipo de horno puede verse en la figura 56.

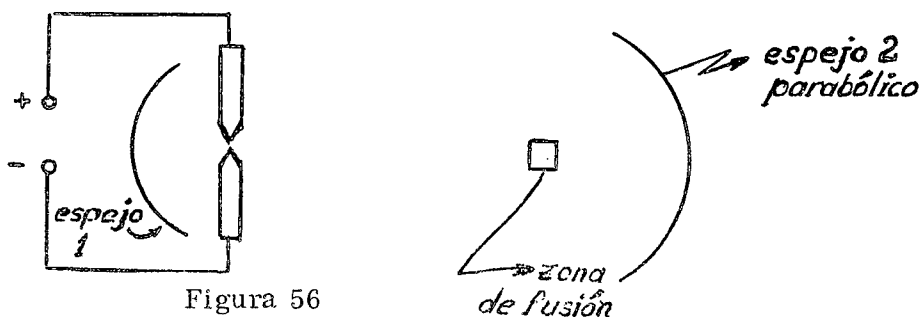


Figura 56

Los electrodos que forman el arco se encuentran en el foco del espejo 1, por ser este parabólico todos los rayos salen paralelos. En el espejo 2 todos los rayos paralelos al eje del mismo pasarán por el foco y allí se tendrá aproximadamente la temperatura del arco. Los espejos deben ser de gran diámetro. Para un horno pequeño de laboratorio los espejos deben tener 1 m. de diámetro. Es un horno esencialmente limpio y puede llegarse fácilmente a 3500°C.

4.8. Hornos por inducción

Es sabido que cuando se introduce un material en un campo electromagnético variable, éste tomará parte de la energía de dicho campo y la transformará en calor. Este efecto es mucho más pronunciado en los metales y es por este principio que puede llegarse a fundir un metal.

Las pérdidas de potencia que se producen en un metal sumergido en un campo magnético variable son debidas a dos fenómenos distintos.

- a) La disipación de energía debido a la alteración de los polos magnéticos dentro del material esto se conoce como pérdidas por histéresis.
- b) La disipación I^2R debido a la corriente que se induce por un flujo B variable y la resistencia propia del material lo que se conoce como pérdidas por Eddy-Current o corrientes de Foucault.

Las pérdidas por histéresis se producen cuando el campo magnético se varía desde B_1 hasta B_2 siendo $B_1 \neq B_2$. Esta pérdida es igual para cada ciclo y directamente proporcional a la frecuencia. La pérdida debida a la histéresis, es en cada ciclo proporcional al area del lazo de histéresis del material.

Puede suponerse en primera aproximación que las pérdidas por histéresis estan dadas por

$$P_H = k \cdot f \cdot B^\alpha$$

siendo k una constante del material, lo mismo que f la frecuencia y B la inducción en Gauss.

Las pérdidas por corrientes de Foucault se deben al calor generado por I^2R siendo I las corrientes que se inducen en el material. Las pérdidas por corriente de Foucault son proporcionales al cuadrado de la frecuencia, al cuadrado de la densidad de flujo B al espesor del material e inversamente proporcionales a la conductividad del mismo.

$$P_f = \frac{k^1 f^2 B^2 t^2}{\rho}$$

siendo: k^1 una constante del material
 f la frecuencia del campo
 B la intensidad del campo
 t el espesor del material
 ρ la resistividad del mismo

Puede verse por estas consideraciones que un metal dentro de una bobina por la cual circula una corriente alternada se calentará. Por las fórmulas antes mencionadas se ve que habrá mayor eficiencia si la frecuencia de la corriente alterna es mayor o si es grande el número de espiras de la bobina. Estos hornos pueden hacerse con frecuencia tan bajas como 50 c/s pero ello requiere una bobina de muchas vueltas y un tamaño respetable.

Los hay también que trabajan con frecuencia del orden de los 20 Kc/s. Para usar esta frecuencia el sistema es un motor de 50 c/s que mueve un generador de 20 K c/s. Este horno tiene una potencia de unos 70 kW y la bobina es de unos 20 cm. de diámetro y unos 40 cm. de largo.

Cuando se utilizan frecuencias más altas, o sea del orden de Radiofrecuencia, 500 K c/s el generador ya no puede ser mecánico y en este caso se utiliza un generador electrónico.

Este generador no es más que un oscilador electrónico, cuya carga es la bobina calefactora.

El circuito básico de un oscilador electrónico puede verse en la figura 57

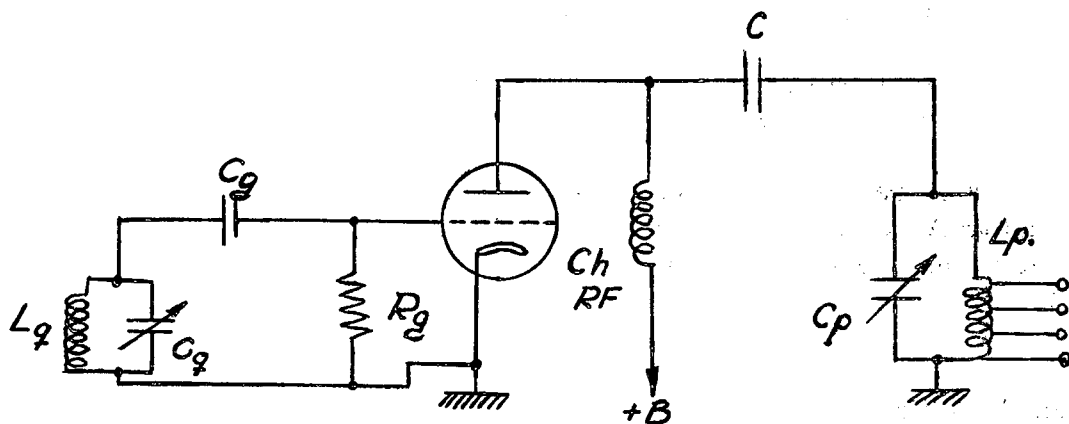


Figura 57

Por supuesto los hornos para calefacción y/o fundición al ser de mucha potencia, más de 5 kw, poseen todo un sistema de protección para la válvula osciladora que es muy costosa y al mismo tiempo delicada en su trato, tanto mecánico como eléctrico. La refrigeración del ánodo de esta válvula se hace por agua como así también la bobina calefactora.

Estos hornos trabajan generalmente en una frecuencia fija alrededor de 500 K.c/s o también 27 M c/s por lo tanto una vez sintonizado los circuitos tanque de grilla y placa no es necesario volver a tocarlos. El inductor Ch RF es lo que se denomina "choque" de Radiofrecuencia y se pone para que la alta frecuencia no circule por la fuente de alimentación.

4.9. Cálculo aproximado de un horno eléctrico para laboratorio

En el cálculo de hornos pequeños para uso en laboratorio, entiéndase pequeño

basta una potencia eléctrica de aproximadamente 10 kw., no tiene mayor sentido comenzar haciendo todo el cálculo térmico del mismo.

Salvo casos extremadamente delicados no justifica el cálculo térmico, los errores, aproximaciones y factores de seguridad que luego resulten en la construcción del horno.

Cuando el uso del horno es fundir y/o hacer tratamientos térmicos hasta temperaturas del orden de los 1200°C se poseen datos empíricos sobre la base de los cuales es lícito hacer algunas extrapolaciones.

La experiencia de nuestro laboratorio es que para calefaccionar una cámara de 15 x 15 x 30 cm. basta una temperatura de unos 1200°C en un tiempo de unas 3 horas desde temperatura ambiente hasta la temperatura de trabajo es necesario aproximadamente unos 2 kw de potencia eléctrica.

Si la carga es de mucha masa y su introducción y extracción debe hacerse en tiempos cortos y la velocidad de calefacción no es lo suficiente puede incrementarse la potencia hasta 2,5 o 3 kw para el mismo tamaño de cámara.

Para cámaras de cerámica de unos 4 cm. de diámetro y unos 30 cm. de largo para alcanzar una temperatura de 1200°C es necesario una potencia del orden de 500 a 600 w si bien con una muy buena aislación térmica sería suficientes unos 300 w.

Para un horno vertical cuya cámara tiene 27 cm. de diámetro y 45 cm. de largo con una potencia de 6 kw llega fácilmente a la temperaturas de 1200°C.

Generalmente el alambre usado como elemento calefactor es Kanthal A-1 si bien el Kanthal A es muy similar según puede verse en las tablas 6 y 7 y cuyos datos pueden utilizarse en el cálculo sin cometer un error que en el peor de los casos no sobrepasa el 5%.

Ejemplo de Cálculo

Se desea construir un horno cuya cámara mide 15 x 15 x 30 cm. con una potencia nominal de 2,5 kw alimentado con una tensión de 220 v.

Resolución

Con los datos anteriores se puede determinar que la resistencia del calefactor será:

$$W = \frac{V^2}{R} \quad R = \frac{V^2}{W} = \frac{(220)^2}{2500} = \frac{48400}{2500} = 19,4 \, \Omega$$

Se estima que por la potencia, la temperatura, la forma y tamaño de la cámara, es conveniente utilizar un alambre de 1 mm. de diámetro. De la tabla 7 vemos que para el diámetro de 1 mm. la resistencia es de 1,846 /m, es decir que la longitud del alambre será:

$$l = \frac{R_{\text{tot}}}{r/m} = \frac{19,4 \, \Omega}{1,846 \, \Omega/m} \approx 10,5 \, \text{m}$$

Como las cámaras de estas medidas pueden conseguirse ya con una canaleta de aproximadamente 1 cm. de ancho en espiral todo a su alrededor; es conveniente enrollar al alambre de Kanthal sobre una forma cilíndrica de aproximadamente 8 a 10 mm. de diámetro.

Se construye de esta manera en espiral tipo resorte con espiras juntas, el cual tendrá una longitud de aproximadamente de 33 cm. Esta espiral se estira luego en forma pareja hasta que su paso sea de aproximadamente 12 a 18 mm. con lo cual se obtiene una longitud de espiral de unos 5 a 6 metros. Esta espiral se enrolla alrededor de la cámara del horno. El espiral puede sujetarse a la cámara mediante cemento refractario. Es muy aconsejable que el tramo de alambre entre los extremos del espiral y los bordes de conexión sea del mismo Kanthal triple o cuádruple el que usa en el calefactor. Generalmente estos tramos de conexión se hacen trenzando el mismo alambre calefactor que previamente se consideró en largo triple o cuádruple.

En la parte exterior de la cámara se coloca una aislación de unos 5 cm. con ladrillos refractarios de alta temperatura GR 26, o de alta alumina, procesos. Luego se puede hacer otra capa de ladrillos aislantes para baja temperatura, luego polvo de amianto y finalmente una capa de Vermiculita. Luego de esta aislación triple que tendrá un espesor de unos 10 cm. se coloca la caja exterior del horno que puede ser metálica. Si la construcción y los elementos usados son correctos, este horno tendrá una temperatura exterior de 80 a 90°C cuando su cámara tenga 1000°C.

Con este cálculo y los tres ejemplos empíricos prácticos será relativamente fácil construir un horno de dichas potencias o potencias intermedias haciendo una interpolación o extrapolación.

Es necesario aclarar que no hay una correlación lineal entre el aumento de volumen de cámara y el aumento de potencia eléctrica. A medida que se aumenta el volumen de cámara la potencia aumenta en forma menos pronunciada.

TABLA 6

KANTHAL A en hilos

Temperatura máxima 1300°C

Resistencia específica a 20°C 1.39 Ω mm²/mLa resistencia a temperatura dada se obtiene por $R_t = R_{20°C} \times C_t$

T°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
C _t	1.00	1.002	1.006	1.011	1.017	1.027	1.036	1.043	1.049	1.053	1.056	1.058	1.060	1.062

Diámetro m m	Resistencia Ω /m	Superficie de disipación cm ² /m	Peso gr/m
0.05	707.9	1.571	0.014
0.10	177.0	3.142	0.056
0.15	78.66	4.712	0.126
0.20	44.25	6.283	0.225
0.25	28.32	7.854	0.351
0.3	19.66	9.425	0.505
0.355	14.04	11.15	0.708
0.4	11.06	12.57	0.899
0.45	8.740	14.14	1.137
0.5	7.079	15.71	1.404
0.56	5.643	17.59	1.761
0.6	4.916	18.85	2.022
0.67	3.943	21.05	2.521
0.71	3.511	22.31	2.831
0.75	3.146	23.56	3.159
0.8	2.765	25.13	3.594
0.85	2.450	26.70	4.057
0.9	2.185	28.27	4.549
0.95	1.961	29.85	5.068

TABLA 7

KANTHAL A-1

Temperatura máxima 1350°C

Resistencia específica a 20°C 1,45 Ω mm²/mLa resistencia a una temperatura dada se obtiene por $R_t = R_{20^\circ\text{C}} \times C_t$

T°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1350
C t	1,000	1,000	1,001	1,002	1,005	1,010	1,017	1,023	1,028	1,032	1,036	1,038	1,040	1,042	1,043

Diámetro mm	Resistencia Ω /m	Superficie de disipación cm ² /m	Peso gr/m
1,00	1,846	31,42	5,576
1,12	1,473	35,18	6,997
1,25	1,182	39,27	8,716
1,50	0,8205	47,12	12,54
1,70	0,6388	53,41	16,12
2,00	0,4616	62,83	22,31
2,50	0,2954	78,54	34,85
3,00	0,2051	94,25	50,19
3,55	0,1466	111,5	70,3
4,00	0,1154	125,7	89,22

Aislantes térmicos, Refractarios y Crisoles

Los aislantes térmicos deben cumplir con la condición de tener gran número de burbujas de aire es decir que deben ser materiales de baja densidad para que tengan buen rendimiento como aislantes. Generalmente se utilizan silicatos si bien éstos son ácidos y a altas temperaturas atacan a los alambres calefactores. Para aquellos materiales que deben estar en contacto con alambre de Kanthal se utilizan ladrillos de alto contenido de alúmina o de alto contenido de óxido de magnesio. Estos dos materiales son de características básicas mientras que las porcelanas son de características ácidas.

Son buenos para estar en contacto con calefactores los ladrillos RG 26 fabricados por la firma Norton.

Actualmente se fabrican ya en nuestro país ladrillos de características muy similares.

Cuando es necesario que el ladrillo soporte al elemento calefactor pueden hacerse fácilmente surcos o canaletas en los mismos. Estos ladrillos soportan hasta 1400°C . En segunda capa de aislantes se puede usar ladrillos de silicatos. Estos ladrillos soportan hasta 1200°C .

Existe un material muy poroso y liviano que es un silicato y que se conoce con el nombre de Vermiculita que se puede utilizar como aislante hasta la caja exterior del horno.

Puede utilizarse hasta baja temperatura unos 500°C lana de vidrio o también polvo de amianto.

Cuando es necesario soportar temperaturas de hasta 2000°C se utiliza alúmina pura que se fabrica en forma tubular. Hasta 2300°C se utiliza óxido de Zirconio que se conoce con el nombre de Zircón o Zirconia.

Hay un silicato llamado "Mulita" que se fabrica en forma de caños y que puede llegar hasta 1900°C .

Crisoles. En laboratorio y cuando no hay que sobrepasar los 1200°C se utilizan crisoles de porcelana puesto que no introducen impurezas. Si el crisol es muy grande o si la temperatura es más elevada se usan crisoles de grafito con un porcentaje de carburo de silicio. Estos últimos crisoles se usan industrialmente para fundir metales hasta una temperatura de 1600°C .

La alúmina y el zircón se utilizan también en la construcción de crisoles para laboratorio.

TABLA 7

KANTHAL A-1

Temperatura máxima 1350°C

Resistencia específica a 20°C 1,45 Ω mm²/m

La resistencia a una temperatura dada se obtiene por $R_t = R_{20°C} \times C_t$

T°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1350
C t	1,000	1,000	1,001	1,002	1,005	1,010	1,017	1,023	1,028	1,032	1,036	1,038	1,040	1,042	1,043

Diámetro mm	Resistencia Ω/m	Superficie de disipación cm ² /m	Peso gr/m
1,00	1,846	31,42	5,576
1,12	1,473	35,18	6,997
1,25	1,182	39,27	8,716
1,50	0,8205	47,12	12,54
1,70	0,6388	53,41	16,12
2,00	0,4616	62,83	22,31
2,50	0,2954	78,54	34,85
3,00	0,2051	94,25	50,19
3,55	0,1466	111,5	70,3
4,00	0,1154	125,7	89,22

Aislantes térmicos, Refractarios y Crisoles

Los aislantes térmicos deben cumplir con la condición de tener gran número de burbujas de aire es decir que deben ser materiales de baja densidad para que tengan buen rendimiento como aislantes. Generalmente se utilizan silicatos si bien éstos son ácidos y a altas temperaturas atacan a los alambres calefactores. Para aquellos materiales que deben estar en contacto con alambre de Kanthal se utilizan ladrillos de alto contenido de alúmina o de alto contenido de óxido de magnesio. Estos dos materiales son de características básicas mientras que las porcelanas son de características ácidas.

Son buenos para estar en contacto con calefactores los ladrillos RG 26 fabricados por la firma Norton.

Actualmente se fabrican ya en nuestro país ladrillos de características muy similares.

Cuando es necesario que el ladrillo soporte al elemento calefactor pueden hacerse fácilmente surcos o canaletas en los mismos. Estos ladrillos soportan hasta 1400°C . En segunda capa de aislantes se puede usar ladrillos de silicatos. Estos ladrillos soportan hasta 1200°C .

Existe un material muy poroso y liviano que es un silicato y que se conoce con el nombre de Vermiculita que se puede utilizar como aislante hasta la caja exterior del horno.

Puede utilizarse hasta baja temperatura unos 500°C lana de vidrio o también polvo de amianto.

Cuando es necesario soportar temperaturas de hasta 2000°C se utiliza alúmina pura que se fabrica en forma tubular. Hasta 2300°C se utiliza óxido de Zirconio que se conoce con el nombre de Zircón o Zirconia.

Hay un silicato llamado "Mulita" que se fabrica en forma de caños y que puede llegar hasta 1900°C .

Crisoles. En laboratorio y cuando no hay que sobrepasar los 1200°C se utilizan crisoles de porcelana puesto que no introducen impurezas. Si el crisol es muy grande o si la temperatura es más elevada se usan crisoles de grafito con un porcentaje de carburo de silicio. Estos últimos crisoles se usan industrialmente para fundir metales hasta una temperatura de 1600°C .

La alúmina y el zircón se utilizan también en la construcción de crisoles para laboratorio.

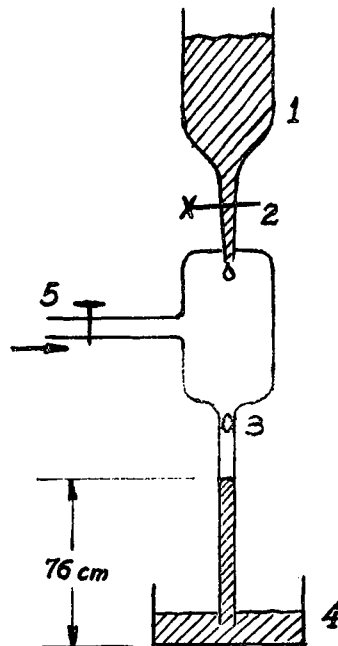


Fig. 59

Bomba de Toepler: Es una bomba también sencilla pero cuyo funcionamiento no es absolutamente automático como en el caso anterior aunque permite obtener fácilmente 10^{-3} mm de Hg. La misma puede observarse esquemáticamente en la Fig. 60.

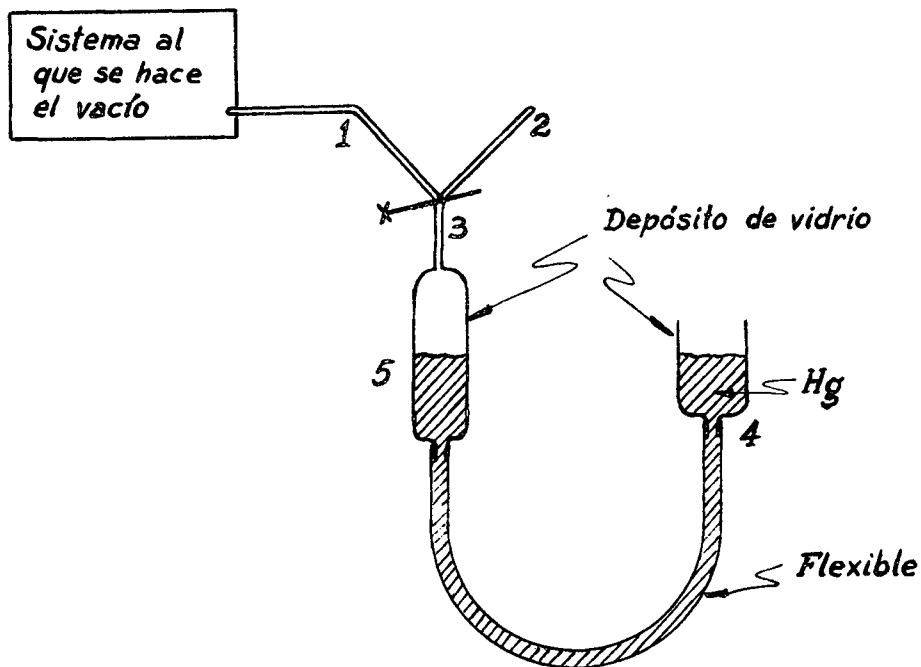


Fig. 60

En este caso, la llave de vidrio que hay que usar es más complicada pues es de 2 vías y 3 posiciones. Dichas posiciones son:

- a) Conecta la vía 1 con la salida 3
- b) La salida 3 queda cerrada
- c) Conecta la vía 2 con la salida 3

El funcionamiento de esta bomba es puramente manual y es el siguiente:

- 1) Se ubica la llave de vidrio en la posición c, de esta manera el depósito 5 queda conectado a la presión externa ambiente.
- 2) Se sube el recipiente 4 hasta que el mercurio en 5 llegue justo hasta la llave.
- 3) Se pasa la llave a la posición b y luego a la a.
- 4) Se baja lo más posible al recipiente 4 sin que se vuelque el Hg y superando la distancia barométrica de 76 cm.
- 5) Se pasa la llave de vidrio a la posición b y luego a la posición c.
- 6) Se sube el recipiente 4 hasta que el mercurio en 5 llegue hasta la llave.

De esta manera queda completado un ciclo y el volumen de aire que entró en el recipiente 5 proveniente del sistema al cual se deseaba hacer el vacío, fue luego expulsado al exterior por la salida libre 2. Este ciclo se repetirá tantas veces como sea necesario para bajar la presión al nivel deseado.

Hay que aclarar que en este sistema no se gasta mercurio pero es complicado automatizarlo. Su rendimiento es mayor que el de la bomba por goteo. El funcionamiento está limitado por la presión de vapor del Hg.

5.4 Bombas Difusoras

Las bombas difusoras utilizan en parte el mismo principio de las bombas de goteo y además el efecto de que, cuando un gas pasa a estado líquido sufre una disminución de volumen.

Generalmente, los elementos usados en las bombas difusoras son: mercurio, aceites especiales o ésteres de ácidos superiores como así también glicerina. Estas bombas no pueden funcionar solas en el sistema sino que debe haber también una bomba mecánica para llevar la presión de todo el sistema a un valor adecuado para que la difusora comience a funcionar. Con este tipo de bombas se puede alcanzar vacíos del orden superior a los 10^{-6} mm de Hg. El esquema básico de una bomba difusora puede verse en la Fig. 61.

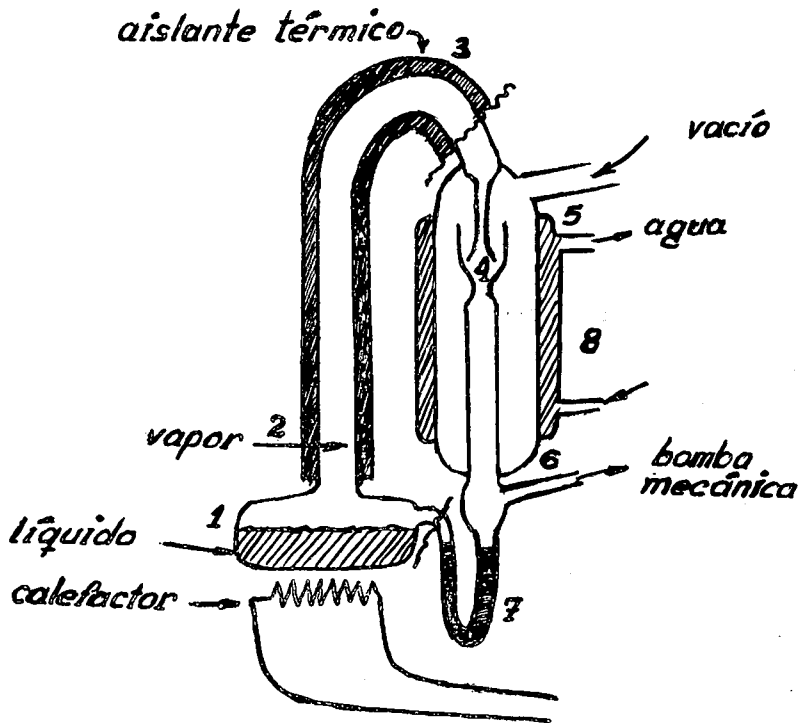


Fig. 61

El funcionamiento de esta bomba es el siguiente: en el recipiente 1 se encuentra el líquido con el cual va a trabajar la bomba, que además se calienta con una resistencia eléctrica por su parte inferior. En la zona 2 se forma vapor del líquido de la zona 1. Este vapor asciende por la columna y luego del codo superior 3 comienza a bajar. Hasta este momento el tubo tiene un aislante térmico de manera que el vapor no se enfríe. En la zona 4 el vapor se enfría por el efecto del agua refrigerante y se condensa. En ese momento disminuye bruscamente su volumen y de esa forma chupa aire de la toma 5. En 6 el vapor ya está condensado y cae en gotas. El sifón 7 tiene por fin actuar como separación entre la zona de vapor y la zona de condensación y al mismo tiempo impide el camino inverso del líquido.

Las bombas de este tipo más utilizadas son las de mercurio. La camisa 8 sirve para hacer circular el refrigerante. Esta bomba es de una sola etapa pues posee un solo cambio de sección (zona 4). Hay también difusoras de múltiples etapas aumentando de esta forma su eficiencia.

Bomba molecular de Gaede: es una bomba mecánica para alto vacío, 10^{-6} . Consiste en un rotor ranurado que gira a muy alta velocidad -10.000 rpm- en una caja exterior, siendo la luz entre ambos muy estrecha, centésimos de mm. La capacidad de bombeo es pequeña.

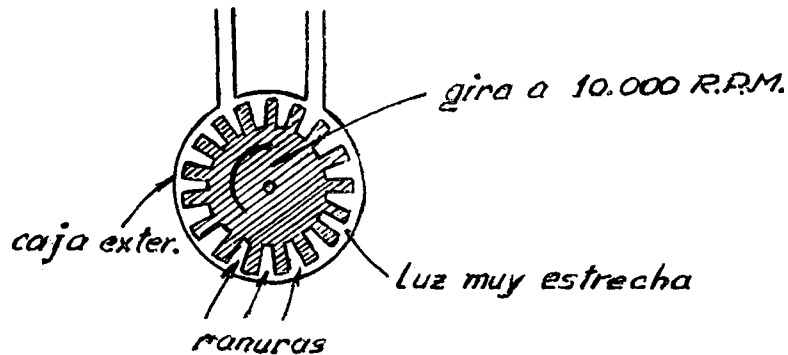
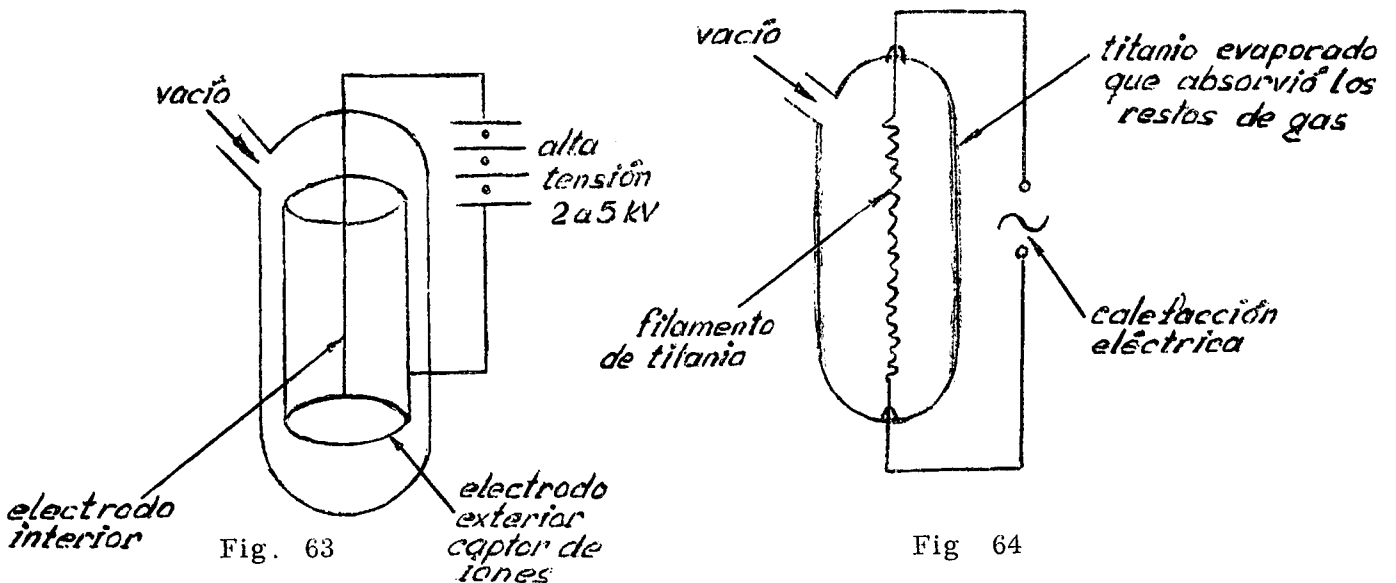


Figura 62

Bomba iónica: es para muy alto vacío y ultra vacío y funciona con un vacío previo elevado. La alta tensión ioniza las moléculas residuales del gas y a la vez las acelera contra el electrodo exterior quedando atrapadas en él. Periódicamente debe someterse a un degasado por calentamiento del electrodo exterior. (Fig. 63).

Bomba de adsorción con titanio: es una bomba muy simple y que también exige vacío previo elevado, consiste en un filamento de titanio caliente en el eje de un tubo que al evaporarse condensa en las paredes del mismo adsorbiendo las moléculas de gas. Es una bomba perecedera, se pueden hacer unas 30 evaporaciones de titanio y luego debe reemplazarse. Se la suele combinar con la bomba iónica. (Fig. 64).



5.5 Mediciones de Bajas Presiones

La tecnología del alto vacío ha sido a menudo definida como el arte de manipular y contar moléculas, porque la presión es directamente proporcional al número de moléculas en un volumen dado.

Cuando queremos medir una presión en una cámara de altitud correspondiente a una altitud desde la Tierra de 500.000 pies (1.5×10^{-6} mm Hg), estamos significando medir un volumen conteniendo 1.2×10^{15} moléculas por 22,4 litros ($22,400 \text{ cm}^3$) o 9.6 pies³. Sin embargo la medición no imitará exactamente las condiciones a 500.000' porque las temperaturas son diferentes.

Los medidores McLeod y de diafragma son generalmente clasificados, conjuntamente con el medidor Bourdon, como medidores de presión hidrostática. Medidores de conductividad térmico son los medidores Pirani y termocuplas. Los medidores de ionización (donde la lectura del vacío depende de la medición de la corriente de iones producida en un gas rarificado) incluyen los medidores de ionización y descarga.

Un manómetro que es fácil de construir pero que tiene inconvenientes es el de Torricelli. Los inconvenientes más serios son que su ámbito de medida va desde 1 mm hasta 760 mm o poco más y que la regla medidora tiene que estar siempre enrasada en el nivel de mercurio de la batea y por consiguiente hay que desplazarla cada vez que se hace una medida.

Manómetro de rama cerrada: se utiliza cuando hay ya un cierto grado de vacío. Un diagrama esquemático se muestra en la Fig. 65 y su funcionamiento es el siguiente: para medir bajas presiones se conecta el sistema y cuando éste entre en escala se mide la diferencia de altura entre los meniscos P. Debe cuidarse de que el tubo cerrado no tenga aire.

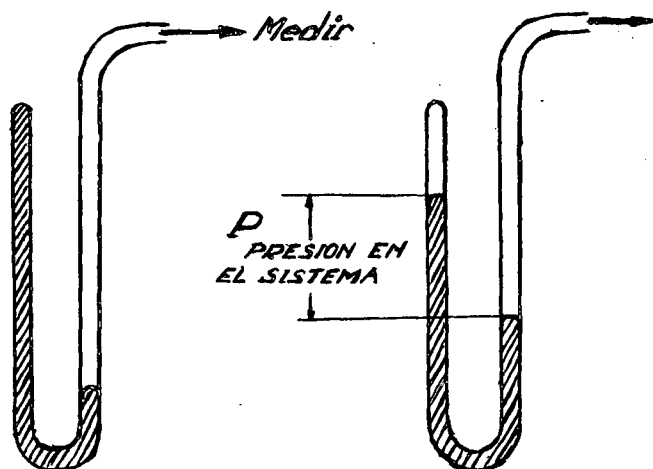


Fig. 65

Manómetro de McLeod: es un manómetro de mercurio, el cual es bastante exacto en el rango de 10 mm a 1×10^{-6} como para ser considerado como un standard primario de laboratorio para controlar la calibración de otros tipos de instrumentos de medición de vacío. En los medidores típicos un volumen conocido (V_1) de gas rarificado a presión P_1 es comprimido dentro de un volumen conocido (V_2) a una presión P_2 , lo cual es una cantidad suficiente como para ser medida hidrostáticamente. Ver Fig. 66.

Utilizando la Ley de Boyle: $P_1 V_1 = P_2 V_2$, a una temperatura constante, es entonces posible calcular P_1 , la presión en el sistema de vacío. El medidor standard está provisto de una escala que indica directamente P_1 .

El volumen V_1 es el de la esfera más el capilar mientras que el volumen V_2 es el del capilar. La compresión del gas residual se hace levantando el recipiente 1 que contiene el Hg hasta igualar los dos niveles 1 y 2. Para que el capilar termine plano en la parte superior se le introduce una varilla de vidrio cortada plana antes de sellarlo y luego, sobre ello, se suelda.

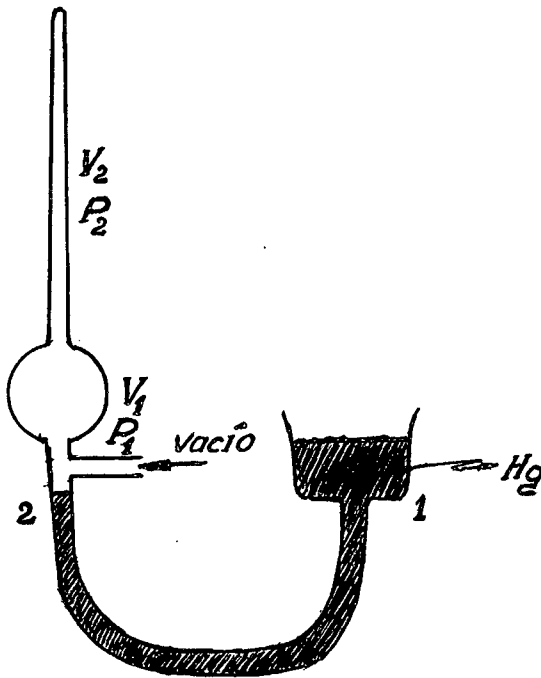


Fig. 66

Medidor de Pirani: depende para su operación del hecho que la conductividad térmica de un gas a baja presión decrece linealmente con la presión.

La sensibilidad de los actuales medidores Pirani limita su operación a baja presión a 1 micron (1×10^{-3} mm Hg). Calibrando el tubo Pirani a presiones específicas

de 2000 micrones y 2 micrones puede resultar en una exactitud de lecturas a las presiones de calibración que depende solamente del movimiento del instrumento ($\pm 2\%$ de la escala total) y del particular espaciado de la escala. Sin embargo, las presiones leídas durante la operación podrán resultar de una exactitud que puede variar en $\pm 10\%$.

El método es pues, medir la velocidad de disipación de un alambre de tungsteno. El alambre se calienta y su temperatura depende de la disipación del alambre y éste, a su vez, de la presión del aire que lo rodea. La técnica es hacerlo con una lamparita común, se le suelda un tubo de vidrio que se conecta al sistema de vacío a medir. Se trata de tener una lamparita de poca potencia para conseguir de esa manera una resistencia alta y obtener mayor sensibilidad. Se utilizan las de 10 a 15 W.

La resistencia del filamento se mide con un montaje tipo puente de Wheastone y para tener un sistema compensado en temperatura en otra de las ramas del puente se coloca otra lamparita sin ninguna modificación. El ámbito de mediciones es de 10^{-1} o 10^{-4} mm de Hg. La temperatura del filamento se lleva a un valor tal que no radia sino que el enfriamiento es por conducción y convección.

Termotrón: el elemento medidor termocupla consiste en una cinta o alambre que es calentado por una corriente continua o alternada. Una termocupla hecha de Cupron y Chromel es conectada al punto medio del calentador por soldadura de punto. La conexión es encapsulada en vidrio para asegurar la conductividad térmica. Las conexiones de la termocupla y el calentador se insertan dentro de la base de un tubo de vacío octal standard. La parte superior del tubo es dejada abierta para ser conectada dentro del sistema de vacío a través de una conexión standard 1/8.

En operación, una corriente constante del orden de 15-20 miliamperes es pasada a través de alambre calentador, y la fuerza electromotriz térmica desarrollada a lo largo de los alambres de la termocupla es del orden de los 10-20 milivolts. Algunas válvulas de termocuplas requieren una corriente de hasta 250 ma. No todos los abastecedores de corriente de los medidores de termocupla tienen una capacidad de corriente de 250 ma y, por lo tanto los tubos de termocuplas de diferentes fabricaciones pueden no ser intercambiables.

La temperatura alcanzada por la termocupla depende de la conductividad del gas que rodea la conexión cuando conduce el calor a la cobertura del tubo. Cuanto más baja sea la presión a medir, tanto más alto es el potencial generado. La lectura en la escala es hecha en unidades presión. El rango más común de 1 mm a 1 micrón Hg. Su ámbito de medida es igual al Pirani.

5.6 Manómetros para Alto Vacío

Medidor por ionización: llamado a menudo medidor de filamento caliente, consta de un tubo sensible que contiene un filamento, rejilla y colector de iones. Su principio de operación depende de la energía cinética adquirida por el electrón al ser atraído hacia la

rejilla y al pasar a través de ella. Como los electrones chocan con las moléculas de gas del sistema de vacío, producen iones positivos. Los iones positivos son luego atraídos a la chapa colectora cargada negativamente donde forman una corriente de iones.

Este medidor es en realidad una válvula electrónica trífodo, incluso pueden fabricarse con válvulas electrónicas viejas o en desuso. Puede medirse fácilmente hasta 10^{-9} mm de Hg y, con preparación especial, hasta 10^{-11} mm de Hg.

En un voltaje de aceleración constante (en presencia de exceso de voltaje de ionización del gas que está siendo medido) y a una emisión de corriente constante, el número de iones positivos formado es proporcional a la presión, si ésta está por debajo de 1×10^{-3} mm de Hg. La relación lineal de la corriente de iones y la presión es limitada por sobre 1×10^{-3} mm de Hg porque el insignificante camino libre es tan corto que una molécula ionizada puede recuperar un electrón libre para transformarse nuevamente en molécula, en este caso no iría hacia el colector. Las lecturas (en presión) son indicadas en un microamperímetro.

Cuando el vacío es muy elevado las corrientes son del orden del 10^{-9} a 10^{-12} A y comienza a ser difícil una buena medición de las mismas. A la válvula se la construye especialmente con los electrodos bien alejados. La placa colectora es en realidad un alambre porque si fuera una chapa grande podría haber electrones secundarios que podrían producir una corriente de 10^{-8} a 10^{-9} A y falsear la medición.

Manómetro de descarga : han sido a menudo llamados medidores de cátodo frío porque el principio implicado utiliza la medición de una corriente de iones producido por una descarga de alto voltaje. El principio de este medidor fue primeramente enunciado por F.M. Penning en 1937 .

Los electrones que emanan del cátodo frío son obligados a moverse en espiral hacia el ánodo a través de un campo magnético. La acción espiral incrementa en gran medida el camino de pasaje y así la oportunidad de chocar con moléculas de gas presentes desde la cámara de vacío. Esto, en cambio, proporciona una gran sensibilidad al medidor de descarga en comparación con el medidor de ionización de filamento caliente.

Manómetro de lámina vibrante : dentro de una ampolla con conexión al sistema de vacío se tiene una fibra de cuarzo capaz de vibrar fácilmente, tal como se muestra en la Fig. 67. La lámina magnética golpea la fibra la cual vibra y la amortiguación de esta vibración depende de la presión dentro de la ampolla .

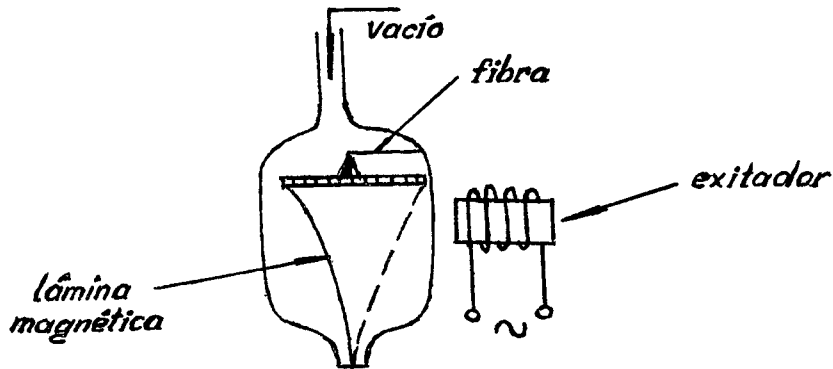


Fig. 67

Manómetro de Knudsen: el principio de funcionamiento es el mismo del radiómetro. Dentro de una ampolla se instala un molinillo con una suspensión de los extremos de su eje de muy buena calidad. Se muestra esquemáticamente en la Fig. 68.

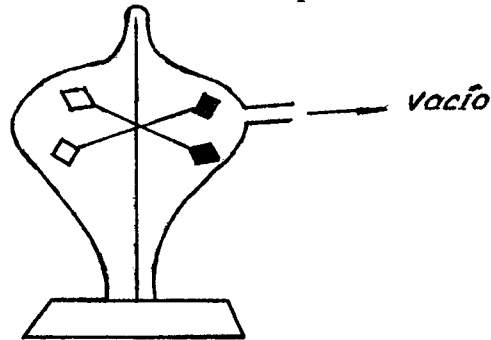


Fig. 68

Las plaquitas del molinillo están ennegrecidas en una de sus caras. Cuando se le acerca una fuente que radia energía, las plaquitas del lado ennegrecido calientan el aire que las rodea y la agitación térmica hace que el molinillo comience a rotar. La velocidad que puede alcanzar el molinillo depende del aire residual dentro de la ampolla.

En el manómetro de Knudsen se mide por torsión el desplazamiento de dos placas ennegrecidas enfrentadas a dos placas calientes, este desplazamiento depende de la presión del gas del sistema. Se lo suele medir fijando un espejo a las placas móviles.

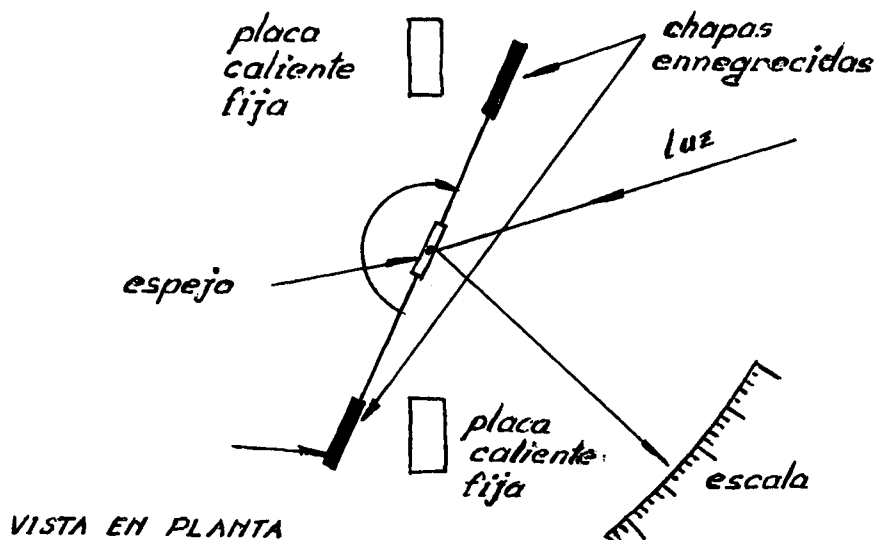


Fig. 69

5.7 Detección de fugas en sistemas de vacío o de presión

Cuando se tiene un sistema con una presión algo superior a la atmosférica, un método muy sencillo y rápido para comprobar si hay pérdidas grandes en las juntas, es pasar con un pincel agua jabonosa. En los lugares donde la pérdida sea notoria se producirán burbujas en el jabón.

Detector de Halógenos: aprovecha la propiedad del platino de inhibirse de emitir electrones en presencia de halógenos. El sistema consiste en una ampolla de vidrio con un tubo de entrada de aire, en su interior hay un filamento de platino y una malla metálica que lo rodea y que constituye el ánodo de este diodo. El filamento se calienta a 1200°C y al ánodo se le aplican unos 1000 V y se mide la corriente que circula. En presencia de halógenos la corriente debe disminuir notablemente.

Para revisar un sistema estanco se le introduce algún compuesto halogenado en forma gaseosa y se eleva su presión 0,1 atmósfera sobre la presión ambiente. Al Se hace entrar el aire al detector con una turbinita y se pasa por sobre las juntas de manera de detectar todas las pérdidas. Se pueden detectar pérdidas de hasta 10^{-3} .

Bobina de Tesla: la base de este dispositivo es una bobina que produce alta tensión y alta frecuencia. El electrodo de prueba termina en punta. Esta bobina en funcionamiento produce descarga en gas y la coloración de dicha descarga depende del gas y de la presión del mismo.

Para hacer la prueba se pasa un compuesto orgánico, p.ej. acetona, por las juntas sospechosas mientras el sistema está haciendo vacío. Cerca de la salida debe haber un tubo transparente (de vidrio) donde se aplica, desde afuera, la bobina de

Tesla; si en el sistema hubiera pérdidas, el vapor de acetona entra al mismo y al ser bombeado hacia la salida pasa por el tubo de vidrio donde se produce la descarga en gas debido a la Tesla y ésta cambia notablemente de color a causa de la acetona.

Espectrógrafo de masas: este aparato es lo más eficaz y preciso para determinar pérdidas cuando se trata de vacío de 10^{-6} mm de Hg o más. Consta generalmente, de un sistema de vacío e intercalado en la toma de aire un espectrógrafo ajustado como para que detecte un elemento determinado y se ha elegido para ello el helio, por las razones siguientes:

- a) es muy difusible
- b) en masa está lejos de cualquier otro gas que se puede usar

El sistema de vacío del detector se conecta al sistema a medir, por la parte de afuera del recipiente estanco se pasa un chorro de helio. Pocas moléculas que lleguen a penetrar al sistema serán acusadas por el detector. Los más modernos llegan a detectar pérdidas en 10^{-10} mm de Hg.

CAPITULO 6

METODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

El ensayo no destructivo tiene por objeto conocer el estado de una pieza mientras se está construyendo o una vez terminada. El conocimiento de dicho estado puede ser tanto estructural como dimensional. Esta técnica de ensayos no destructivos se utiliza en todas las ramas de la tecnología en las cuales se elaboran materias primas.

El presente capítulo tiene una orientación netamente metalúrgica, por lo cual se darán los métodos más utilizados en esta tecnología.

6.1 Rayos X y Gammagraffa

A partir de 1895, en que Wilhelm Conrad Roentgen observó por primera vez la producción de una radiación electromagnética que él llamó Rayos "X", se abrió para la ciencia y la tecnología una nueva posibilidad.

A partir de ese momento se comenzó a perfeccionar los equipos que producían rayos X y comenzó a utilizárselos en medicina y también en la industria, para obtener imágenes por transparencia de piezas opacas a la luz visible.

Actualmente, la radiografía de piezas, sobre todo las metálicas, es el procedimiento de ensayos no destructivos más utilizado. Los equipos de rayos X más modernos son capaces de atravesar de 20 a 30 cm de acero con un potencial de ánodo de 1000 KV y una corriente de pocos mA. Existen equipos de rayos X portátiles, pero esta ventaja redundante en desmedro de su capacidad de atravesar grandes espesores.

La técnica de gammagraffa es exactamente igual a las técnicas de Rayos X, con la excepción de que el elemento producto de la radiación -en este caso γ - es un isótopo radioactivo.

En la técnica de la radiografía con radiaciones electromagnéticas se pueden apreciar las causas que motivan cambios de densidad en un material. De esta manera se pueden observar grietas, rajaduras, sopladuras, gases ocluidos y, en piezas fundidas, segregaciones y/o rechupes internos. Esta técnica de las radiografías resulta a veces dificultosa de aplicar cuando la pieza a observar tiene determinadas geometrías.

Las fuentes de radiación γ tienen la ventaja de ser casi puntuales y permiten efectuar estudios en zonas pequeñas o desde el interior de una pieza. Pero, por ser una fuente de radiación muy intensa es preciso observar rigurosas normas de seguridad respecto al manejo de la fuente radioactiva. El transporte y almacenamiento de dicha fuente debe hacerse dentro de un blindaje muy pesado.

La técnica de radiografías es muy utilizada en el caso de inspección de soldaduras pues permite ver la profundidad de soldadura, porosidades, agrietamientos, etc.

6.2 Ensayos magnéticos

Este título genérico comprende varios tipos de ensayos que involucran fenómenos magnéticos. En este punto nos ocuparemos del ensayo magnético con partículas ferromagnéticas, que se conoce comunmente con el nombre de "Magnaflux" y que es una marca registrada.

El principio de funcionamiento de este método es justamente las leyes del magnetismo y más específicamente, las leyes que rigen un circuito magnético.

De los estudios de magnetismo se sabe que:

$$\begin{aligned} \vec{\phi} &= \vec{B} \cdot S & \text{por otra parte} & \vec{B} = \vec{H} \mu \\ \vec{\phi} &= \vec{H} \cdot \mu \cdot S & \text{pero} & \vec{H} = \frac{4\pi \text{ Ni}}{l} \end{aligned}$$

$$\phi = \frac{4\pi \text{ Ni}}{l} \mu S \quad \text{lo cual puede escribirse como sigue:}$$

$$\boxed{\phi = \frac{4\pi \text{ Ni}}{\frac{l}{S} \cdot \frac{1}{\mu}}}$$

El numerador de esta fórmula es la Fuerza Magneto Motriz del circuito que a menos de la constante 4π será Ni y estará dado en amperes-vuelta.

El denominador contiene las dimensiones físicas del circuito magnético y la permeabilidad del medio μ , por lo que todo el denominador puede ser asemejado a la resistencia del circuito magnético total, la que se llama Reluctancia. Es así que esta fórmula puede asemejarse a la ley de Ohm en el caso de circuitos magnéticos y cuya expresión simplificada es:

$$\phi = \frac{F M M}{R} \quad \text{flujo} = \frac{\text{Fuerza Magneto Motriz}}{\text{Reluctancia}}$$

Si suponemos ahora que se tiene un circuito magnético en el cual hay un entrehierro, p.ej. una separación de aire, como el μ del aire es 1000 veces menor que el del hierro, la reluctancia en ese lugar será unas 1000 veces mayor que en el resto del circuito.

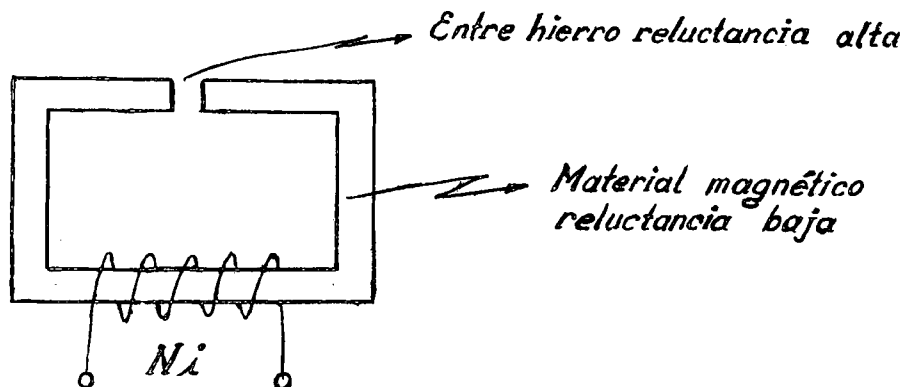


Fig. 70

Ello equivale a suponer que en el entrehierro Fig. 70 está aplicada toda la FMM. Si se espolvorean sobre el entrehierro partículas magnéticas, éstas tenderán a orientarse de manera tal de disminuir la reluctancia del circuito y se agruparán todas en el entrehierro y en sus vecindades muy próximas.

Veamos ahora como se utiliza todo esto para un ensayo no destructivo. Supongamos que se tiene una pieza en la cual por su fabricación o cualquier otro motivo, se sospeche que haya fisuras (en primer término) que afloren a la superficie. El esquema general del ensayo puede verse en la Fig. 71.

Se coloca sobre la superficie de la pieza agrietada un excitador magnético, el cual establece un flujo Φ representado por las líneas punteadas. En el lugar de la grieta, según puede verse en el dibujo ampliado, el campo Φ se distorsionará debido a que aumenta notablemente la reluctancia. Una vez aplicado el campo magnético se espolvorea el material ferromagnético en forma de finas partículas. Es evidente que ellas se agruparán siguiendo las líneas de flujo magnético que afloran a la superficie. De esta manera se hace visible la grieta que a simple vista no podía distinguirse.

Otra forma de realizar este ensayo es con partículas en suspensión en un solvente orgánico. Un método más moderno consiste en que dichas partículas están recubiertas de un polvo fosforescente al ultravioleta, motivo por el cual se utiliza una batea dentro de una carpa relativamente oscura y se ilumina con dicha luz.

Este método tiene la gran ventaja que permite ver grietas o fisuras aunque éstas no afloren a la superficie, con tal de que su profundidad no sea mayor de 5 mm desde la superficie de la pieza.

Este ensayo puede efectuarse solamente en materiales cuyo μ relativo sea muy grande respecto al aire, es decir, materiales ferromagnéticos. Las corrientes que generalmente se utilizan para energizar el excitador son superiores a los 500 A.

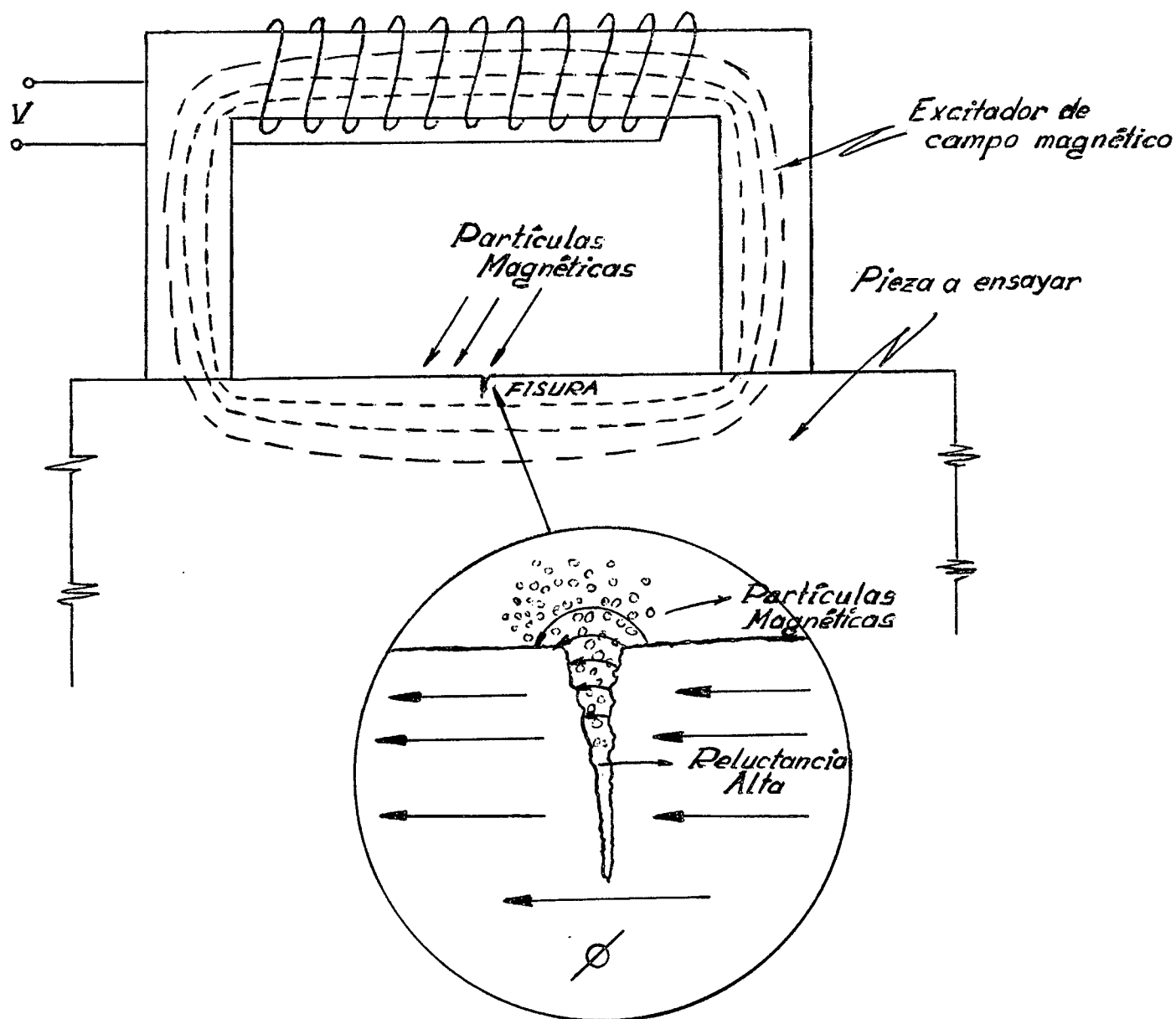


Fig. 71

6.3 Tintas penetrantes

" El método de los líquidos penetrantes usados para la inspección de los metales es hoy, sin duda, uno de los más importantes procedimientos de ensayo estando actualmente en el tercer lugar en lo que respecta al volumen de aplicación en la industria, siendo el primero la radiografía y el segundo el método de partículas magnéticas. "

" Es un método especial para detectar grietas o hendiduras que afloran a la

superficie y deriva del perfeccionamiento del antiguo procedimiento de aceite y blanqueo."

" El método de aceite y blanqueo consistía en lo siguiente: primero se procedía a una buena limpieza de la pieza o material a ensayar, generalmente con agua hirviendo o una solución de soda cáustica, luego se efectuaba un secado a fondo. El siguiente paso consistía en sumergir la pieza en un recipiente conteniendo una mezcla de aceite y kerosene, dejándola horas o días en inmersión, luego de retirada era lavada con kerosene y se la dejaba secar, siendo después pintada con una mezcla de tiza en polvo y alcohol. Después de un corto tiempo el alcohol se evaporaba y la pieza quedaba con una capa blanca de tiza que debía cubrir su superficie. Esta película absorbía a la mezcla de aceite y kerosene depositado y retenido en las discontinuidades marcando el lugar donde éstas se encontraban. Este procedimiento carecía de suficiente sensibilidad para detectar grietas o fisuras finas. "

" En 1941, Roberto y José Switzer desarrollaron un método con líquidos penetrantes muy mejorado y una de sus grandes contribuciones fue la introducción de tintas fluorescentes a los penetrantes. "

" Método moderno de tintas penetrantes: el método consiste en lo siguiente: supongamos Fig. 72 una fisura de pequeño espesor, muy difícil de ser detectada por examen visual. "

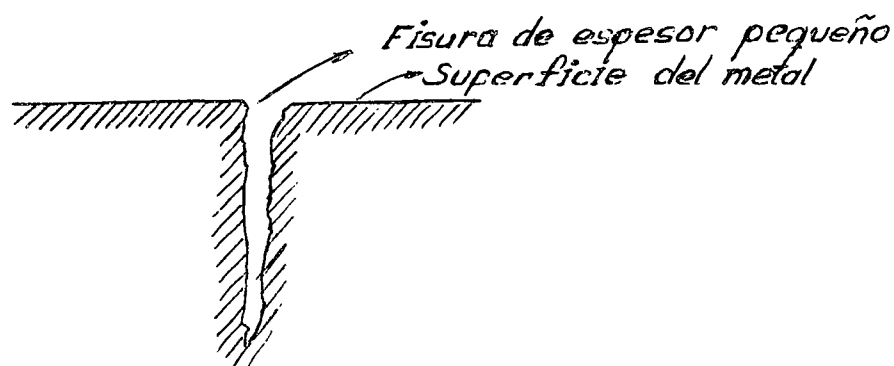


Fig. 72 (a)

" Sobre el metal se aplica el líquido penetrante de forma tal que cubra la superficie, La Fig. 72 (b) muestra el líquido sobre la superficie del metal y en el interior de la fisura. "

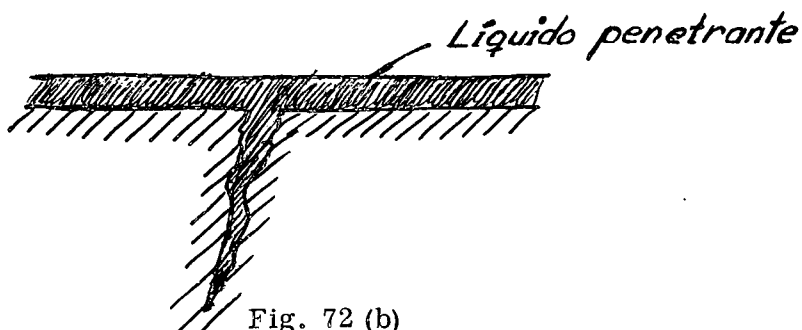


Fig. 72 (b)

" El líquido debe permanecer un cierto tiempo sobre el metal para que, por capilaridad, alcance a penetrar y llenar la cantidad de la fisura. Acto seguido se debe remover el "penetrante" que está sobre la superficie del metal. La Fig. 72 (c) muestra la superficie del mismo limpia del exceso de penetrante "

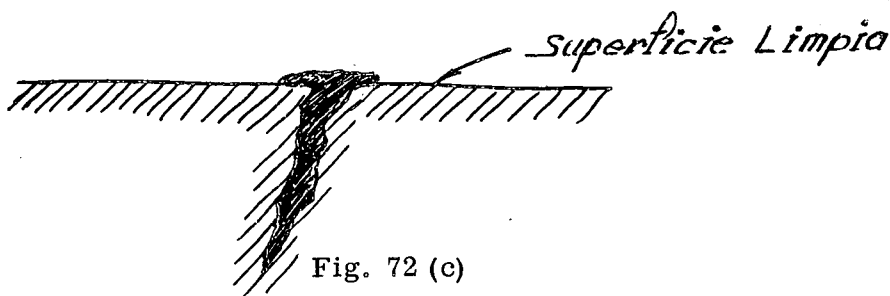


Fig. 72 (c)

" En general las "fuerzas capilares" son grandes y retienen el líquido en el interior de la fisura. Con la superficie limpia del exceso de penetrante se deposita sobre la misma una fina capa de talco en polvo, Fig. 72 (d), el cual absorbe parte del líquido penetrante que queda retenido dentro de la fisura denunciando así la presencia de la misma. "

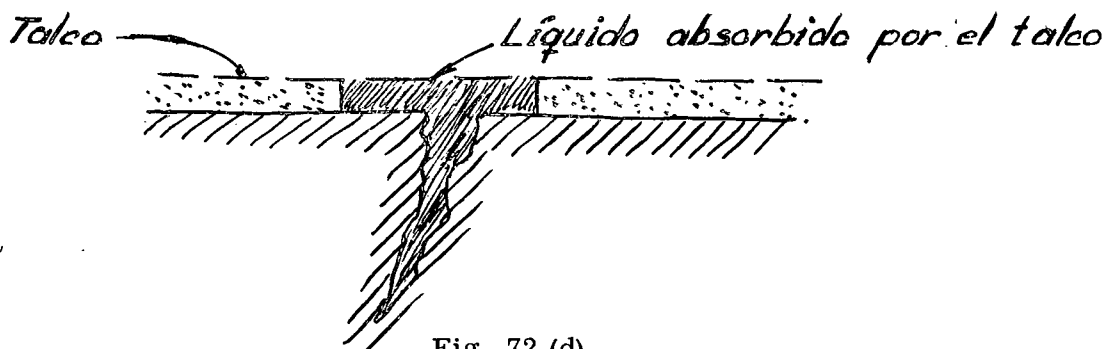


Fig. 72 (d)

" Se utilizan colorantes en el líquido para hacerlo más visible. Se debe destacar que el método de los líquidos penetrantes sólo permiten detectar discontinuidades superficiales de los metales (que no sean porosos). Es importante saber que la mancha formada

en la película de talco es mucho más ancha que la discontinuidad que la forma. Por las medidas y forma de las manchas se puede hacer una interpretación."

" Hasta ahora se ha comentado el método de tintas penetrantes, pero para un método más riguroso y técnico hay que especificar más detalladamente las etapas del ensayo: "

- " I) limpieza de la superficie de la pieza
- II) aplicación del penetrante (durante un tiempo t)
- III) remoción del exceso de penetrante
- VI) aplicación del revelador
- V) inspección e interpretación "

I) " Es evidente que esta operación es fundamental para el éxito del método. La superficie debe estar sin películas protectoras, óxidos, arena, grasa, aceite, etc. Hay una especificación ASTM (E-165-63) que se refiere a la técnica operatoria del método. Esta limpieza puede hacerse con detergentes, solventes, chorro de vapor, limpieza ultrasónica, etc. "

II) " Hay diversos procedimientos para la aplicación del penetrante: "

- " a) por inmersión de la pieza
- b) por chorro de pistola
- c) por pincel "

" El tiempo necesario para que el líquido penetre en las discontinuidades va desde algunos minutos hasta horas. "

III) " La remoción del exceso de penetrante de la superficie del metal, es una operación delicada y si se realiza incorrectamente el ensayo fracasará. No debe apoyarse estopa ni paño sobre la grieta pues absorberá la tinta que se introdujo en la misma. Si parte de la tinta queda retenida en la superficie de la pieza dará lugar a interpretaciones erróneas. Es importante destacar la terminación superficial de la pieza para tener buenos resultados. Este método de tintas penetrantes se ha usado en materiales ferrosos y no ferrosos, cerámicos, metal sinterizado, vidrio, plásticos y materiales sintéticos. "

6.4 Ensayos con Ultrasonido

El ensayo con Ultrasonido es otra técnica de ensayo no destructivo que permite ver grietas, falta de unión metálica en colaminación, defectos internos como sopladuras, grietas, etc.

La técnica para estos ensayos es algo más complicada que los que se describieron hasta ahora. Muchas veces la interpretación de los resultados es complicada y, sobre todo, el equipo para realizar estos ensayos es mucho más complicado que los que se vieron hasta ahora. Además de las complicaciones mecánicas, que a menudo son muy grandes,

el equipo tiene complicaciones mayores pues en su casi totalidad es electrónica bastante elaborada.

En esta técnica se denomina ultrasonido a las frecuencias de compresión y expansión mecánicas desde los 30 KHz hasta pasados los 10 MHz.

El principio de esta técnica de ensayo es introducir una vibración en el medio y luego detectar su eco o la vibración que atravesó todo el espécimen. La información obtenida dependerá de las velocidades de propagación de la onda en el medio y de las impedancias acústicas de los mismos.

Producción de la vibración: Para producir la vibración se utiliza el fenómeno piezoeléctrico. Los cristales de cuarzo y más recientemente algunas cerámicas sintéticas tienen la particularidad de sufrir cambios de forma y/o contracciones cuando se les aplica un potencial eléctrico, y éste es justamente el efecto piezoeléctrico.

Dependiendo de la forma, tamaño y manera de ser cortado un cristal de cuarzo, tiene una frecuencia de resonancia como todo otro sistema mecánico. De esta manera, si a un cristal de cuarzo se le aplica un pulso de tensión como el que se muestra en la Fig. 73, el cristal responderá con una oscilación mecánica tal como se muestra en la Fig. 74.

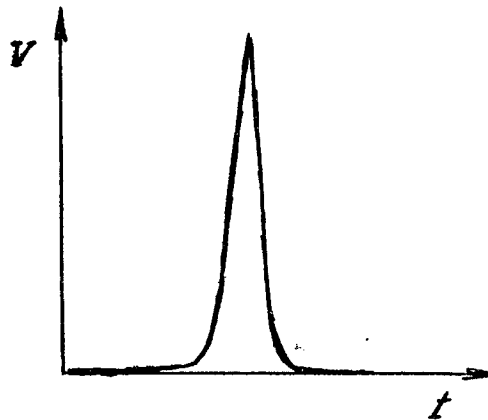


Fig. 73

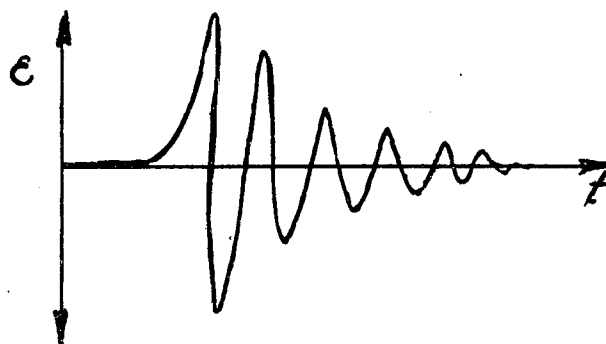


Fig. 74

La oscilación es de una frecuencia determinada, propia del cristal y se amortigua exponencialmente.

Los cristales que se utilizan en ultrasonido están tallados y montados de manera tal que su respuesta mecánica es como la que se muestra en la Fig. 75.

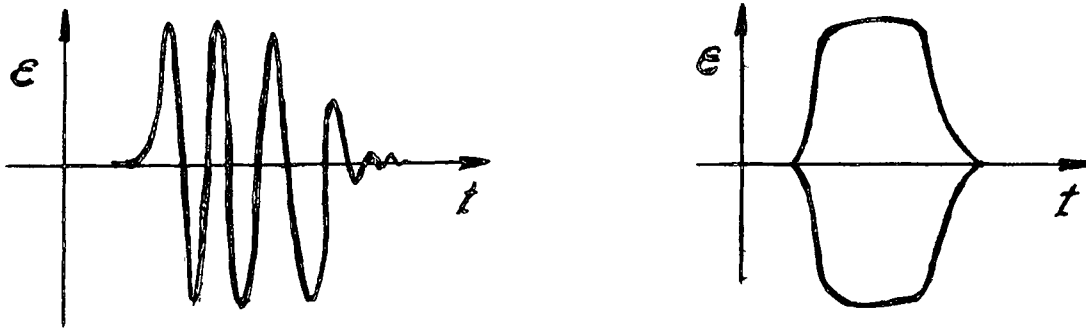


Fig. 75

Así mismo estos cristales tienen un comportamiento reversible, es decir, que si se le aplica una perturbación mecánica, el cristal responderá con una señal eléctrica proporcional a la perturbación.

Dispositivo de ensayo: Con lo que se sabe hasta ahora puede esbozarse un sistema simple para hacer inspección por ultrasonido. Se dispone de un sistema electrónico que proporciona pulsos de tensión eléctrica para excitar el cristal transductor a intervalos regulares.

Si el sistema es por eco, el mismo cristal emisor se comportará como receptor y estará electrónicamente acoplado al sistema receptor durante el tiempo que transcurre entre dos pulsos de transmisión.

Si el sistema es por "transmisión al través" ("through transmission"), el cristal emisor se encarga de transformar en vibraciones mecánicas los pulsos eléctricos que recibe. Otro cristal (receptor) se encuentra en las antípodas del espécimen y conectado al sistema receptor, se encarga de transformar las vibraciones mecánicas que recibe en una señal eléctrica.

Supongamos pues un sistema que inspecciona una falla interna con el sistema por eco. En la Fig. 76 se muestra la disposición física del sistema.

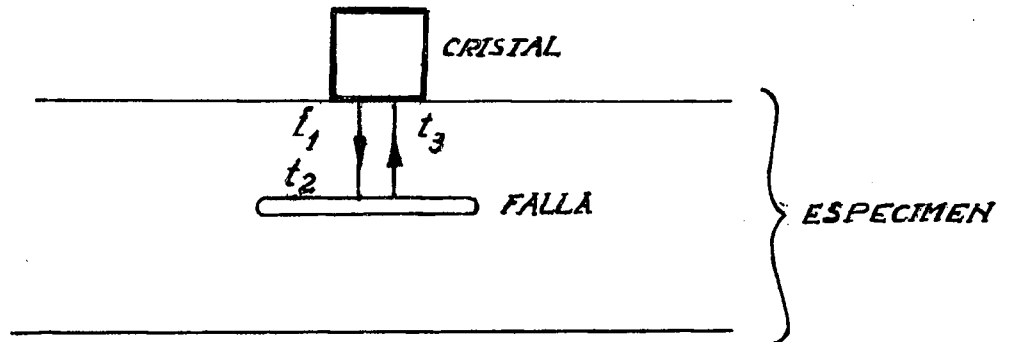


Fig. 76

En el tiempo t_1 el cristal recibe el pulso eléctrico y lo emite como vibración mecánica. En el instante t_2 la vibración encuentra la discontinuidad del medio y una porción de energía se refleja y llega nuevamente al cristal en el instante t_3 .

Si se grafica la amplitud de los pulsos en función del tiempo se tendrá un gráfico como en la Fig. 77

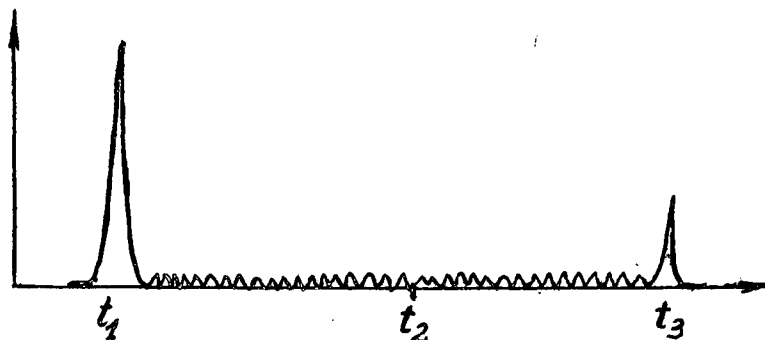


Fig. 77

El pulso en t_1 es el transmitido y el pulso en t_3 es el eco recibido. Entre t_1 y t_2 se ve que la línea no coincide con el eje de tiempos y ello es debido a ruido de fondo que existe tanto en el sistema mecánico como en el electrónico. Generalmente, esta representación se hace en la pantalla de un tubo de rayos catódicos.

Estos sistemas tienen patrones para calibración y para reajustes durante el uso.

6.5 Determinación de composición por ensayo termoelectrónico

Como se vió en el capítulo 2, la unión de dos metales diferentes, si se calienta da como consecuencia una tensión eléctrica siendo este el principio en el cual se basa este ensayo. Generalmente, se utiliza para determinar si una aleación tiene la

composición correcta. Para ello se fabrican alambres con la composición patrón.

Cuando una pieza o un lingote se funden en producción y se desea saber si éste es de la composición correcta, se suelda en un lugar un trozo de alambre de composición patrón. Se calienta la juntura y se mide con un potenciómetro la tensión que entrega. Si la composición del lingote es igual a la del alambre patrón dicha diferencia de potencial será nula. Si en cambio la composición del lingote es diferente a la patrón, la juntura desarrollará una tensión continua que indicará cuánto es la separación de la composición respecto a la patrón. Cuando el ensayo se hace sobre una probeta pequeña y para obtener un calentamiento puntual de la juntura a medir se aprovecha el calor generado por soldadura eléctrica de punto. La misma máquina efectúa la soldadura y mide acto seguido el potencial termoeléctrico generado. Este es un ensayo simple, rápido y que proporciona muy buena aproximación.

6.6 Ensayo de dureza

Este es otro ensayo no destructivo que da mucha información cuando se lo realiza con método y cuidado. El fundamento del método es aplicar una fuerza conocida mediante una superficie esférica, cónica, o piramidal sobre el espécimen y realizar una medida de la profundidad o diámetros de la impronta.

Uno de los más usados es el ensayo Brinnell cuyo fundamento es una bolilla de acero de 10 mm de diámetro con una carga de 3000 kg. El diámetro de la impronta se mide con un microscopio y así se puede saber la profundidad de la misma. Se puede efectuar este ensayo -y generalmente se hace- con bolillas de menor diámetro. Es común utilizar bolillas de $1/32'' = 1,5 \text{ mm}$. Generalmente se utilizan cargas entre 100 y 150 kg.

Este es un ensayo lento dado que hay que efectuar medidas ópticamente. Es un ensayo que debe realizarse con algunos cuidados mínimos y es asombrosamente repetitivo.

Se ha desarrollado el método de Rockwell en el cual se mide la profundidad de la impronta. Se utiliza para ello un cono de diamante de 60° , lo cual permite que se use el método en todos los aceros. El método de la bolilla o Brinnell está limitado cuando el acero a ensayar tiene una dureza comparable con el de la bolilla.

Cuando se hace el ensayo Rockwell hay que tener cuidado porque el diamante es muy frágil y un movimiento del espécimen o una sopladura puede causar la rotura del diamante. El cero de calibración del ensayo se hace con una carga de 10 kg. Esta carga es suficiente para que todo el sistema se acomode y ceda el espécimen.

Hay máquinas que utilizan cargas menores como por ejemplo 1 kg. Generalmente con estas cargas se utilizan para la impronta una pirámide de base cuadrada y se miden las dos diagonales de la impronta, también por medios ópticos y se promedian las medidas siendo éste el sistema usado en la máquina de Vickers. La máquina tiene un sistema que hace que la zona de la impronta se ubique justo debajo del objetivo del microscopio.

Esta es una máquina de laboratorio.

Microdurometría: En este caso se usan cargas del orden de gramos. La introducción de la pirámide es de pocos micrones. Se utilizan cargas desde 1 gramo hasta 100 gr. También se mide con un micrómetro ocular. Este sistema permite hacer durometría en una segregación o en un grano determinado. Posee un sistema de revólver para girar la muestra. A pesar de ello es difícil ubicar la impronta justo donde se desea. Una afamada fábrica de productos ópticos ha desarrollado un microdurómetro en el cual la punta de diamante está montada en el lente objetivo del microscopio dentro del cual se encuentra una balanza de torsión que mide la carga aplicada. El objetivo tiene el aspecto mostrado en la Fig. 78. Una vez ubicada la zona donde se desea medir dureza lo único que se debe hacer es bajar el objetivo. Mediante un sistema óptico se lee directamente el valor de dureza. Es un instrumento de gran precisión.

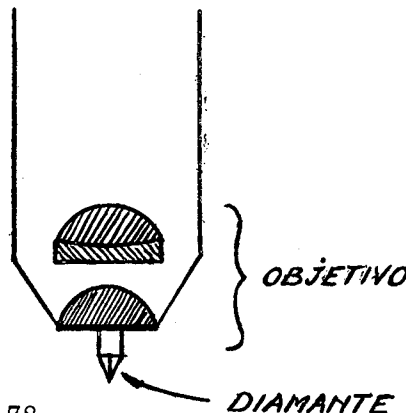


Fig. 78

6.7 Ensayo por corriente de Foucault

El principio en el que se basa este método de ensayo es el de la variación de inductancia de una bobina y la variación de posición y valor del vector impedancia de dicha bobina.

Se conoce que si se hace una bobina con alambre de Cu y cuyo núcleo sea aire, esta bobina tendrán una inductancia dada y, debido a que en su núcleo las pérdidas son despreciables, su vector impedancia tendrá características puramente reactivas.

Si se introduce un núcleo en dicha bobina, variará su inductancia y asimismo su vector impedancia girará en ángulo dado y variará su magnitud debido a las pérdidas que introdujo el núcleo y que se explicaron en el párrafo 4.8.

Si la barra que se encuentra dentro de la bobina y que debe ser susceptible de ser desplazada, es homogénea, tanto la inductancia como el vector impedancia se mantendrán constantes. Si la barra es inhomogénea, ya sea porque cambian sus

dimensiones, porque tienen sopladuras o porque cambió su estructura, variará la induc-tancia de la bobina y su vector impedancia variará en ángulo y magnitud. Si se dispone de patrones contra los cuales contrastar las mediciones, se pueden determinar las características del elemento a medir. Este método puede aplicarse también a caños. Se han explicado aquí los principios elementales de esta técnica puesto que una explica-ción detallada es sumamente complicada y llevaría posiblemente varios volúmenes.

Se agradece al alumno del Sexto Curso Panamericano Marcelo H. Bulfón su contribución con el artículo sobre tintas penetrantes del cual, el punto 3 del presente capítulo, es un extracto. -

CAPITULO 7

SEMICONDUCTORES

En este Capítulo se hará una breve descripción de dispositivos semiconductores, sus propiedades y algunos circuitos simples de aplicación.

Si se desea una descripción y elementos de estudio más exhaustivos sobre estos dispositivos deberá recurrirse a la bibliografía especializada que es sumamente abundante.

7.1. SEMICONDUCTORES N y P.

A diferencia de otros dispositivos electrónicos, que dependen para su funcionamiento del flujo de cargas eléctricas a través del vacío o de un gas, los dispositivos de semiconductores aprovechan la circulación de corriente en un sólido. En términos generales, todos los materiales se pueden clasificar en tres categorías principales: conductores, semiconductores y aisladores, de acuerdo con su capacidad para conducir una corriente eléctrica. Los materiales que se usan más comúnmente en los dispositivos de semiconductores son el germanio y el silicio. Un material relativamente nuevo, que combina las principales características favorables de ambos es el **arseniuro** de galio.

Los materiales semiconductores para construir dispositivos electrónicos contienen cantidades cuidadosamente controladas de ciertas impurezas que reducen sus resistividades a aproximadamente $2 \Omega / \text{cm}$ a temperatura ambiente.

IMPUREZAS

Los materiales semiconductores están formados como todos los sólidos por una estructura cristalina. Los electrones exteriores o de valencia de los átomos individuales están fuertemente ligados por ligaduras entre pares de electrones como se ve en la figura 79.

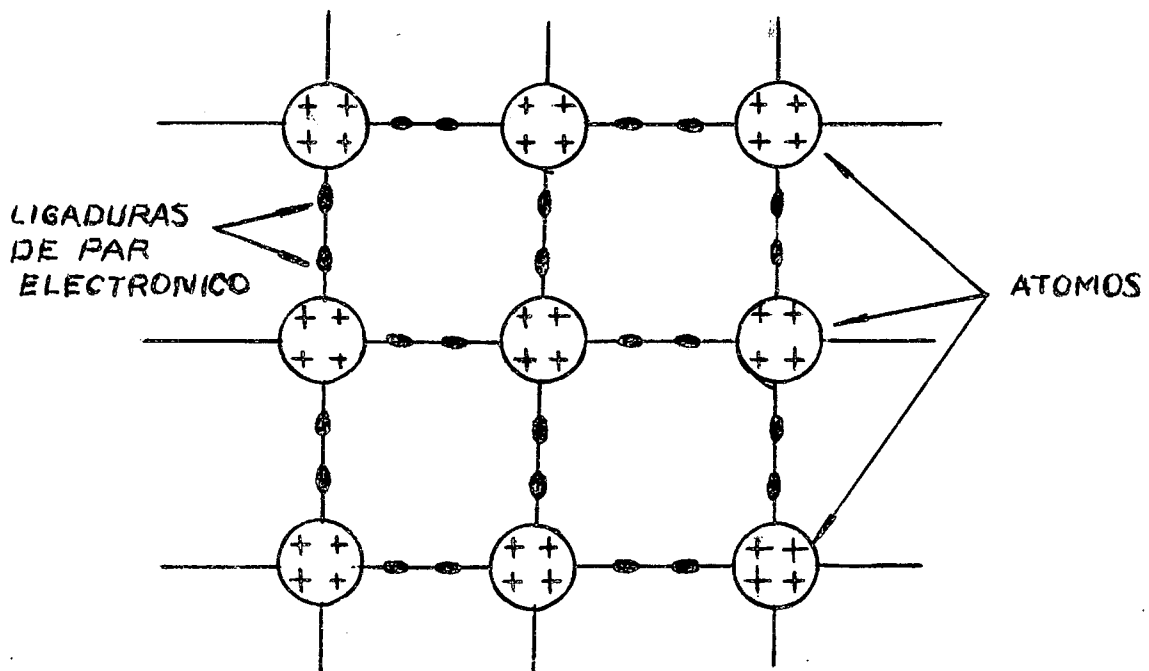


Figura 79.

Para separar las ligaduras entre pares de electrones y producir electrones libres que permitan la conducción eléctrica, sería necesario aplicar altas temperaturas o fuertes campos eléctricos.

La forma de alterar la estructura reticulada a efectos de liberar electrones, consiste en agregar pequeñas cantidades de otros elementos con estructura atómica diferente, mediante la adición de proporciones casi infinitesimales de estos elementos llamados "impurezas". La dosis de impurezas es del orden de 1 parte en 10^7 . Cuando el átomo de impureza tiene un electrón de valencia más que el del semiconductor, ese electrón adicional no formará una ligadura debido a que no existen electrones de valencia disponibles en sus adyacencias.

El electrón excedente queda entonces muy ligeramente retenido por el átomo, como se muestra en la figura 80.

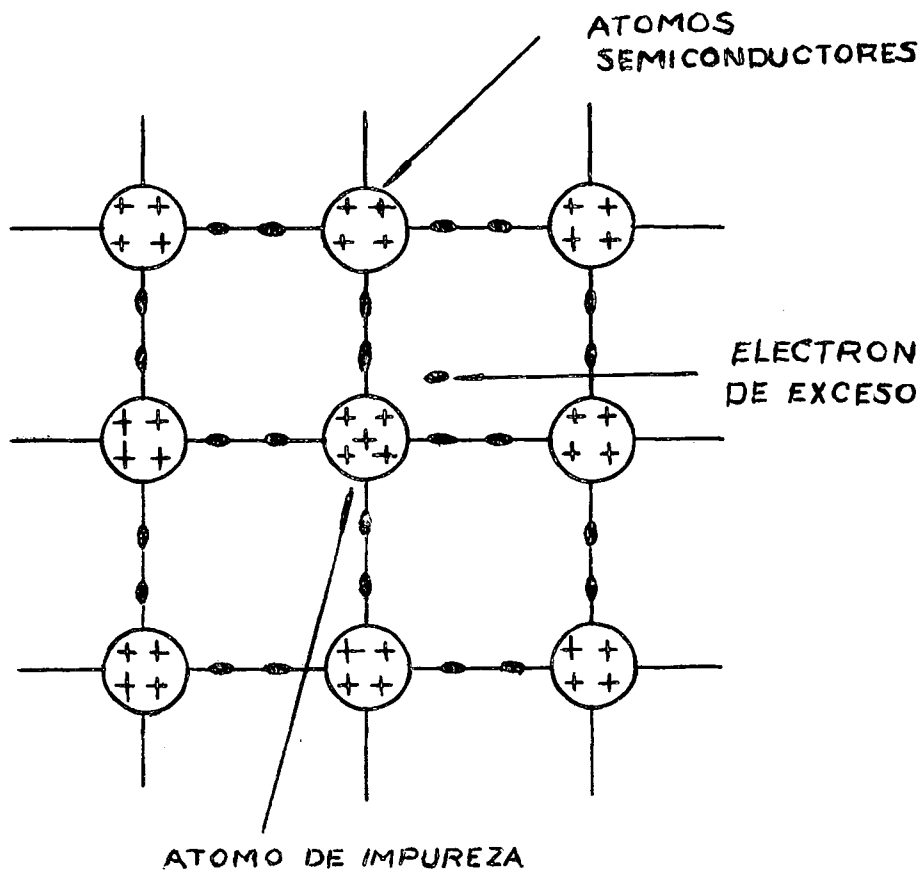


Figura 80

Basta en este caso una ligera excitación para desprenderlo. Como consecuencia de este átomo de impureza se hace más conductor el material semi-conductor. Cuando se introduce una impureza que deja en libertad un electrón, el material resultante recibe el nombre de "tipo N" en virtud de que los electrones libres tienen carga negativa.

Un efecto similar sucede cuando la impureza tiene un electrón de valencia menos que el semi-conductor. Si bien, todos los electrones de valencia del átomo de impureza forman ligaduras con los electrones de los átomos vecinos del semiconductor, uno de los vínculos de la estructura reticulada no puede completarse debido a que el átomo de impureza carece del electrón de valencia final. Como consecuencia aparece en el reticulado un vacío o "laguna" como se ilustra en la figura 81.

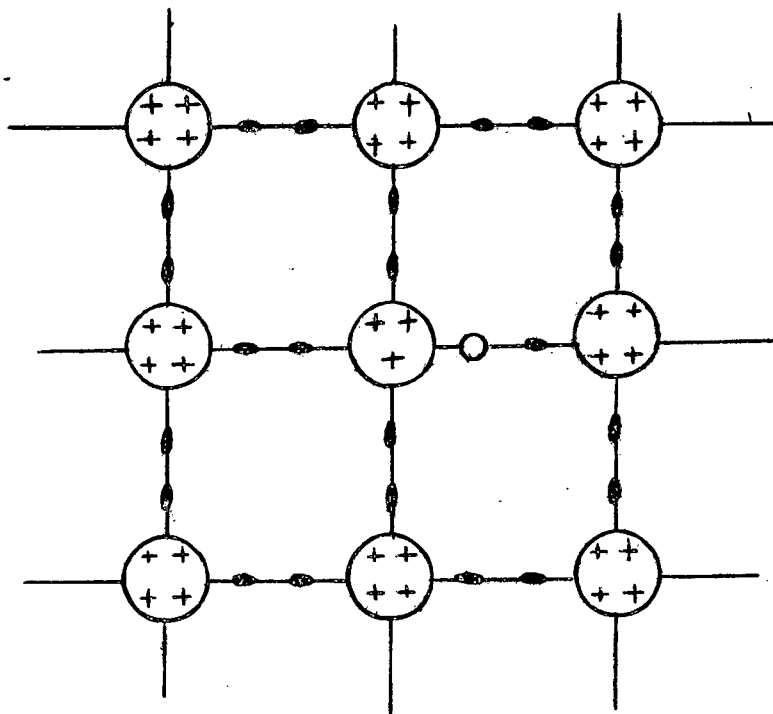


Figura 81

Es posible entonces, que un electrón de una ligadura adyacente pueda absorber suficiente energía como para romper su vínculo y moviéndose a través del reticulado, llenar la referida "laguna"; como en el caso de los electrones excedentes, la presencia de "lagunas" favorece el flujo de electrones en el material semiconductor. El material semiconductor que contiene estas "lagunas" se denomina tipo "P" y se forma con el agregado de Al, Galio o indio.

Se deja aclarado aquí, antes de comenzar a tratar los dispositivos semiconductores, que los mismos, si bien pueden soportar tensiones de varios cientos de volts y pueden manejar corrientes de muchas decenas de amperes, es necesario tener en cuenta que en ningún momento deben excederse las características de cada dispositivo puesto que de esa forma la vida útil del mismo puede ser tan corta como fracción de milisegundo. Son dispositivos sumamente delicados si se exceden sus especificaciones.

7.2. JUNTURA P-N DIODOS.

Cuando se juntan entre sí un material tipo N y otro tipo P como se muestra en la figura 82

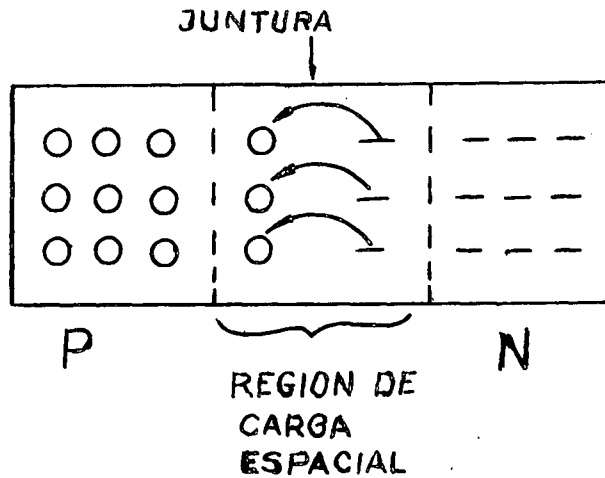


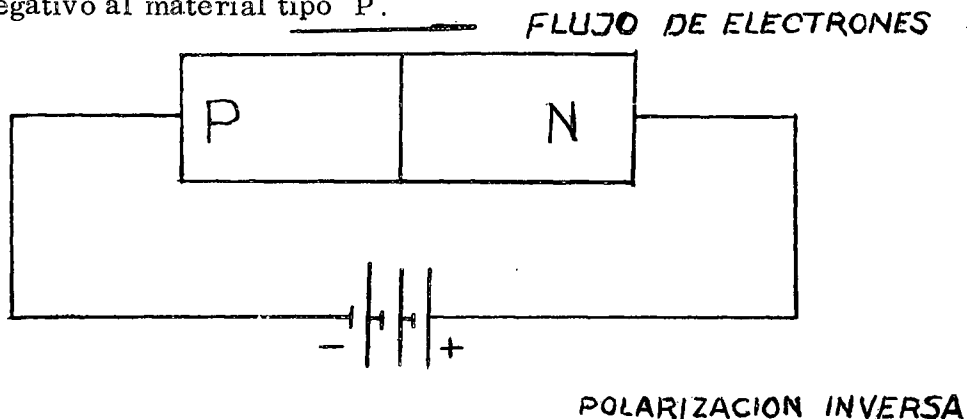
Figura 82.

se presenta un fenómeno singular y muy importante en la superficie común a ambos. En esta juntura tiene lugar una interacción entre ambos materiales. Cuando se forma la juntura P-N algunos de los elementos libres del material tipo N se difunden a través de la misma y llenan las lagunas de la estructura reticulada en el material tipo P. En la inmediata vecindad de la juntura se origina una región de carga espacial. El material tipo P adquiere en esta región una ligera carga negativa. Del mismo modo el material tipo N recibe en la región de la juntura una pequeña carga positiva. Es decir es como si en la juntura hubiera una batería con el positivo en el material N y el negativo en el material P.

POLARIZACION DE LA JUNTURA P-N

Cuando se conecta una batería externa a la juntura P-N la magnitud de la corriente queda determinada por la polaridad de la tensión aplicada y su efecto sobre la región de carga espacial.

En la figura 83 el terminal positivo de la batería se ha conectado al material tipo N y el negativo al material tipo P.



POLARIZACION INVERSA

Figura 83

En esta disposición, los electrones libres del material tipo N son atraídos hacia el terminal positivo de la batería, alejándose de la juntura. Al mismo tiempo, los electrones del terminal negativo de la batería penetran en el material tipo P y se difunden hacia la juntura, llenando las lagunas. Como consecuencia la región de carga espacial en la juntura se torna más ancha y el gradiente de potencial aumenta hasta aproximarse a la tensión de la batería. El flujo de corriente es entonces extremadamente pequeño. En estas condiciones se dice que la juntura está "polarizada inversamente".

Si con esta polarización se sigue aumentando la tensión de la batería llegará un momento en que se producirá un proceso de avalancha que hará que la corriente aumente súbitamente.

Este fenómeno se conoce como efecto "Zener" y la tensión inversa a la cual se produce se llama "tensión de Zener" del diodo.

Este efecto se utiliza en los llamados "Diodos Zener" para tener una tensión muy constante de referencia.

En la figura 84 el terminal positivo de la batería se conectó al material tipo P y el negativo al material tipo N.

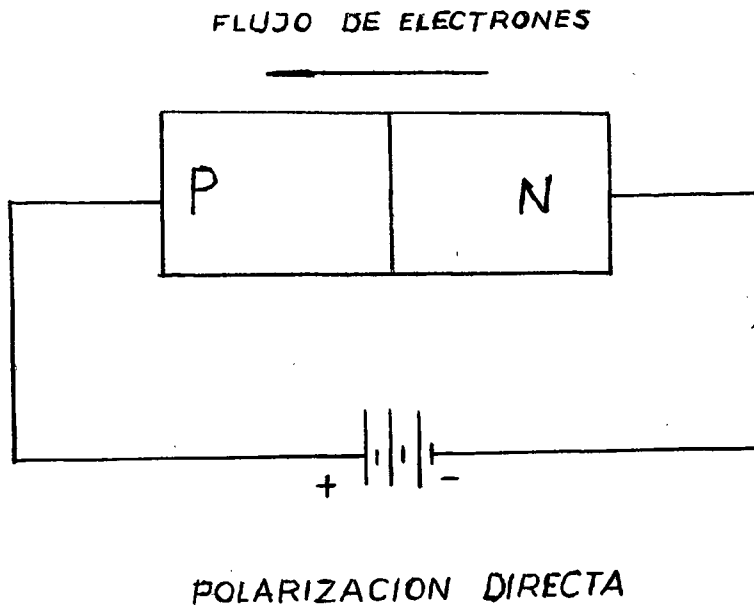


Figura 84

En estas circunstancias, los electrones del material tipo P próximos al terminal positivo rompen sus ligaduras y penetran a la batería originando nuevas lagunas. Simultáneamente, los electrones del terminal negativo de la batería penetran en el material N y se difunden hacia la juntura. De esta manera la región de carga espacial disminuye, los electrones excedentes del material tipo N pueden entonces penetrar la región de carga espacial, fluir a través de la juntura y moverse por vía de las lagunas del material tipo P dirigiéndose hacia el terminal positivo de la batería. En estas condiciones se dice que la juntura está "polarizada en forma directa".

En la figura 85 se muestra la característica tensión corriente para una juntura P-N tanto con polarización directa como inversa. Nótese los cambios de escala que se efectuaron en los ejes para hacer visibles las características. Si se realizara todo el gráfico con la misma escala, por ejemplo la corriente inversa sería casi invisible.

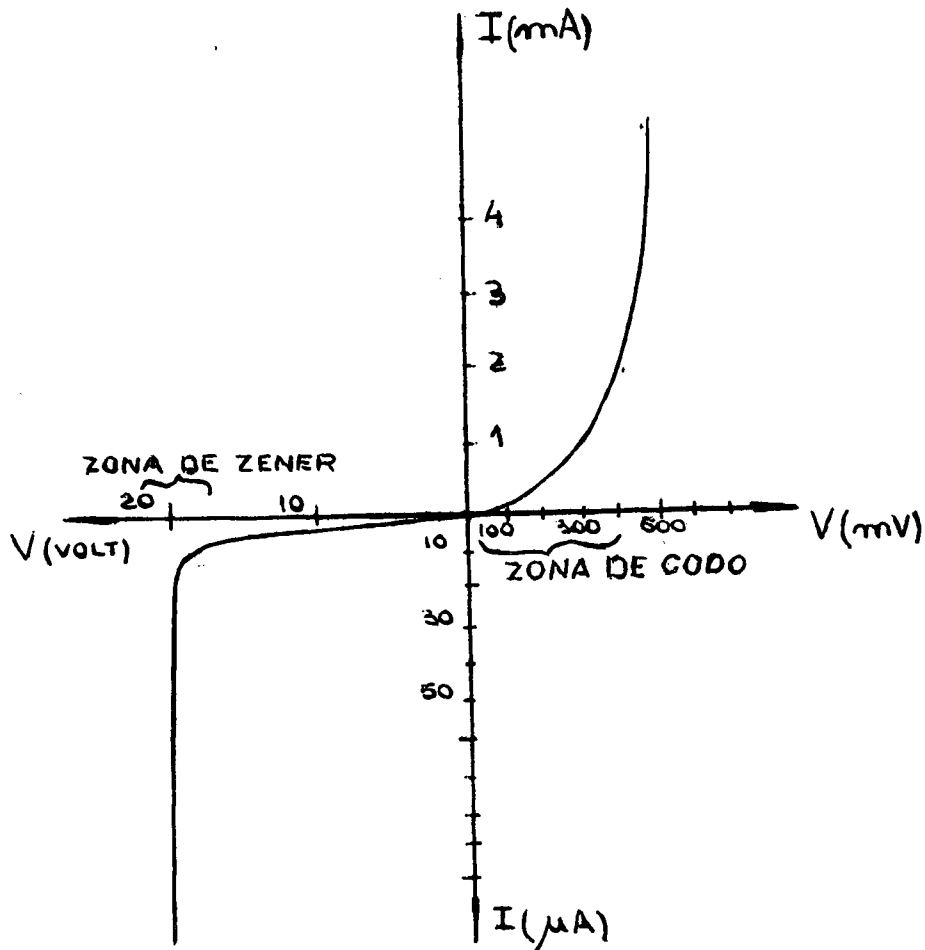


Figura 85

Se aclara que los valores que figuran sobre los ejes son indicativos del orden de magnitud y varían de uno a otro diodo. Se ve con esto que un diodo tiene por efecto en un circuito, que circule corriente en un solo sentido. Es decir que si suponemos una tensión alternada aplicada a un diodo, circulará una corriente continua pulsante.

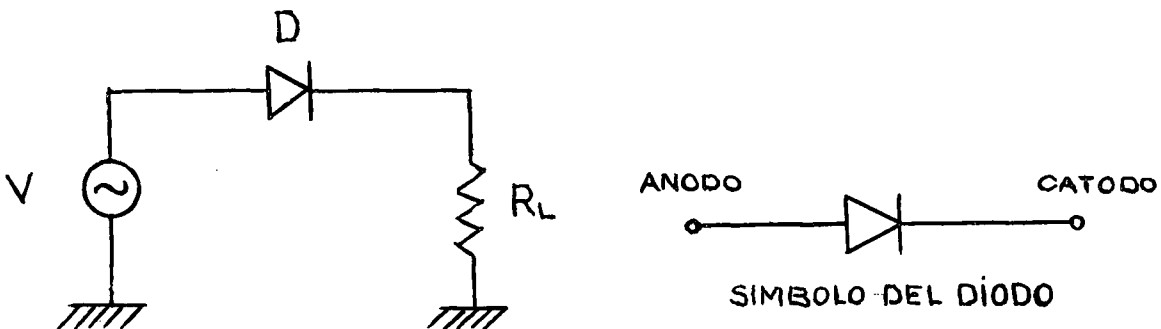


Figura 86

En el circuito de la figura 86 se muestra un circuito excitado por una fuente de tensión alterna (V), un diodo (D) y una resistencia de carga (R). Cuando el generador V tenga una polaridad tal que el ánodo del diodo sea positivo, circulará corriente por la resistencia de carga mientras que cuando el ánodo sea negativo no circulará corriente. Por lo tanto en el circuito de la figura 86 la corriente que circulará será como se muestra en la figura 87

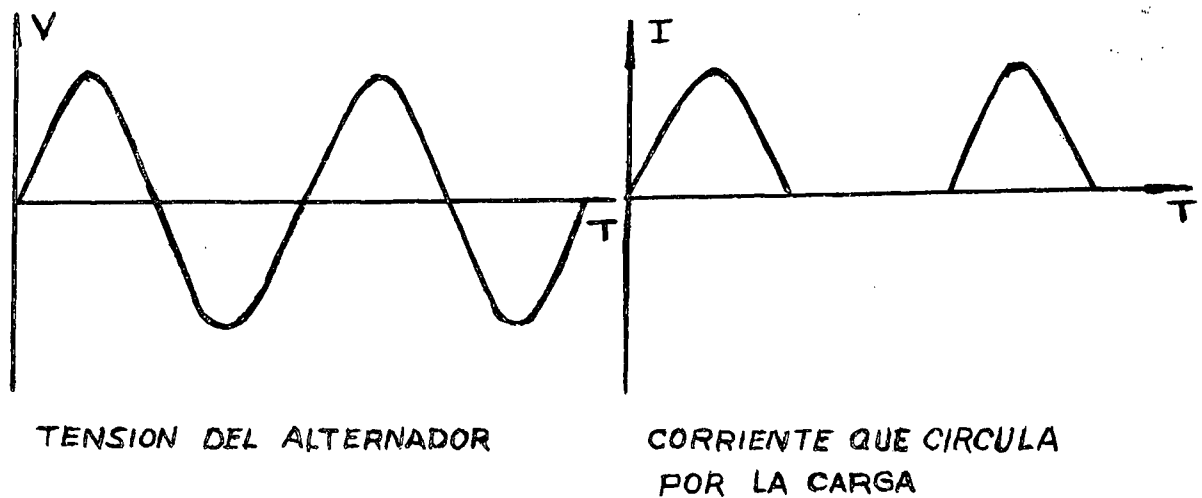


Figura 87

Es necesario aclarar que la tensión que tendrá el semiciclo negativo, y que polarizará inversamente al diodo debe ser menor que la tensión de Zener.

Por este motivo, cuando se especifica un diodo debe aclararse cuál será la máxima tensión de pico inverso PIV (Peak Inverse Voltage).

EJEMPLO DE ESPECIFICACION

Suponemos que se usa un diodo en el montaje del circuito de la figura 86.

La tensión que entrega la fuente de corriente alterna es de 10 Volts RMS o eficaces, es decir $10 \times 1,41 = 14,1$ Volts pico.

La corriente que circulará por la carga es de 420 mA.

Se necesita pues un diodo que tenga las características siguientes:

Tensión de pico inverso 20 volts o más
Corriente 500 mA o más

7.3 DIODO ZENER

Este tipo de diodos ha sido diseñado y construido como para que se pueda usar en su región de Zener. Tienen la propiedad de mantener una tensión constante cualquiera sea la corriente que por él circula (siempre y cuando sea menor que el límite de funcionamiento). Por este motivo, se los usa como fuentes de tensión constante y elementos reguladores de tensión en fuentes reguladas.

El diodo se conecta en este caso con la polarización invertida es decir, como se muestra en la figura 88.

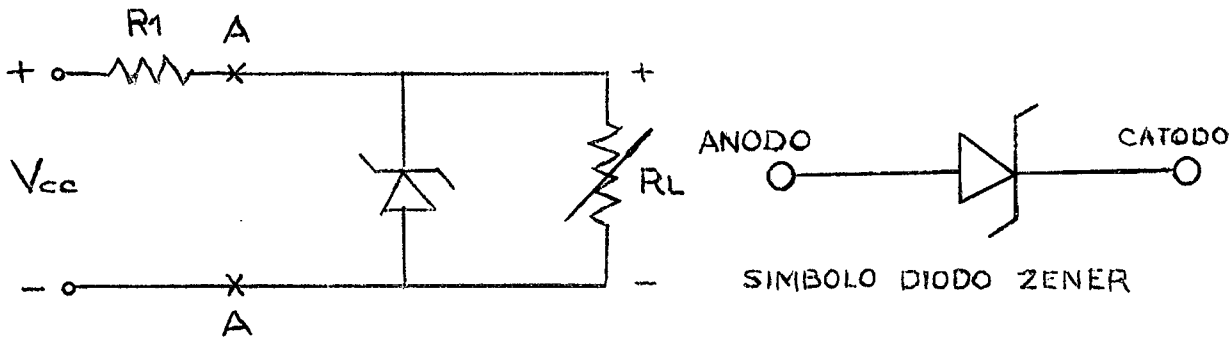


Figura 88

De esta manera cuando R_L varíe su valor, variará su corriente pero la tensión permanecerá siempre constante y será la tensión de Zener del diodo. En este circuito la corriente que circulará por la sección AA será siempre constante. De esto último se deduce que la suma de la corriente que circula por el diodo más la que circula por R_L deberá ser constante. De esta manera cuando disminuye la corriente por R_L aumentará por el diodo. El caso crítico del diodo es cuando R_L sea infinito es decir que la corriente que circula por ella sea 0. En este momento el diodo deberá absorber toda la corriente y por lo tanto tendrá la mayor disipación.

Los diodos Zener suelen especificarse por su tensión de Zener y su potencia de disipación máxima.

En la figura 88 R_1 tiene por objeto limitar la corriente de Zener cuando R_L sea ∞ .

Supongamos en la figura 88 que la tensión deba ser de 6 volts. y que las variaciones de corriente por la carga sean de 2 a 50 mA. El peor caso para el Zener será cuando por la carga circular 2 mA puesto que en ese momento por el Zener circularán 50 mA. La potencia que deberá disipar será $W = V \cdot I = 6 \times 0,05 = 300 \text{ mW}$

El Zener deberá especificarse de la siguiente manera :

Tensión de Zener 6 volts.

Disipación del Zener 500 mW (más de 300 mW)

7.4 CORRECCION DE TEMPERATURA EN DIODO ZENER

El problema que presentan todos los dispositivos semiconductores es que con variaciones de temperatura ambiente sufren variaciones sus características de tensión, corriente o potencia de disipación.

Los diodos simples tienen una variación de la "tensión de codo" como se muestra en la figura 85.

Los diodos Zener tienen una variación de su tensión de Zener con variaciones de temperatura ambiente.

Para efectuar esa conexión se coloca en serie con el Zener un dispositivo cuya variación de resistencia o de tensión, por cada grado centigrado de variación de temperatura, sea del mismo valor y signo contrario a la variación del Zener.

Primeramente esta conexión se realizaba colocando resistencias en serie cuya $\Delta R/^{\circ}C$ compensara al Zener.

Modernamente hay diodos comunes, tales que tienen igual variación de tensión de codo que la variación del Zener por grado centigrado pero en sentido opuesto. Gracias a ello la corrección de temperatura se hace de la siguiente manera:

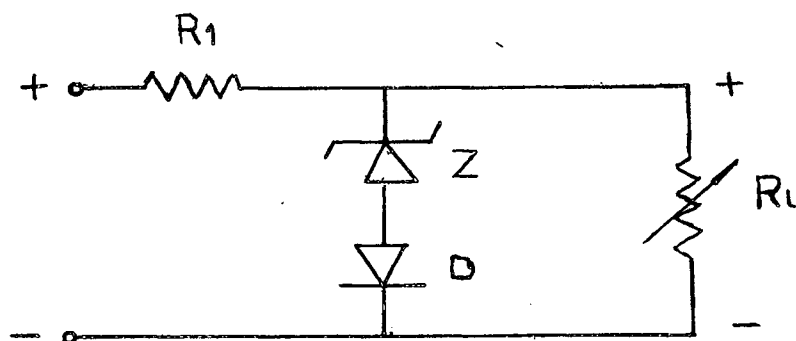


Figura 89

7.5 EL TRANSISTOR

Una juntura P-N polarizada en sentido inverso es equivalente a un elemento de alta resistencia, mientras que una juntura polarizada en sentido directo equivale a un elemento de baja resistencia. Dado que la potencia desarrollada por una cierta corriente es mayor en un elemento de alta resistencia que en uno de baja resistencia ($W = I^2 R$), puede obtenerse ganancia de potencia en una estructura que contenga ambos tipos de resistencia si la magnitud de la corriente no se reduce significativamente; un dispositivo que contenga dos junturas P-N polarizadas en direcciones opuestas puede funcionar de esta manera.

Este es pues el origen del nombre transistor, el dispositivo muestra una resistencia transferida o "Transferred resistor" de donde emergió la palabra "transistor".

En la figura 90 se muestra un dispositivo formado por dos junturas.

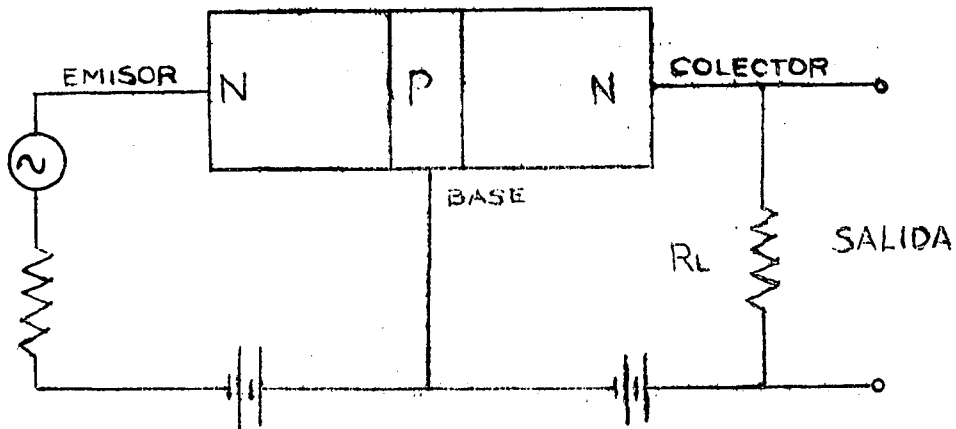


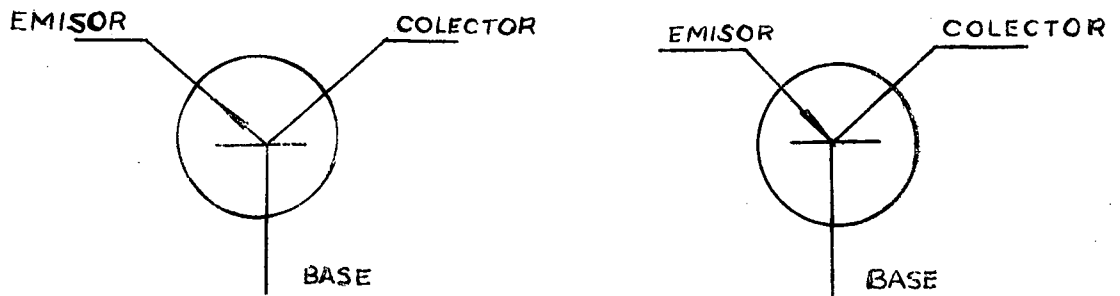
Figura 90

Las capas gruesas exteriores se hacen del mismo tipo de material (en este caso tipo N) y están separadas por una capa muy delgada del tipo opuesto (P en este caso). Por medio de baterías exteriores, se polariza la juntura izquierda (N-P) en sentido directo para proporcionar un circuito de entrada de baja resistencia y se aplica polarización inversa a la juntura derecha (P-N) para dar lugar a un circuito de salida de alta resistencia.

Los electrones fluyen fácilmente de la región N izquierda a la región P del centro por efecto de la polaridad directa; la mayoría de estos electrones se difunden a través de la delgada capa tipo P y son atraídos por el potencial positivo de la batería externa dispuesta sobre la juntura derecha. En los dispositivos prácticos aproximadamente el 95 al 99,5 % de la corriente electrónica alcanza la región N de la derecha. Este elevado porcentaje de penetración de la corriente, proporciona ganancia de potencia en el circuito de salida de alta resistencia y constituye la base de la capacidad del transistor para amplificar.

El funcionamiento de los dispositivos P-N-P es similar al N-P-N ilustrado, excepto por el hecho de que las tensiones de polarización deben invertir su polaridad y el flujo de electrones circula en dirección opuesta.

Se utilizan distintos símbolos para representar los transistores N-P-N. y P-N-P, con el objeto de mostrar la diferencia en el sentido de circulación de la corriente. En el transistor N-P-N mostrado en la figura 91 a. los electrones fluyen desde el emisor al colector; en el tipo P-N-P



(A) TRANSISTOR NPN

Figura 91

que se representa en la figura 91 b), lo hacen del colector al emisor.

En otras palabras, la dirección de la corriente continua electrónica es siempre opuesta a la de la flecha dibujada.

Como en el caso de los diodos, la flecha indica la dirección del "flujo convencional de corriente" en el circuito.

CIRCUITOS BASICOS

Hay tres formas básicas de conectar los transistores en un circuito:

- a) Base común
- b) Emisor común
- c) Colector común.

Base común: es esta conexión también llamada "base a masa" mostrada en la figura 92

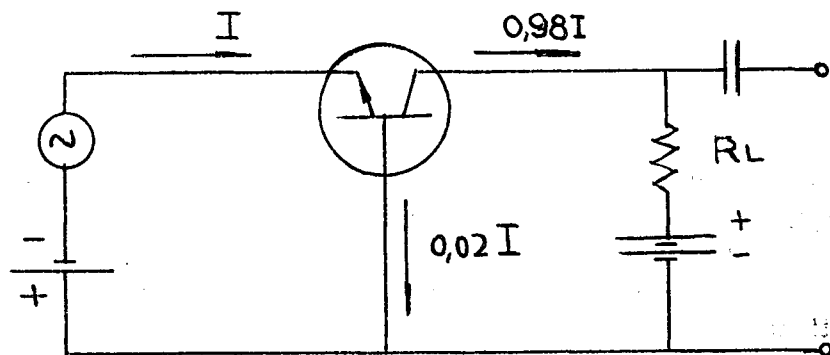


Figura 92

Se introduce en el circuito de **emisor** base la señal a amplificar y se extrae en el de colector-base; de este modo, el elemento base del transistor es común a los circuitos de entrada y salida. Puesto que el circuito de entrada, o sea el de emisor-base tiene baja impedancia (resistencia más reactancia) en el orden de 0,5 a 50 Ω , y el circuito de salida o de colector-base tiene alta impedancia, en el orden de los 1.000 Ω a 1 M Ω se tendrán con este tipo de configuración ganancias de tensión o de potencia en el orden de 1500.

En estos transistores el 0,95 a 0,995 de la corriente de emisor llega al colector. Este porcentaje de corriente, que es en esta configuración, siempre menor que 1 se llama coeficiente de amplificación de corriente en la corrección base común o también

Las ecuaciones circuitales más simples del transistor en conexión base común son:

$$(1) \quad I_E = I_B + I_C$$

$$(2) \quad I_C = \alpha I_E$$

$$(3) \quad I_B = (1 - \alpha) I_E$$

EMISOR COMUN

En la conexión de emisor o masa ilustrada en la figura 93

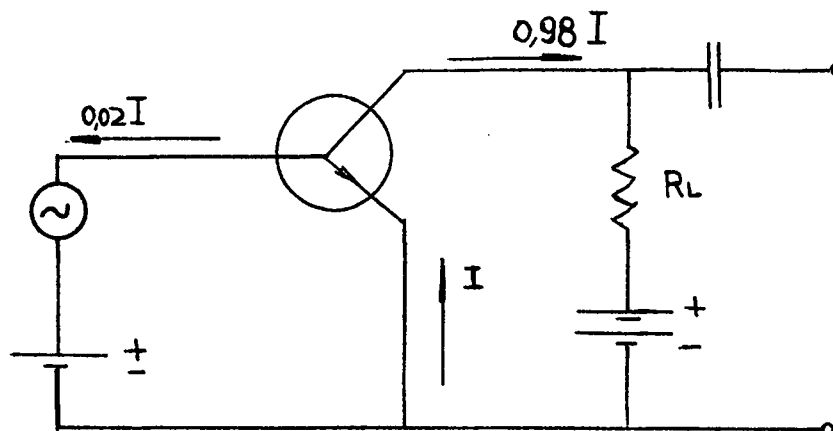


Figura 93

se introduce la señal en el circuito base - emisor y se extrae en el de colector-emisor. Esta configuración presenta impedancias de entrada y de salida más moderadas que el circuito de base común; la impedancia de entrada se encuentra en la gama de 20 a 5000 Ω y la de salida es aproximadamente de 50 a 50.000 Ω . En esta configuración se obtiene ganancia de tensión y ganancia de corriente, es decir, en suma, ganancia de potencia que es del orden de unos 10.000.

En este caso la ganancia de corriente se mide entre base y colector y es siempre mayor que 1. Generalmente entre 50 y 200 y se denomina

Las ecuaciones circuitales de esta conexión del transistor son:

$$(1) \quad I_C = I_E - I_B$$

$$(2) \quad I_C = \beta I_B$$

Si se opera un poco con las ecuaciones básicas del transistor resulta que el β y el α están relacionados por la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

COLECTOR COMUN:

Este tercer tipo de conexión mostrado en la figura 94

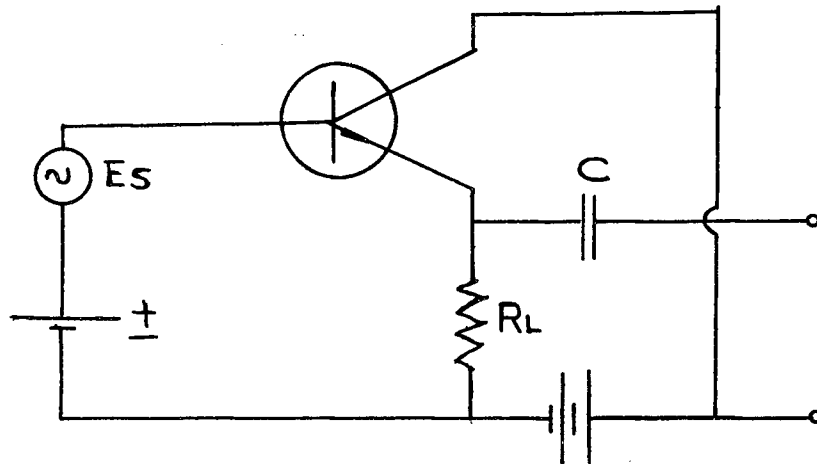


Figura 94

se llama también "colector a masa" o "seguidor emisor".

En esta configuración la señal se introduce en el circuito base-colector y se extrae del circuito emisor colector.

Debido a que en este circuito la impedancia de entrada del transistor es alta siendo baja la de salida, la ganancia de tensión es menor que la unidad y la ganancia de potencia resulta ser en general inferior a la de los otros circuitos.

Esta conexión se utiliza poco y solamente en casos muy especiales donde deba adaptarse impedancias.

7.6. TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO (FET)

En el transistor convencional el campo eléctrico de control es longitudinal mientras que en el FET dicho campo eléctrico es transversal. Los tres terminales o electrodos del FET reciben nombres diferentes a los del transistor común, ya que si bien se pueden establecer algunas analogías funcionales, el mecanismo básico es bastante diferente.

Se verá más adelante que el FET se acerca más a la válvula de alto vacío que al transistor común.

Los electrodos del FET son:

"Fuente" (source), análogo al "emisor" ya que por él entran los portadores.

"Compuesta" (Gate), análogo a la base, ya que a él se aplica la señal de comando.

"Drenaje" (Drain), análogo al colector, ya que por él salen los portadores.

En la figura 95 se representa esquemáticamente un FET,

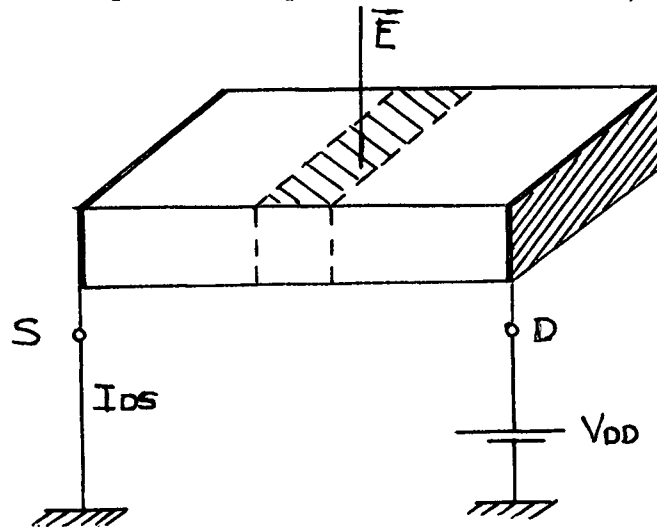


Figura 95

Mediante una barra prismática de material semiconductor de sección rectangular, dicha barra está provista de contactos ohmicos en sus extremos axiales.

Sean S (Source) y D (Drain) los electrodos conectados a dichos contactos ohmicos.

La aplicación de una fuerza electromotriz de polarización V_{DD} entre estos electrodos hará circular una corriente I_D a lo largo de la barra.

En la zona rayada, ubicada en la parte central de la misma, se manifiesta la acción del campo eléctrico transversal E , encargado de modificar su conductancia y por ende la corriente I_D .

Se denomina canal "Channel" la zona de la barra semiconductor en la cual se manifiesta la acción del campo eléctrico transversal E . Si el material es lo suficientemente extrínseco y homogéneo la corriente I_D se deberá esencialmente al desplazamiento de los portadores mayoritarios, bajo la acción del campo longitudinal debido a V_{DD} que irán desde el electrodo de fuente hasta el de drenaje.

Surge aquí la diferencia más notable entre el transistor convencional y el FET.

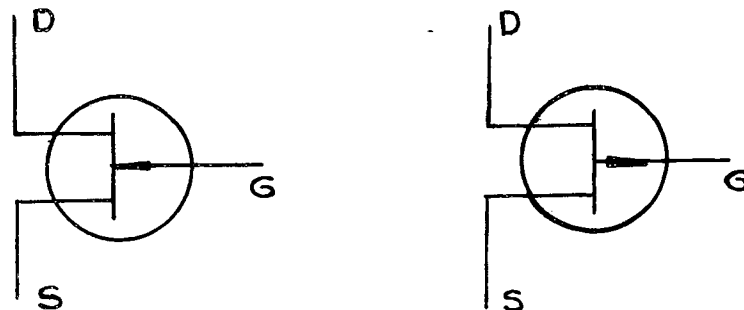
Con el transistor común debido a la necesidad de introducir portadores por el electrodo de base se tiene una impedancia de entrada baja, mientras que en el FET dado que el control se realiza sólo por un campo eléctrico, la impedancia de entrada es muy superior, generalmente de varias decenas de M.

El material de la barra puede ser de tipo N o de tipo P con lo cual el FET se identifica como de "canal N" o de "canal P".

En la actualidad existen dos tipos de FET, los JFET (Junction Field Effect Transistor) y los MOSFET (Metal oxide semiconductor Field Effect Transistor), dependiendo esta división de la forma en que se manifiesta la acción del campo eléctrico sobre la conductancia del canal.

Se aclara que los MOSFET tienen una impedancia de entrada de 5 a 6 órdenes de magnitud mayor.

El símbolo de los FET es el que se muestra en la figura 96



S = SOURCE
D = DRAIN
G = GATE

Figura 96

7.7. DIODOS CONTROLADOS

Los diodos controlados también llamados SCR, abreviatura de Silicon Controlled Rectifier o Rectificadores de Silicio Controlados, tienen una característica similar a las válvulas thyratón por lo cual en algunos casos se los llama "tiristores".

DESCRIPCION

Supongamos que se hace un apilamiento de cuatro capas con impurezas distintas, tal como se muestra en la figura 97

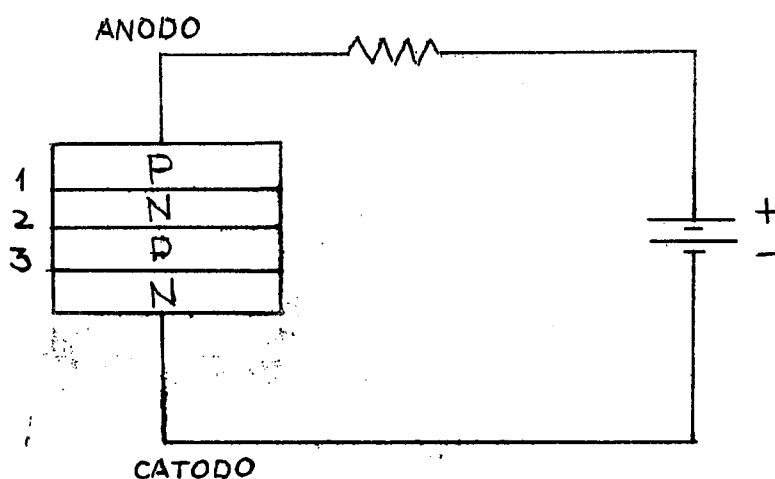


Figura 97.

Así, cualquiera sea la polaridad de la batería, no circulará corriente porque siempre habrá por lo menos una juntura polarizada en sentido inverso, en este caso la juntura 2. Si se pudiera hacer circular un poco de corriente por la juntura polarizada directa, la mayoría de la corriente atravesaría la juntura inversa (2) y también de nuevo la juntura directa (3). La corriente a través de la segunda juntura polarizada directa producirá entonces más corriente a través de la juntura (1) y así seguirá el proceso. La corriente estará solamente limitada por el circuito exterior.

Si se invierte la polaridad de la batería habrá dos junturas polarizadas en forma inversa y una en forma directa lo cual no permitirá que circule corriente a menos que la tensión sea muy elevada, lo cual destruirá el dispositivo.

Hay que ver entonces cómo se puede obtener esa pequeña corriente de arranque.

Hay para ello tres formas:

- 1) Aumentando la tensión hasta que la corriente de pérdida sea suficiente para excitar el sistema.
- 2) Excitar con luz en el lugar preciso hasta que los electrones se exciten y crucen la juntura.
- 3) Calentar el dispositivo, pero no se considera el más adecuado.

Si se grafica la tensión vs. corriente del dispositivo PNP, Fig. 98, se podrá ver el efecto de la polarización directa de ruptura V_{BO} . y nótese que

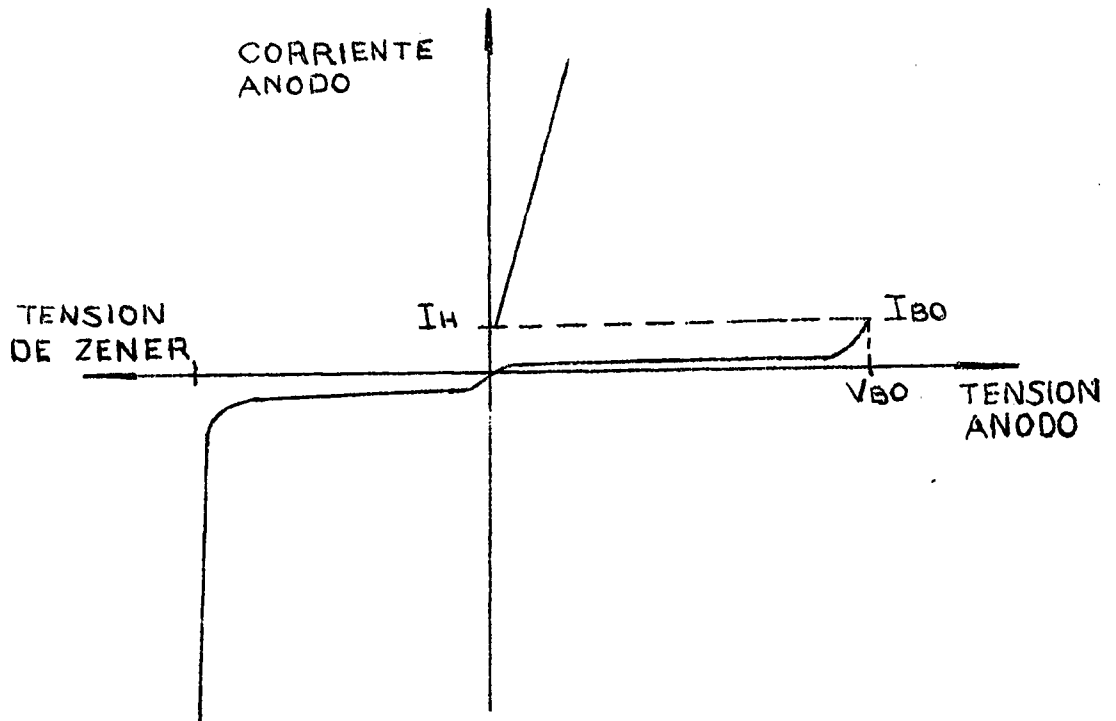


Figura 98

Para ello es necesaria una muy pequeña corriente I_{BO} y que hay una corriente mínima de mantenimiento I_H .

Una vez que comenzó a circular corriente seguirá así hasta tanto algo en el circuito exterior la baje al valor I_H .

Los SCR tienen un tercer electrodo que sirve de control, llamado compuerta o "gate" tal como se muestra en la figura 99.

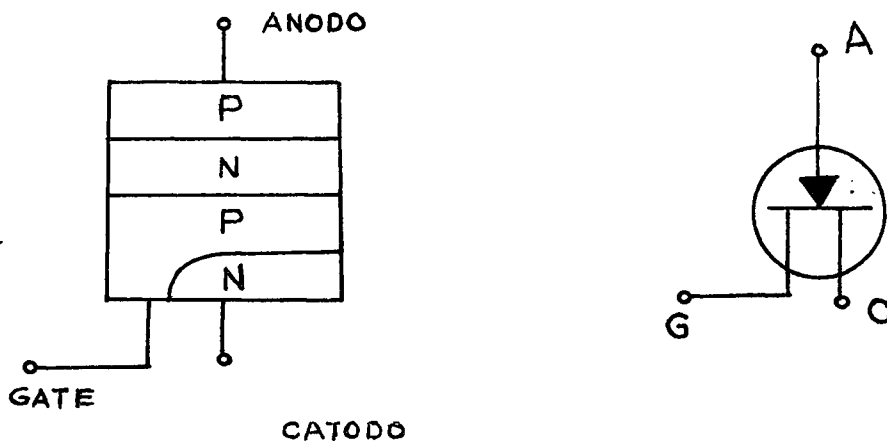


Figura 99.

El gate se conecta a la capa P próxima al cátodo. Si se introduce una pequeña corriente en el gate el diodo comenzará a conducir y permanecerá así hasta que se lo "apague".

La clave del sistema es que una pequeña corriente del gate al cátodo puede "disparar" el SCR y hacerlo cambiar de un círculo abierto a un rectificador.

Para apagar el SCR tiene que disminuir la corriente hasta un valor menor que I_H . Si se quita la corriente del gate el dispositivo seguirá funcionando.

La corriente del gate deberá "durar" lo suficiente como para que la corriente del sistema sea la normal. Generalmente es suficiente $5 \mu \text{ seg.}$

Al apagarse el SCR deberá esperarse unos $50 \mu \text{ seg}$ para que haya total recombinación de portadores.

7.8. TRANSISTOR UNIJUNTURA

Un transistor de unijuntura (UJT) consiste tal como se muestra en la figura 100 (a), de una barra de silicio tipo N con contactos en ambos extremos y una porción simple tipo P al costado de la barra.

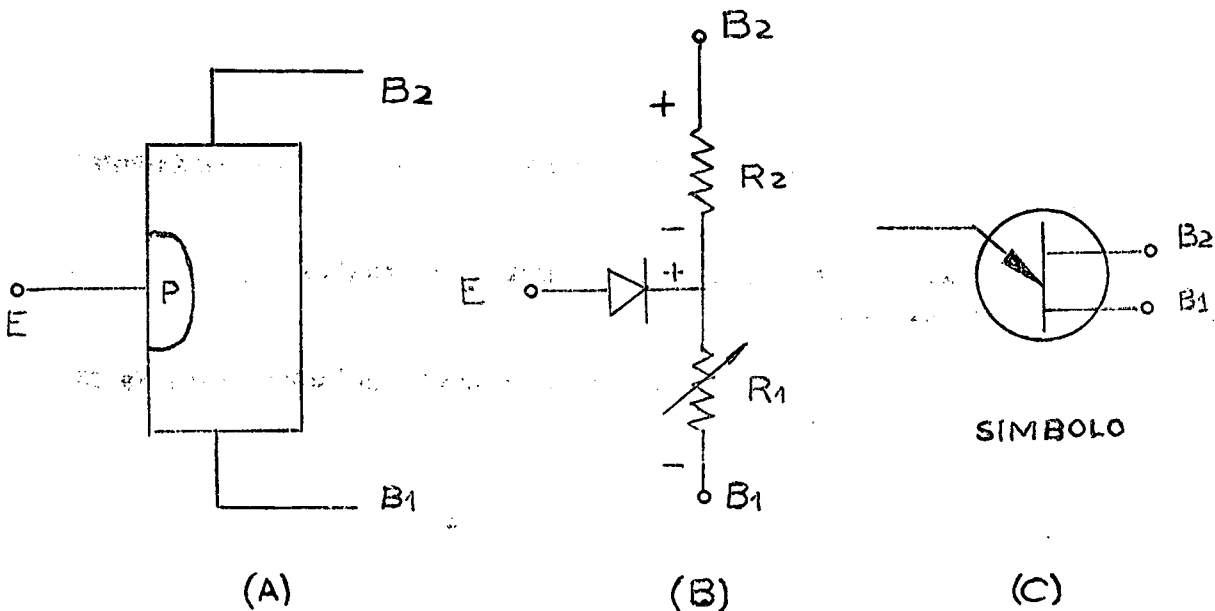


Figura 100.

La barra se comporta como una resistencia divisora de tensión con la juntura de emisor puesta en el centro. Hay un flujo de corriente desde el emisor hacia B_1 a través de la juntura PN, y gana suficiente energía como para suponer que no hay resistencia R_1 . Normalmente R_1 es un 20% mayor que R_2 pero se produce un colapso y baja a un valor suficientemente bajo con la corriente que proviene del emisor lo cual se muestra en la característica de emisor, fig. 101.

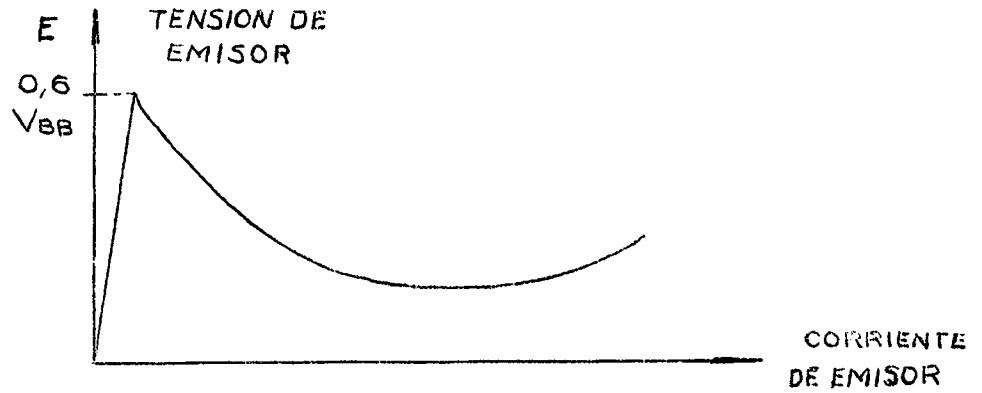


Figura 101

Una aplicación típica del transistor de unijuntura es el oscilador de relajación mostrado en la figura 102.

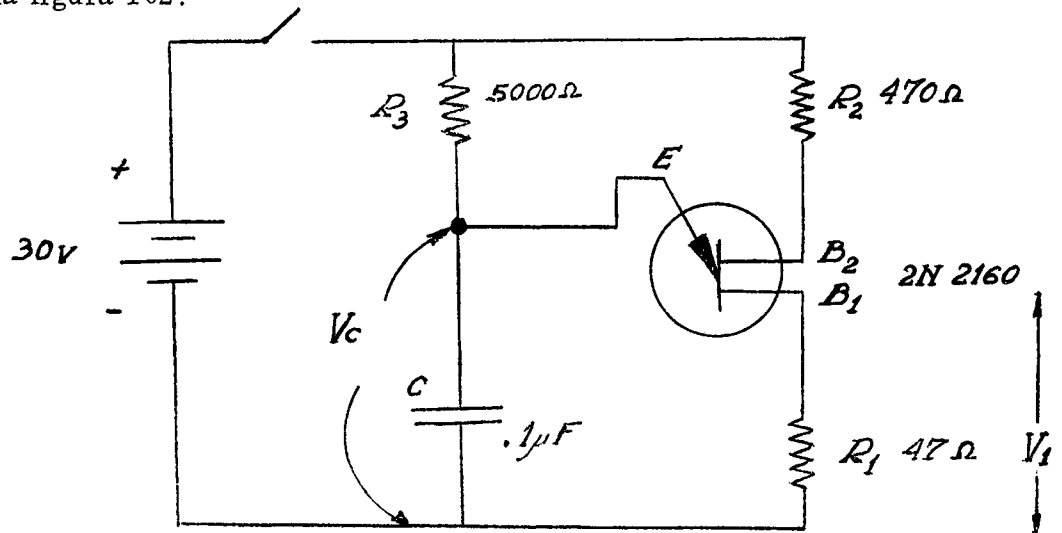


Figura 102

Cuando se cierra la llave L_1 , la acción de divisor de resistencia de la barra del (UJT) produce una tensión de 18 v entre B_1 y la parte N del emisor. En este momento, la tensión del emisor es cero estando unida al capacitor C , así la juntura emisor está inversamente polarizada y no circula corriente a través de ella. La tensión V_C empieza a aumentar cuando la corriente circula por R_3 . Cuando V_C alcanza 18 volts la juntura emisor $-B_1$ comienza a polarizarse en forma directa. La corriente comienza a fluir por B_1 reduciendo la resistencia interna y así la carga del capacitor baja en forma total a través de R_1 y comienza de nuevo el ciclo recargándose nuevamente. Las formas de onda son las de la figura 103.

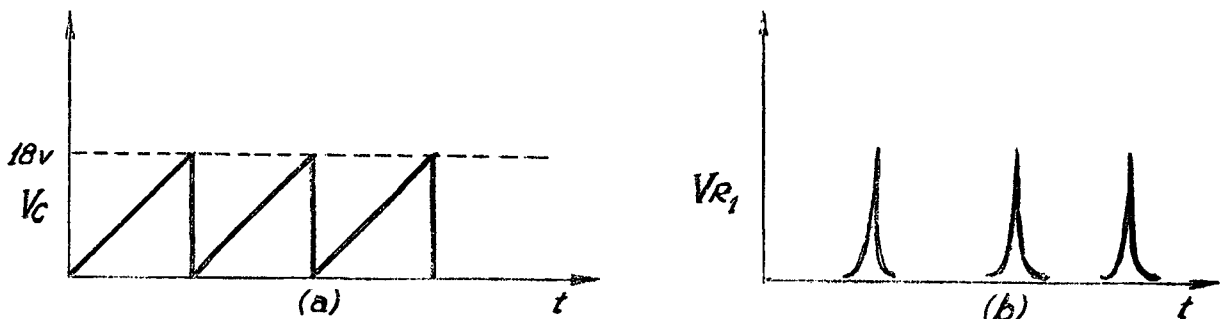


Figura 103

de esta manera el transistor de unijuntura funciona como un relay de 1 polo, 2 posiciones.

7.9 FOTORRESISTORES

Los fotorresistores o resistores dependientes de la luz (Light Dependence resistance) son dispositivos cuya resistencia eléctrica varía según el nivel de iluminación que reciben.

El elemento fotosensible varía según la zona del espectro que sea necesario detectar.

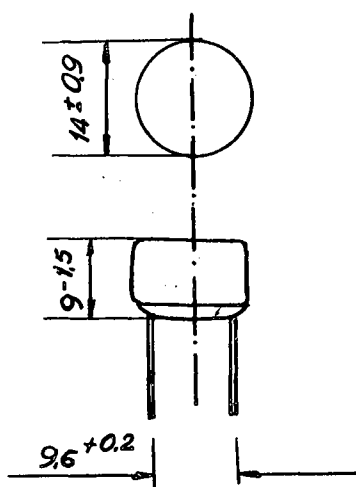
Así se usa sulfuro de cadmio o células CdS para la zona media del espectro visible desde unos 5500 a 7500 Å aunque estas mismas células pueden llegar desde unos 3800 Å hasta unos 8500 Å pero con un rendimiento menor de la cuarta parte que para el ámbito primeramente descrito.

Las células de seleniuro de cadmio tienen buena sensibilidad en el infrarrojo mientras que en la zona visible, es decir en los 6500 Å su rendimiento es menor que los CdS. Existe otra célula que es la de sulfuro de plomo, que si bien es mucho más costosa que las otras dos, tiene un espectro muy amplio y llega desde el infrarrojo hasta el final de la región visible.

Existe en plaza a un precio razonablemente bajo (aprox. \$ 3,50 - Marzo 1970) un fotorresistor cuyas características se describen seguidamente:

RESISTORES DEPENDIENTES DE LA LUZ (L.D R.)

Están compuestos por una pequeña célula fotoeléctrica, herméticamente cerrada en una resina sintética y equipada con terminales para su conexión.



Dimensiones físicas

Número de tipo: B8 73103

Resistencia en total oscuridad: $R_D = 10 \text{ M}\Omega$

Resistencia en presencia de luz (1.000 lux):
 $R_L = 75 - 300 \Omega$

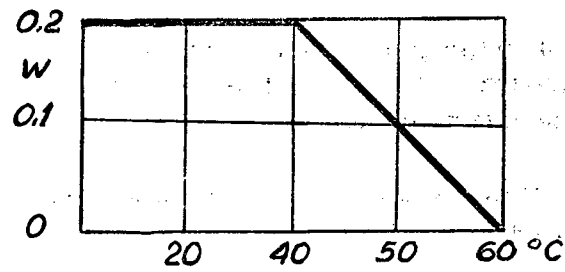
Tiempo de recuperación: $T_t = 200 \text{ k } \Omega/\text{seg.}$

Disipación máxima : $W_{\text{máx}}: 0,2 \text{ W}$ (a 40°C)

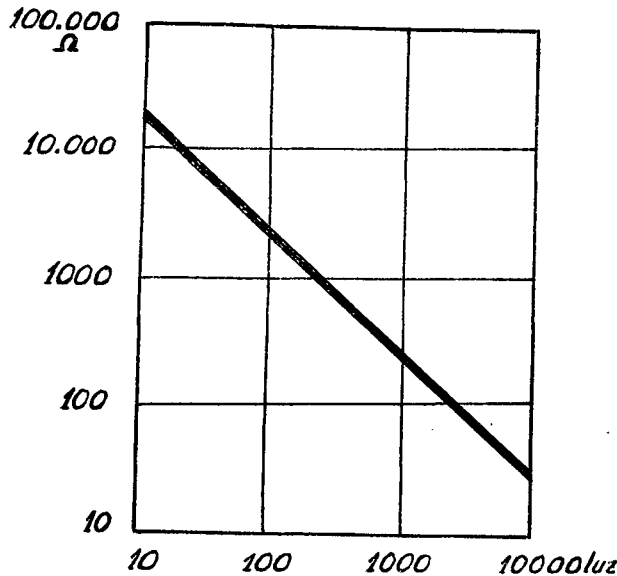
Tensión permisible: $E_{\text{máx}} = 110 \text{ V}_p$.

Temperatura de trabajo: - 20/+ 60°C

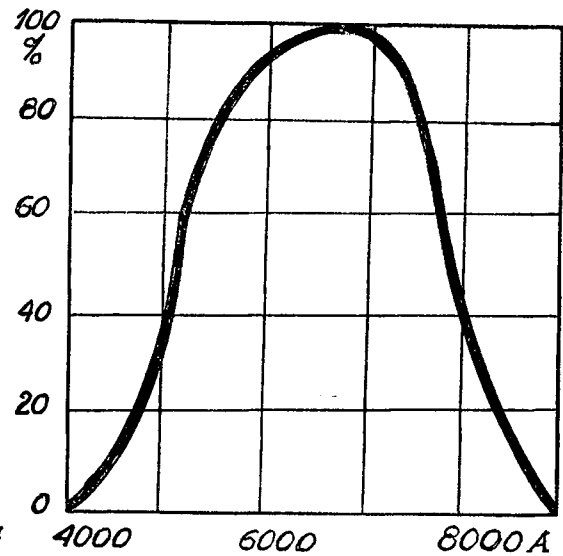
Capacidad: máx.) 6 pf.



Disipación máxima en función de la temperatura



Variación de la resistencia ohmica en función de la intensidad de iluminación.



Respuesta espectral

Con este fotorresistor se pueden hacer numerosos sistemas cuyo funcionamiento es seguro y repetitivo.

7.10. TERMISTORES

Estos dispositivos llamados también Thermistores son elementos sensibles a variaciones de temperatura, lo cual se manifiesta por una variación en su resistencia ohmica.

Tienen la virtud de bajar su resistencia ohmica cuando la temperatura aumenta.

La ecuación que rige el comportamiento de los termistores es del tipo

$$R_T = R_0 \cdot e^{\beta(1/T - 1/T_0)}$$

siendo:

R_T = resistencia del termistor a una temperatura T

R_0 = resistencia del termistor a temperatura ambiente

β = coeficiente propio de cada termistor
 T = temperatura de trabajo del termistor
 T_0 = temperatura ambiente.

Generalmente se acostumbra a graficar R vs $1/T$ dando un gráfico de la siguiente manera. Fig. 104

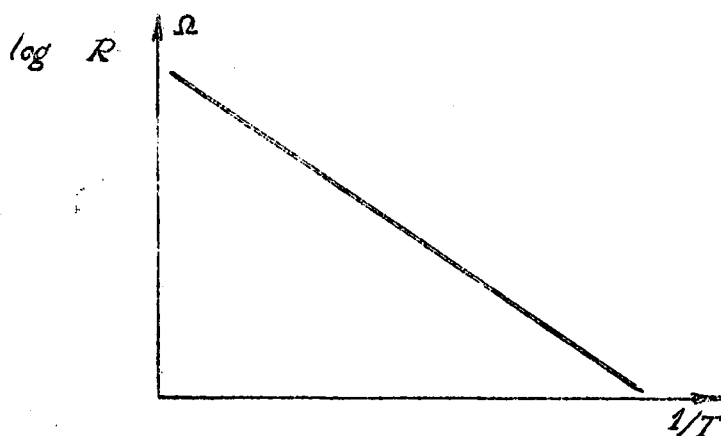


Figura 104.

Si se grafica ahora en escalas lineales la característica del termistor, se verá que es un dispositivo netamente alineal.

Se recomienda especialmente cuando debe usarse un dispositivo de éstos tratar de compensarlo con resistencias serie o paralelo para hacer su curva lo más lineal posible. Ello evitará complicaciones en el resto del circuito que deba acoplarse para su funcionamiento.

7.11. CIRCUITOS INTEGRADOS.

Sobre la base del transistor y con técnicas más elaboradas pueden construirse en un bloque de material semiconductor todo un circuito transistorizado, incluyendo diodos, resistencias y capacitores (no muy grandes). Hasta el momento la limitación que tienen estos circuitos es referente a inductancias. Hasta ahora no se pueden construir en esos circuitos "monolíticos", inductores. Un ejemplo muy simple puede verse en la figura 105 en la cual se muestra un pequeño amplificador con muy baja impedancia de salida. Todo el amplificador está encapsulado en una forma parecida a un transistor. La cápsula tiene 6 salidas que constituyen todas las conexiones de este amplificador.

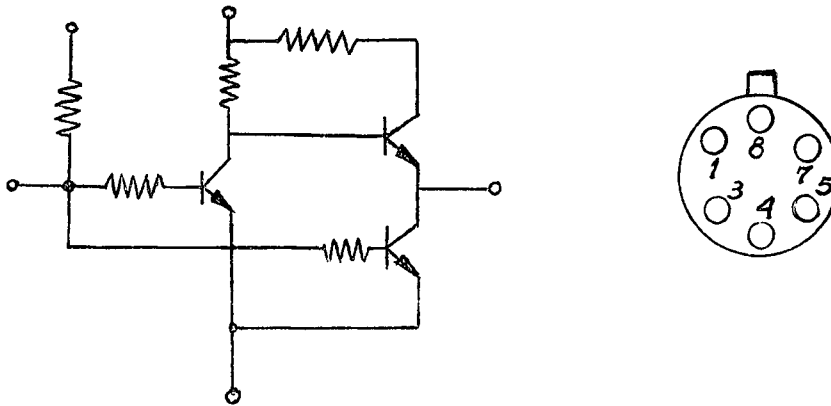


Figura 105

Con la técnica de circuito integrado se ha conseguido hacer sistemas que cuentan una década, amplificadores operacionales, amplificadores lineales, circuitos **sumadores**, de lógica binaria, etc. Solamente una firma productora en Estados Unidos tiene 46 tipos diferentes de circuitos integrados.

La firma Fair child ofrece un amplificador operacional como circuito integrado (IC) bajo el código A 709 C que contiene 15 transistores y resistencias en un espacio de cápsula de unos 5 mm de alto por un diámetro de 10 mm.

Sus características principales son:

Tensión de entrada	: 2 a 7,5 mV
Resistencia de entrada	: de 50 a 250 K
Resistencia de salida	: 150
Ganancia de tensión	: de 15.000 a 45.000
Variaciones de tensión de salida	: ± 12 a ± 14 volts.
Potencia de consumo	: de 80 a 200 mW

La firma Motorola ofrece un circuito similar bajo el código 1709 C.

Dado que los circuitos integrados son una técnica nueva, para mayores referencias es conveniente consultar catálogos de fabricantes.

7.12 CALCULO DE UNA FUENTE DE CORRIENTE CONTINUA

En el presente punto se dará la descripción de cálculo de una fuente de corriente continua, y que sirve de modelo si se desea realizar el cálculo con datos diferentes.

Datos: Tensión de salida 100 V cc.
 Corriente máxima 250 mA
 Tensión de ripple 0,5 %

Cálculo: Normalmente pueden utilizarse para este tipo de fuentes de corriente continua los siguientes circuitos:

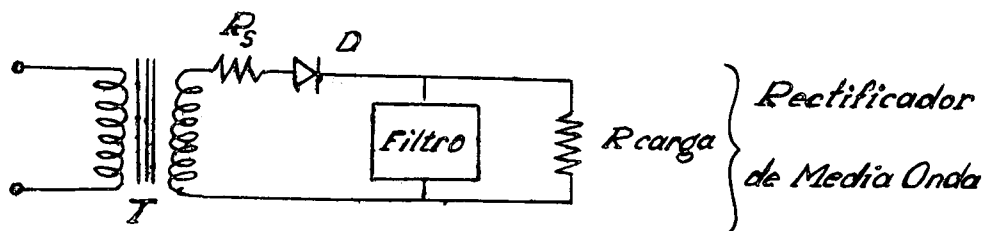


Figura 106

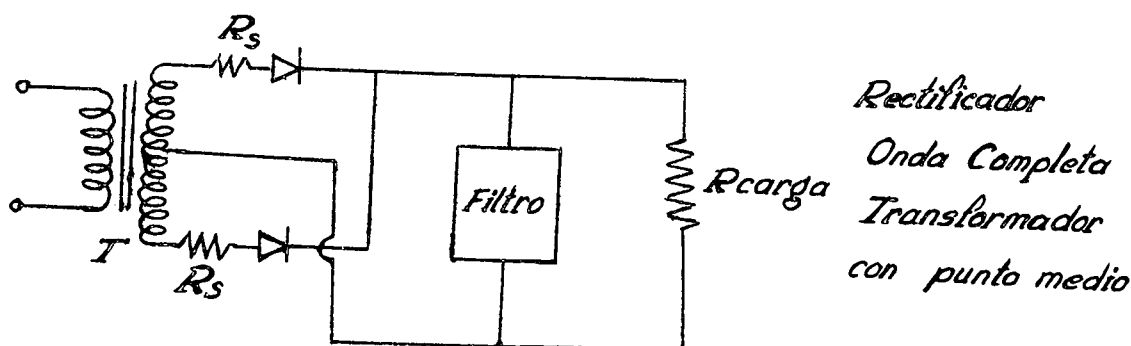


Figura 107

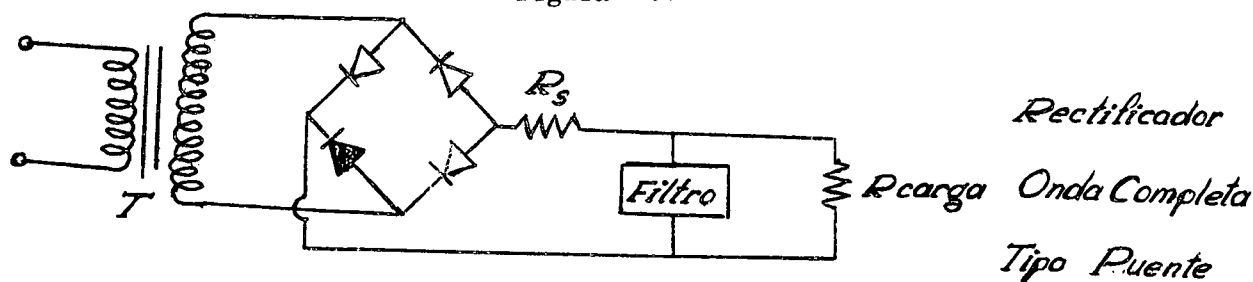


Figura 108

Ver aclaración sobre "filtros" al final del capítulo.

Generalmente el circuito de la figura 106 se utiliza cuando los requerimientos de corriente son pequeños y sobre todo cuando no es necesario tener una tensión de ripple muy baja. Es por estos motivos que no usaremos ese circuito.

Restan por considerar los circuitos de las figuras 107 y 108.

Las ventajas de uno sobre otro y viceversa son relativamente pequeñas y generalmente los factores de peso para la elección de uno u otro circuito son:

- a) Si el transformador tiene o no derivación central.
- b) Número de diodos
- c) Tensión de pico inversa de los diodos.

Se aclara que si se va a rectificar directamente la tensión de la línea nos vemos obligados a usar el circuito de la figura 108 debido a que no se tiene la derivación central. En todos los circuitos mostrados R_s llamada resistencia de "Stopping" o limitadora de corriente es una resistencia cuya misión es limitar el pico inicial de corriente que pasa por los diodos en el momento en que comienza a funcionar el sistema. Muchas veces esta resistencia puede ser la misma del alambre del secundario del transformador.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

Se utilizará el circuito de la figura 107 y cuyo filtro tendrá entrada a capacitor.

- 1) Determinése el valor de la resistencia de carga.

Para nuestro caso es:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{100 \text{ V}}{0,250 \text{ A}} = 400 \Omega$$

- 2) Supóngase un valor de R_S (generalmente se eligen entre 1 y 10% de R carga) Puede utilizarse como regla práctica que R_S es más pequeña cuando la corriente del rectificador es mayor.

Para nuestro caso suponemos $R_S = 5\% R$ carga

$$R_S = \frac{5 \times 400}{100} = 20 \Omega$$

- 3) Anótese el valor R_S/R carga %.

En nuestro caso 5%

- 4) Del gráfico de porcentaje de ripple vs ωR carga C fig. 109, determinar el valor de ωR carga C requerido para reducir el ripple a un valor deseado para un % R_S/R carga determinado en 3. Calcúlese el valor de C requerido.

En nuestro caso

$$\begin{array}{l} R_S/R \text{ carga } 5\% \\ \% \text{ ripple } 0,5\% \end{array} \quad \text{-D } \omega R \text{ carga } C = 130$$

$$C = \frac{130}{\omega R \text{ carga}} = \frac{130}{2 \cdot 50.400} = 0,001032 \text{ F}$$

$C = 1032 \mu\text{F}$ puede utilizarse sin mayor error un capacitor de $1000 \mu\text{F}$

- 5) De la figura E_{cc}/E_T máx.% vs ωR carga C figs. apropiada 110 ó 111, determinar la relación de E_{cc}/E_T máx. con los valores de ωR carga C obtenido en (4) y R_S/R carga % determinado en (3).

En nuestro caso

$$\begin{array}{l} \omega R \text{ carga } C = 130 \\ R_S/R \text{ carga } = 5\% \end{array} \quad \text{del gráfico } \frac{E_{cc}}{E_{T\text{máx}}} = 84$$

- 6) Determinar $E_T(\text{máx})$ y $E_T(\text{RMS})$ que se deben aplicar al circuito usando la información de (5).

En nuestro caso:

$$\frac{E_{cc}}{E_T(\text{máx})} \% = 84 ; E_T(\text{máx}) = \frac{E_{cc}}{0,84} = \frac{100}{0,84} = 119 \text{ v}$$

$$E_T(\text{RMS}) = \frac{E_T(\text{máx})}{1,4} = \frac{119}{1,4} = 85 \text{ V (RMS)}$$

7) Determinar el valor de tensión de pico que los rectificadores deben soportar.

De la Tabla 1 tenemos que:

La tensión de cresta es $2 E_T \text{ máx.}$

Para nuestro caso:

$$\text{Tensión cresta} = 2 E_T (\text{máx}) = 2 \times 119 \text{ v} = 238 \text{ v (PIV)}$$

8) Determinar el valor de RMS de corriente por cada rectificador (fig. 112)

Para nuestro caso:

$$\frac{R_s}{nR_{\text{carga}}} \% = \frac{5}{2,400} = \frac{5}{800} = 0,063$$

$$\frac{I_{\text{RMS}}}{I_o} = 4,3$$

$$\omega R_{\text{carga}} C = 130$$

$$I (\text{RMS}) = 4.3 I_o = 4.3 \times 250 \text{ mA} = 1,08 \text{ A.}$$

9) Decidir el rectificador a usar.

Para nuestro caso: Debe consultarse los datos técnicos de los fabricantes que deban darlos en las hojas de especificaciones.

Para nuestro caso: Debe elegirse un diodo que permita un pasaje de corriente máximo de 1 A.

10) Controlar la corriente de pico repetitivo por cada rectificador de la figura 113.

$$\frac{R_s}{nR_{\text{carga}}} \% = \frac{5}{2400} = 0,063$$

$$\frac{I_{pk}}{I_o} = 25$$

$$M\omega R_{\text{carga}} C = 2.130 = 260$$

$$I_{pk} = 25. I_o = 25. 0,250 = 6,25 \text{ A.}$$

Este dato debería contrastarse con el que da el fabricante de los diodos.

11) Controlar el valor inicial de corriente I_o dado por $E_T \text{ máx.}/R_s$. Si el valor obtenido excede el especificado por el fabricante deberá aumentarse R_s y realizar todo el cálculo de nuevo.

Para nuestro caso:

$$I_{on} = \frac{E_T \text{ máx}}{R_s} = \frac{119}{20} = 6A$$

- 12) Diseñar el transformador y ajustar el valor de R_s de acuerdo a lo anterior y, teniendo en cuenta el valor de resistencia del bobinado.

Secundario

Secundario del transformador deberá tener 85 volts por rama con punto medio Corriente 1 Amp.

- 13) Controlar el valor RMS de la corriente a través del capacitor .
- 14) Determinar las medidas del disipador térmico del diodo para que opere dentro del ámbito normal de temperatura .

En nuestro caso el filtro estará compuesto solamente por un capacitor . Pero si fuera necesario disminuir el % de tensión de ripple se puede elaborar aún más el filtro utilizando el gráfico de la figura 114.

Así por ejemplo, si se deseara tener menor % de ripple se podría construir un filtro como el mostrado en la figura 115

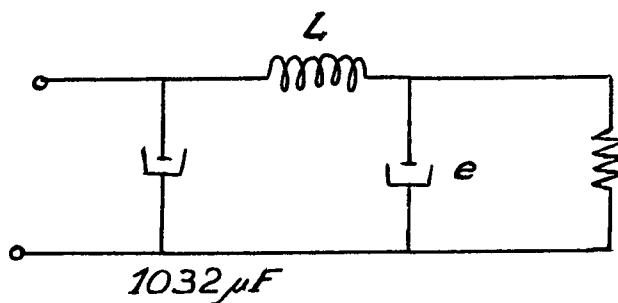


Figura 115.

Aquí, usando el gráfico de la figura 114 habría que determinar el valor de L en Henrios y C en F .

NOTA: Se define tensión de ripple como el valor eficaz (RMS) de la tensión alterna que siempre aparece superpuesta a la continua cuando se rectifica una tensión alternada.

Se define como % de ripple el valor porcentual de esa tensión alternada respecto a la tensión continua que provee el sistema rectificador.

Ejemplo: Una tensión de 150 Volts c.c. se dice que tiene un % de ripple de 0,5

Ello significa que en los 150 volts cc. habrá superpuesta una tensión alternada de 0.750 v o sea 750 mV. Esquemáticamente se muestra en la figura 116.

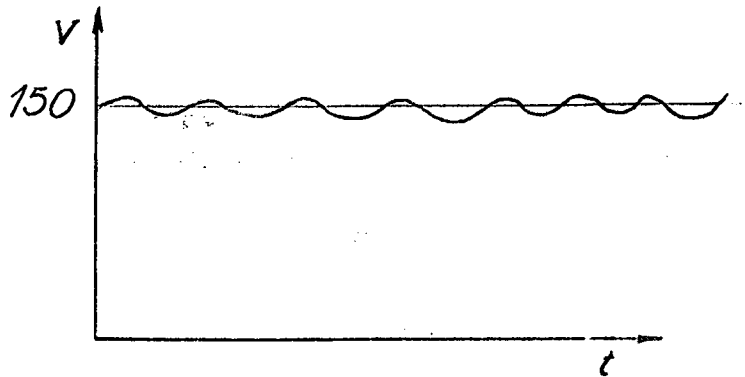


Figura 116

Valor eficaz o valor RMS (Root-Mean-Square) de una tensión alternada: se define como valor RMS de una tensión alternada el valor de tensión continua que sobre una resistencia disiparía igual potencia que la tensión alternada.

En una onda senoidal se tiene:

Valor RMS = $0,707 \times$ Valor pico.

$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{V^2_{\text{máx}} \int_0^T \sin^2 \omega t \, dt}{T}}$$

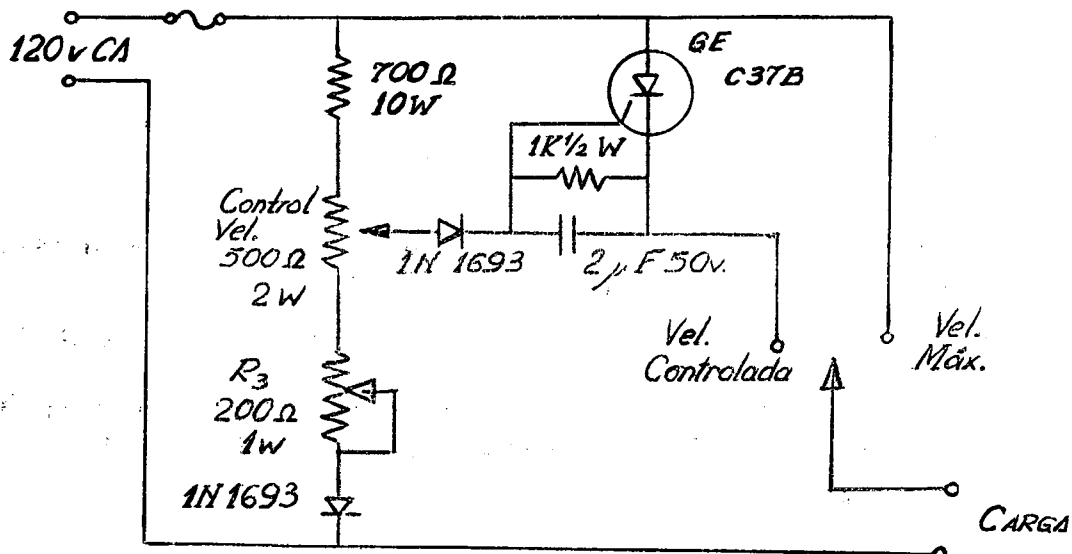
Siendo T = período de la onda

$$\omega = 2\pi f$$

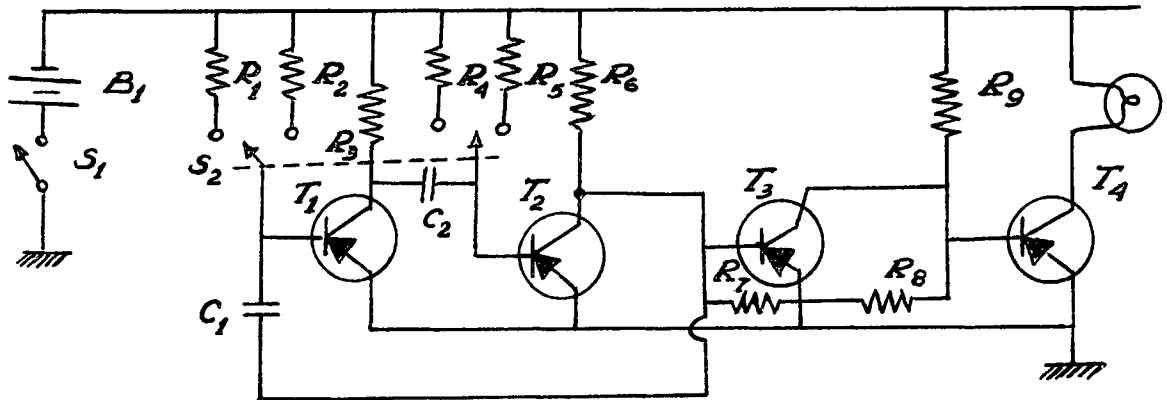
El valor RMS se aplica también a la corriente.

7.13. CIRCUITOS DE APLICACION CON SEMICONDUCTORES

a) Control de velocidad para motores universales de hasta 1/2 Hp.



b) Destellador para torres.



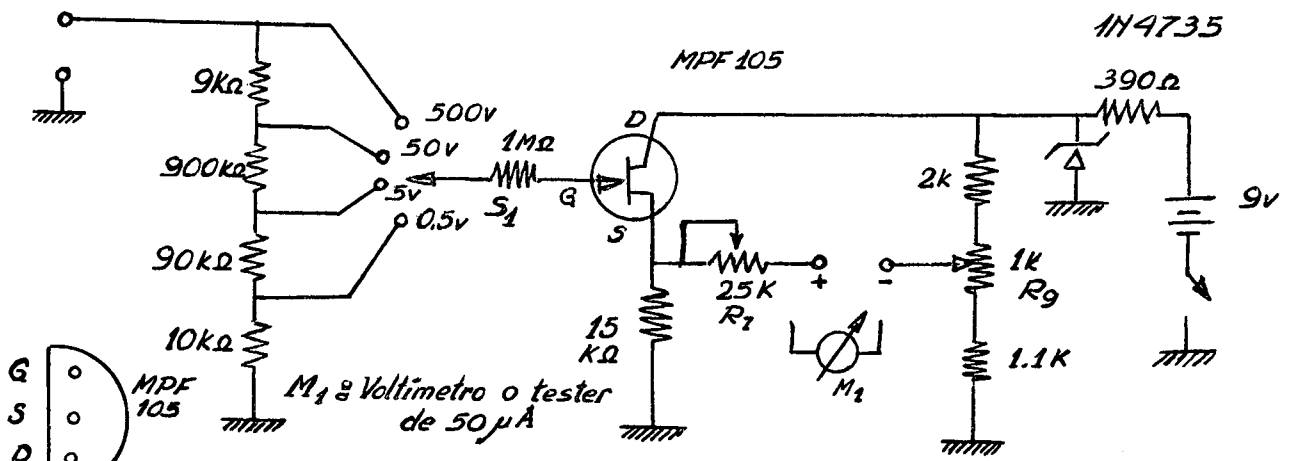
$B_1 = 12 \text{ V}$
 $C_1 = 100 \text{ F x } 25 \text{ V}$
 $C_2 = 100 \text{ F x } 25 \text{ V}$
 $L_1 = \text{Lámpara } 5 \text{ A o menos}$
 $R_1 = 100 \text{ K } \quad 1/2 \text{ W}$
 $R_2 = 91 \text{ K } \quad 1/2 \text{ W}$
 $R_3 = 2 \text{ K } \quad 1/2 \text{ W}$
 $R_4 = 47 \text{ K } \quad 1/2 \text{ W}$

$R_5 = 6 \text{ K } \quad 1/2 \text{ W}$
 $R_6 = 240 \quad 1/2 \text{ W}$
 $R_7 = 240 \quad 1/2 \text{ W}$
 $R_8 = 82 \quad 1/2 \text{ W}$
 $R_9 = 82 \quad 1/2 \text{ W}$

Las posiciones A o B de la llave S_2 dan distintos tiempos de encendido y apagado.

$T_1 - T_2 = \text{Transistor Tipo } 2\text{N } 217$
 $T_3 = \text{tipo } 2\text{N } 270$
 $T_4 = \text{tipo } 2\text{N } 561$

c) Voltímetro de alta impedancia con FET



Con las puntas en cortocircuito se ajusta R_9 para deflexión cero de la aguja y con las puntas en una fuente de tensión 5 V con S_1 en la posición de 5 V se ajuste R_7 para que la aguja indique fondo de escala.

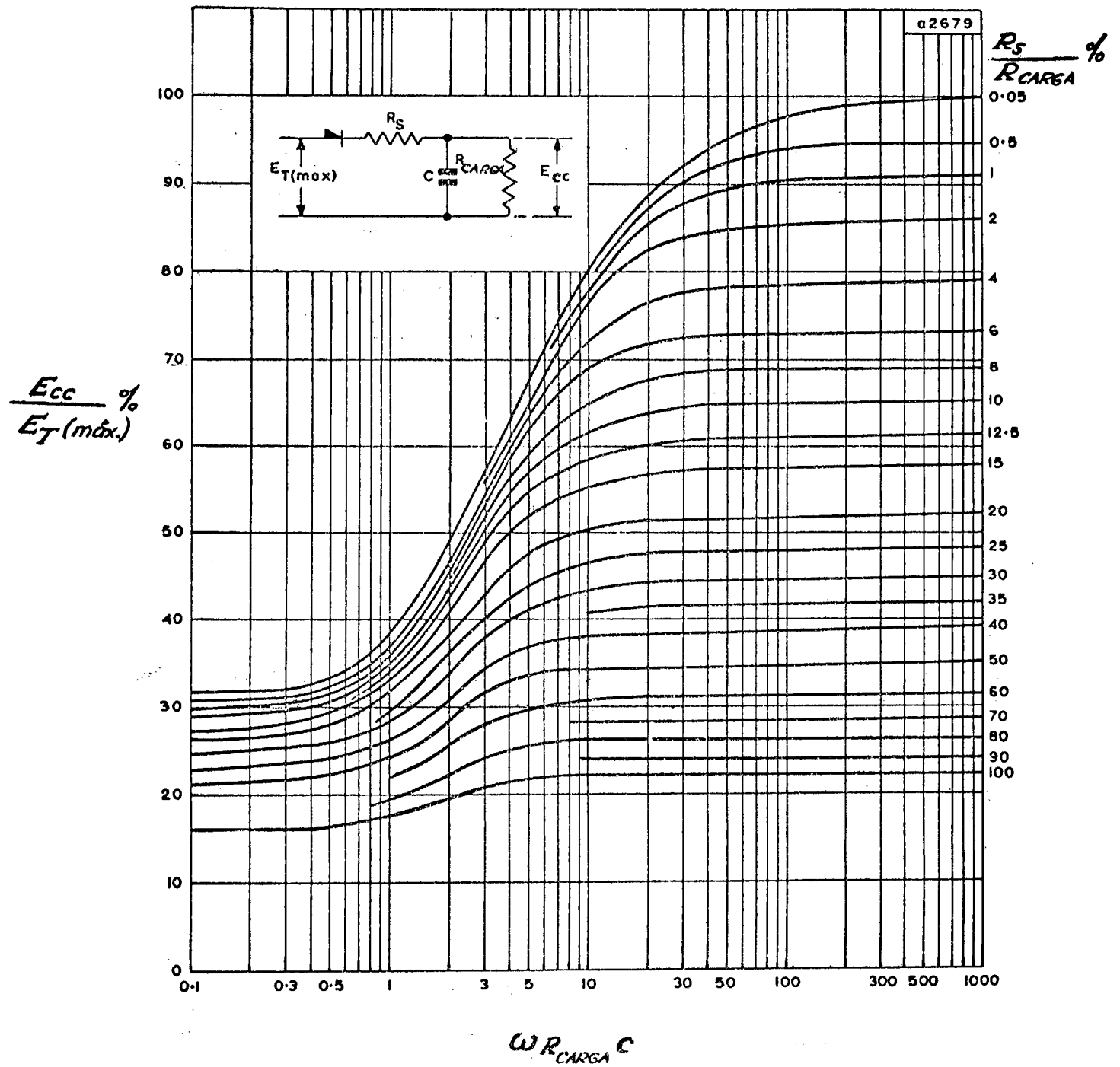


FIGURA 110.-

$E_{cc}/E_T \max. \%$ - Como función de $\omega R_{carga} C$ para circuitos onda completa.

C - Farádios

R - Carga en OHMS.

$\omega - 2\pi F.$

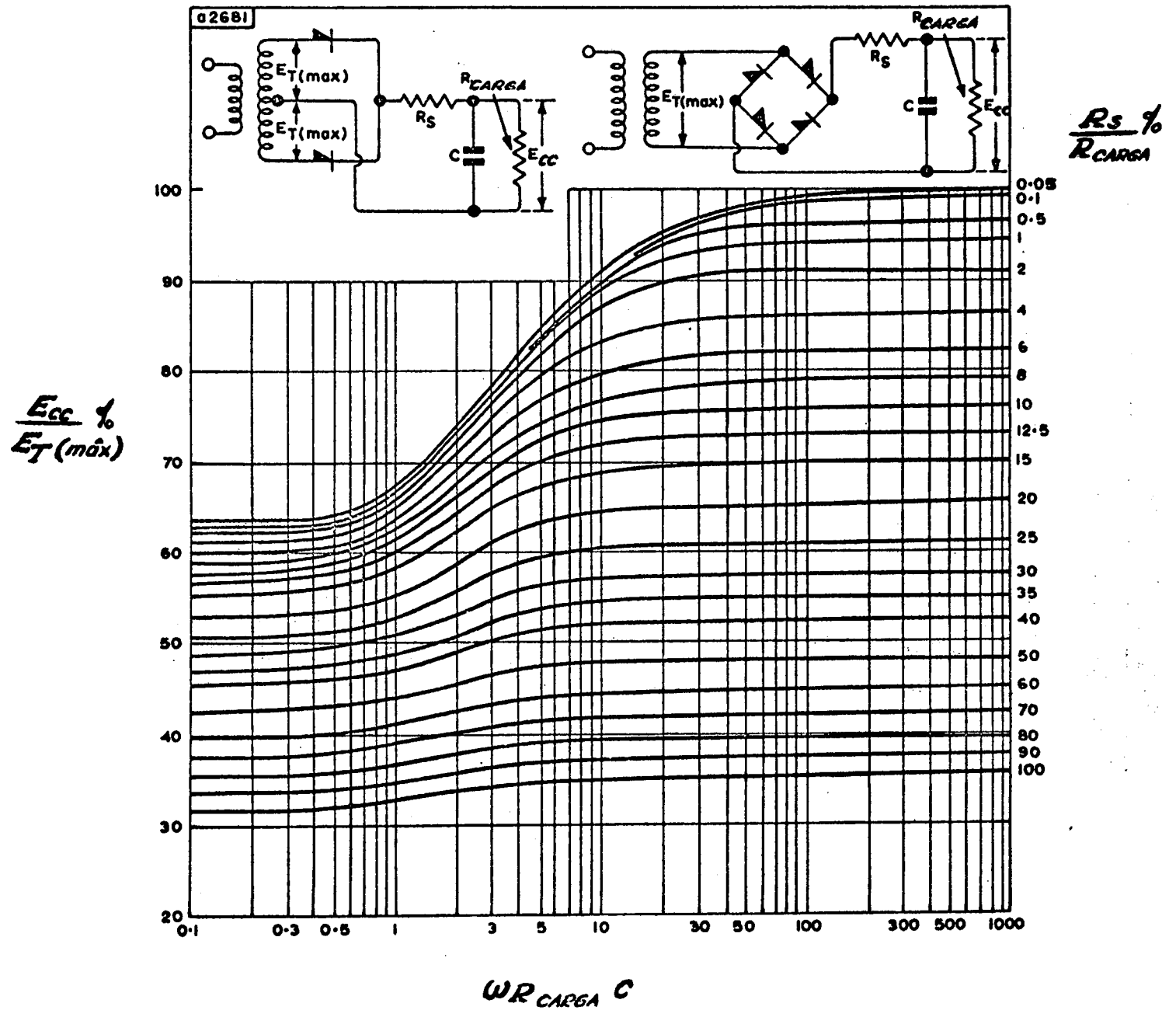


FIGURA III.-

$E_{cc}/E_T(max) \%$ - Como función de $\omega R_{carga} C$ para circuitos onda completa.

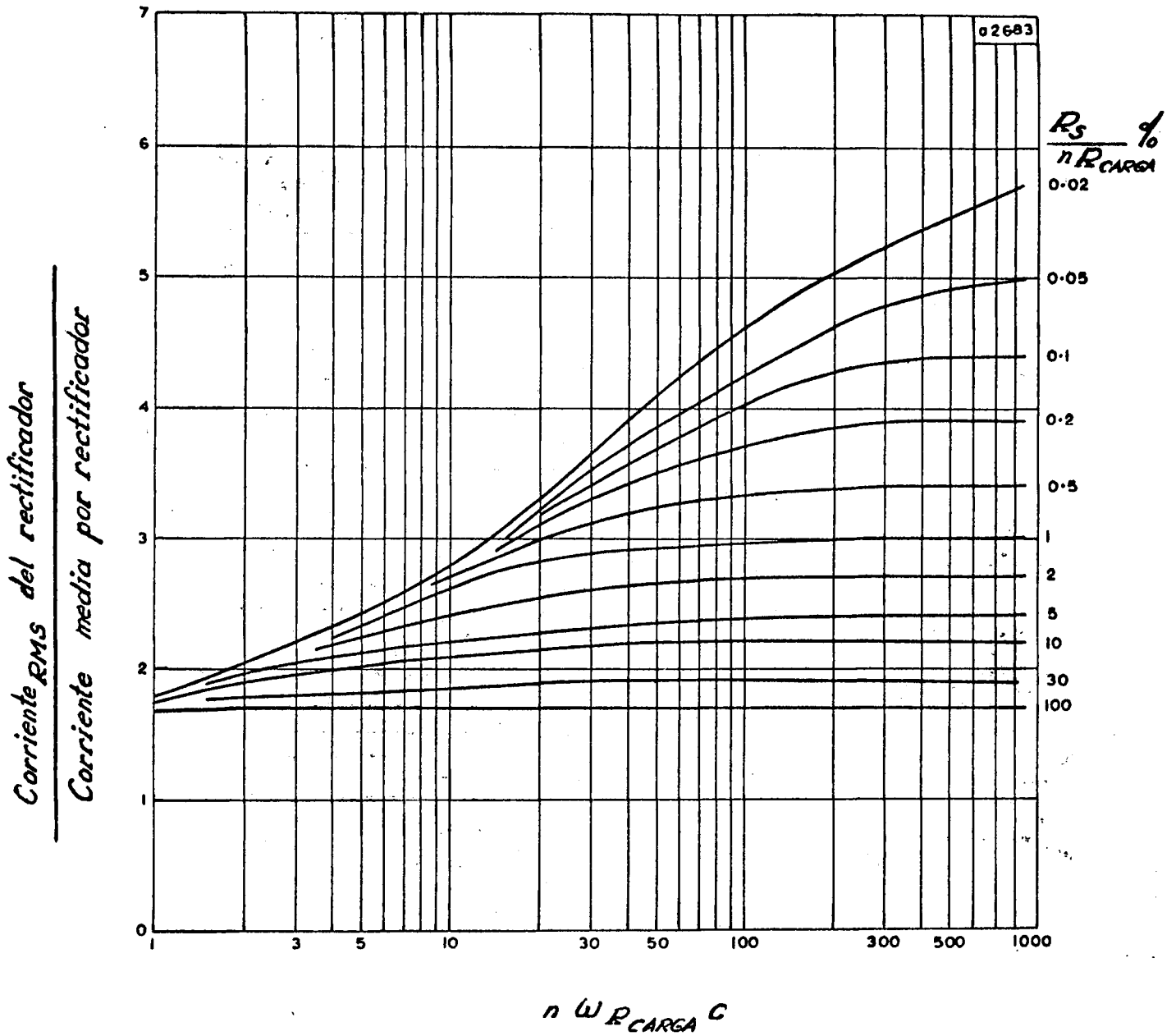


FIGURA 112.-

Gráfico de la relación $\frac{\text{corriente}_{\text{RMS}} \text{ del rectificador}}{\text{corriente media por rectificador}}$

vs. $n\omega R_C C$,
 $n = 1$ para media onda
 $n = 2$ para onda completa

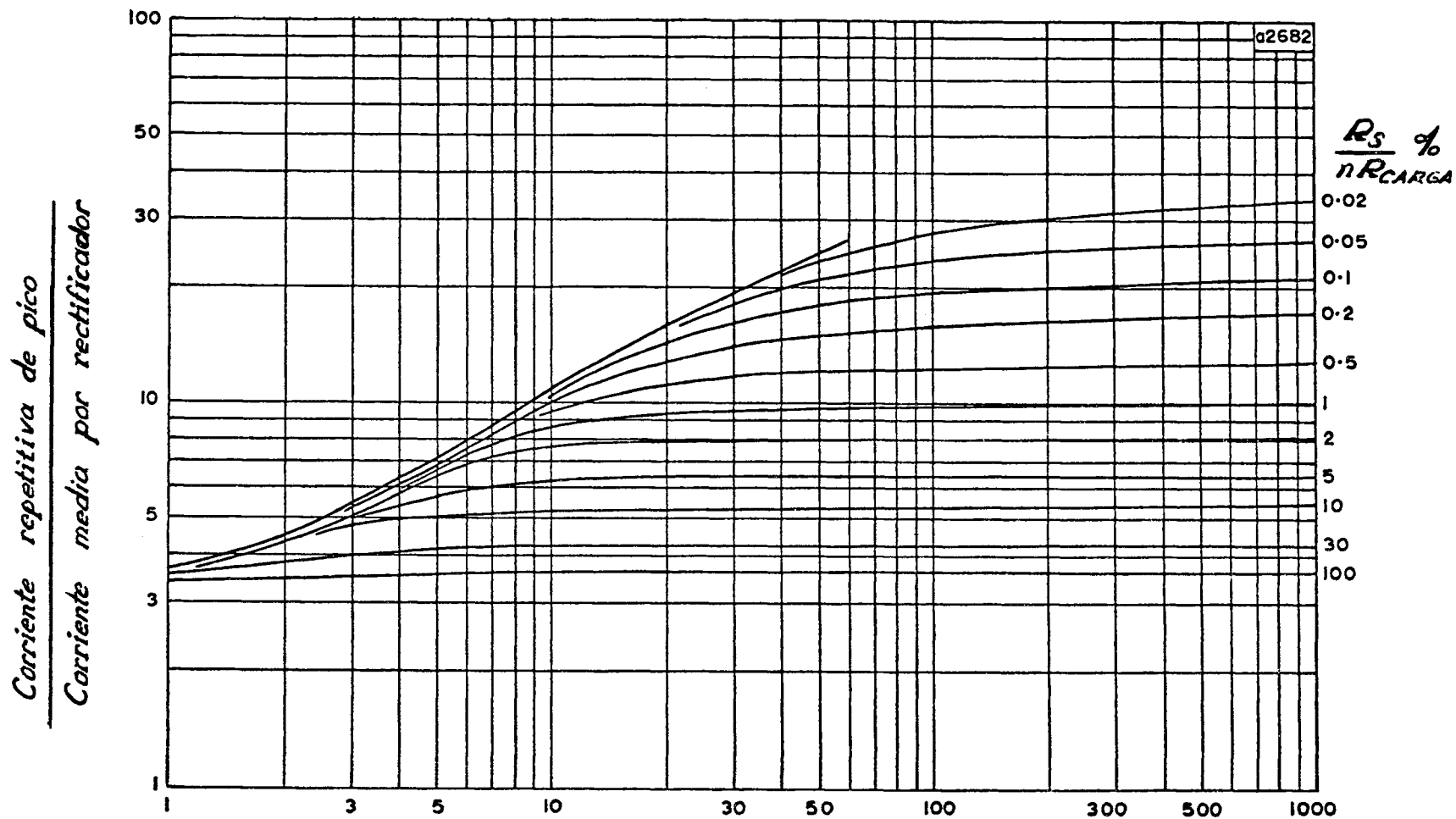


Figura 113.-

Relación $\frac{\text{Corriente repetitiva de pico}}{\text{Corriente media por rectificador}}$ vs. $nWR_{CARGA} C$.

f = frecuencia de línea.

$n = 1$ para media onda

$n = 2$ para onda completa

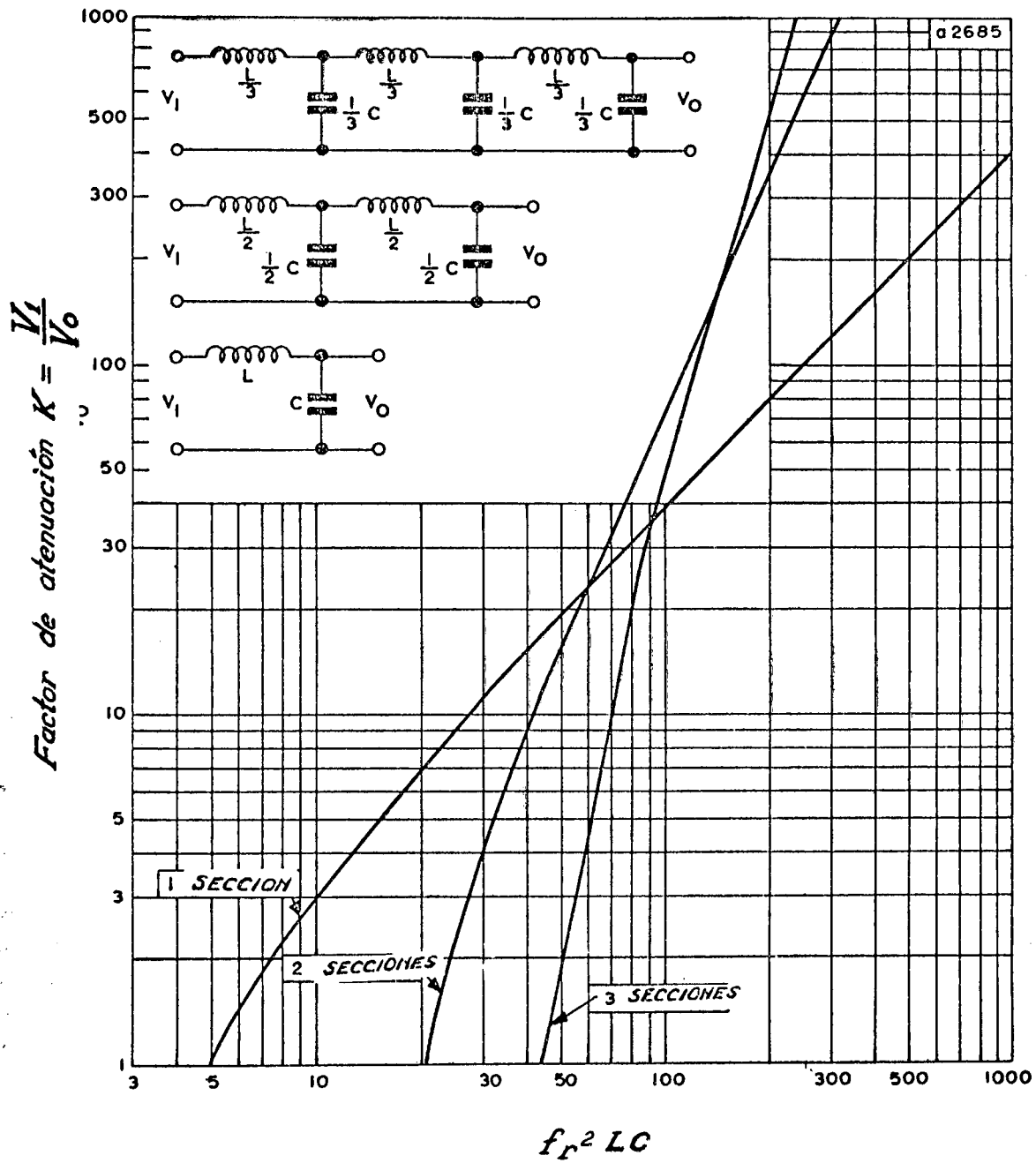


Figura 114.-

Características de filtros con inductor de entrada.
 L = henrios y C en μF

TABLA 2

COMPARACION DE CIRCUITOS DE ONDA COMPLETA

	Circuito Puentes F. 108	Circuito Derivación Central F. 107
No. de Rectificadores	4	2
Frecuencia de Ripple	$f_r = 2f$	$f_r = 2f$
Amplitud de Ripple	Pequeño comparado con circuito de me- dia onda	Pequeño comparado con circuito de media onda
Tensión Pico de Trabajo	E_T (máx)	$2 E_T$ (máx)
Eficiencia de Conversión	Mediana	Alta
Transformador	Regimen Vol -Amp. Secundario Bajo	Regimen Volt-Amp. Secundario Alto

CAPITULO 8

MISCELANEAS

8.1 Dilatometría

La dilatometría es en sí la medición de dilataciones que sufren los cuerpos cuando se los calienta.

En metalurgia estas medidas son de suma importancia puesto que permite obtener datos como ser transformación de fases.

No es una técnica simple puesto que un cambio de temperatura aunque sea pequeño afecta dimensionalmente a casi todos los materiales. Salvo algunos pocos especialmente fabricados por el hombre exhiben un coeficiente de dilatación nulo en cierto ámbito de temperatura.

Una forma simple de medir dilataciones es usar comparadores circulares que pueden apreciar 1/100 de milímetro.

El dispositivo puede ser como se muestra en la figura 125

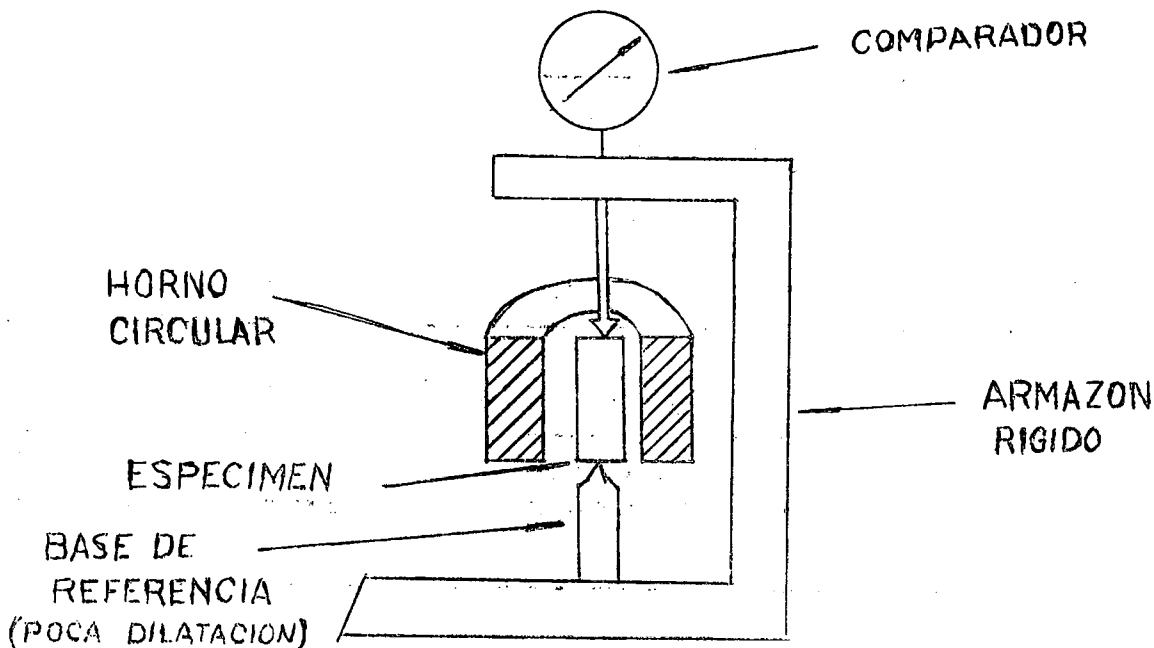


Figura 125

En este dilatómetro es necesario que el armazón que soporta todos los elementos sea bien rígido. El horno circular debe tener una muy buena aislación térmica y la base donde se apoya el espécimen debe tener una dilatación casi despreciable.

Si bien estos dilatómetros son útiles, el más usado y asimismo el más preciso es el de Chevenard.

Dilatómetro de Chevenard.

El principio de estos dilatómetros es mover un espejito en movimientos ortogonales. Este espejito refleja un haz luminoso el cual impresiona una placa sensible.

Esquemáticamente el registrador es como se muestra en la figura 126.

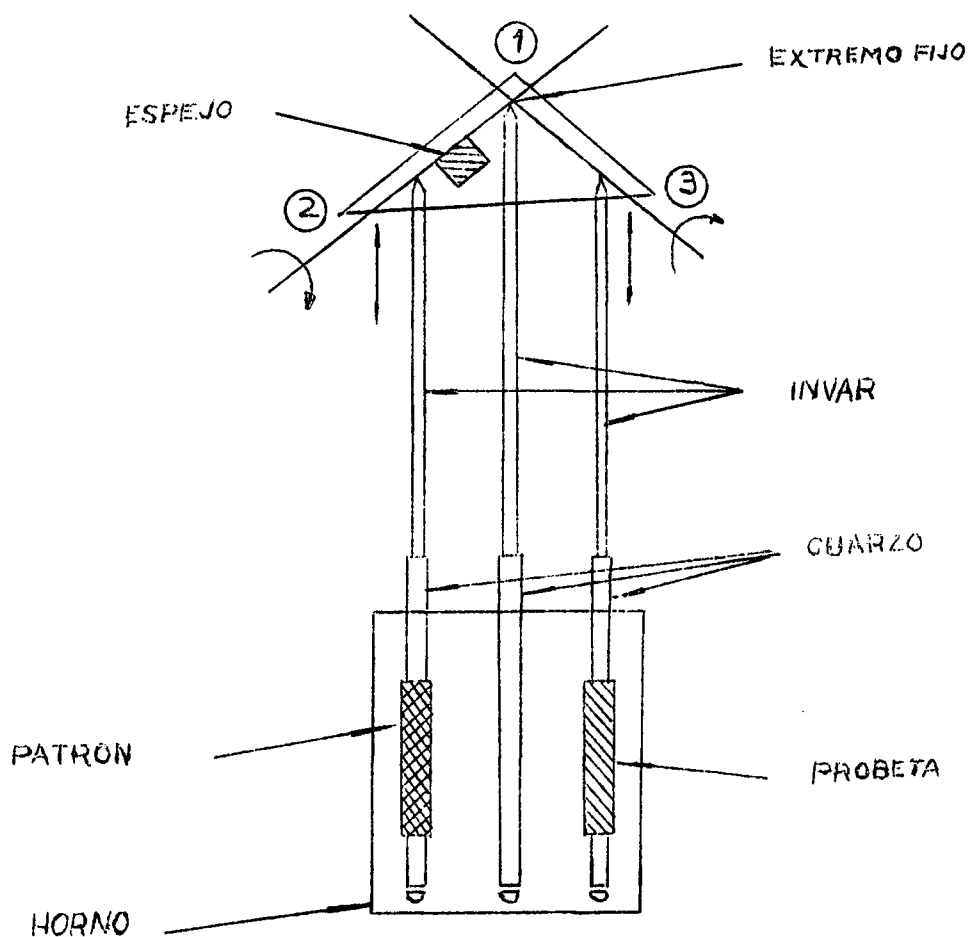


Figura 126

El dilatómetro consiste de un triángulo rectángulo constituido por una placa rígida. En el ángulo 1 se encuentra fijo pero capaz de moverse según los ejes 1-3 y 1-2. De esta manera habrán dos movimientos ortogonales con ejes 1-3 y 1-2.

La barra 2 es de un metal muy puro (en general níquel) cuyo coeficiente de dilatación se conoce y la barra 3 tiene incorporada la muestra a ensayar.

Se ubica el sistema de tal manera que la luz reflejada en el movimiento provocado por la dilatación de la barra 3 describe el eje de ordenadas.

De esta manera pueden hacerse gráficos Δl en función de T .

Como el mostrado en la figura 127.

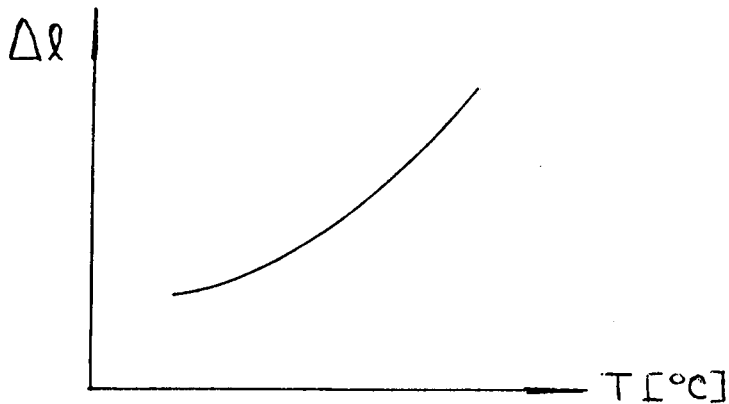


Figura 127

Cuando se realizan dilataciones isotérmicas el eje de abscisas será el eje de tiempos y los dilatómetros comerciales tienen un sistema de relojería que mueve la placa fotográfica.

8.2. Relevadores electromagnéticos.

Los relevadores electromagnéticos, también llamados "Relais" en francés y "Relays" en inglés, son sencillamente contactos eléctricos o "llaves" que pueden abrirse o cerrarse mediante un efecto magnético.

El esquema fundamental de un Relay es el que se muestra en la figura 128.

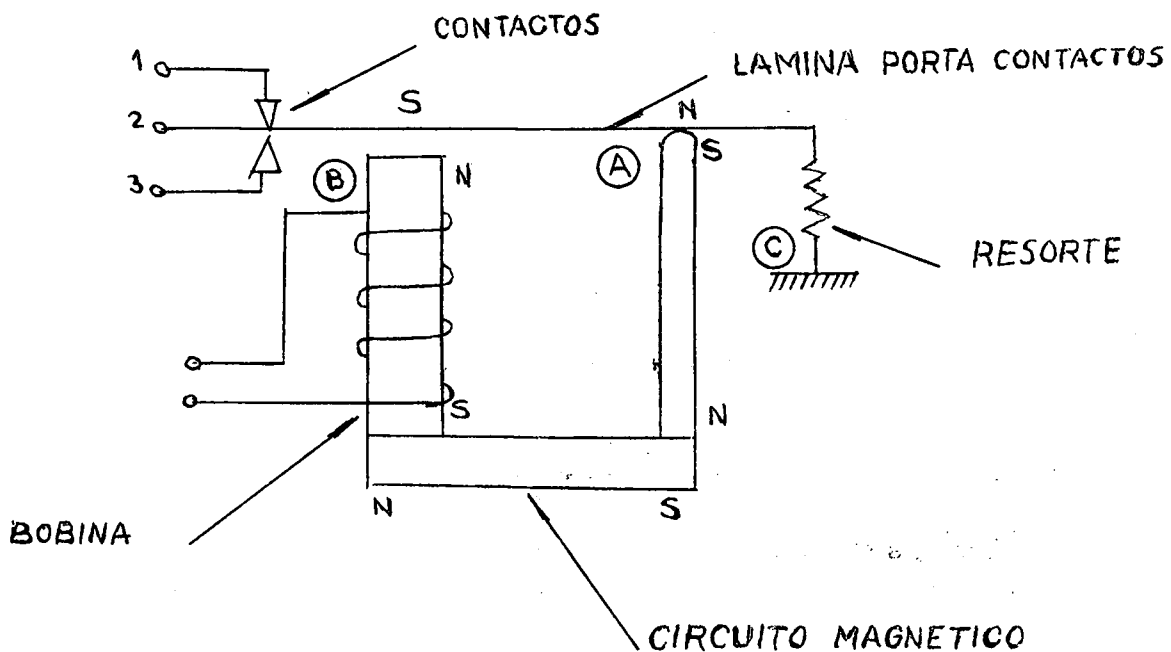


Figura 128

Es un circuito magnético en forma de $\cup$ cuyos materiales deban tener alta permeabilidad magnética. Una lámina portacontactos está articulado en A y obligado a dejar un entrehierro en B por la fuerza de un resorte C. Cuando a la bobina se le hace circular una corriente I se creará un campo magnético en el material que forma la armadura tal como se muestra con las letras N y S. se verá que en el entrehierro B hay dos polos magnéticos opuestos, por lo tanto serán atraídos y la lámina portacontactos tratará de hacer nulo el entrehierro. De esta manera se cerrarán los contactos 2-3 y quedará abierto el 1-2. Cuando se interrumpa la corriente que circula por la bobina, cesará el campo magnético y la acción del resorte C hará que la lámina se levante cerrando los contactos 1-2 y abriendo el 2-3.

Es evidente que hay relays mucho más complicados que el que se describe pero todos funcionan sobre la base del mismo principio. Cuando se especifica un relay o se considera la posibilidad de la utilización de un dispositivo como el descrito, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- a) si la bobina del relay va a ser energizada con corriente continua o alterna.
 - b) potencia, tensión, corriente que son necesarios para energizar el relay.
 - c) número de contactos, normalmente cerrados, normalmente abiertos y corriente capaz de circular por dichos contactos.
- a) Si bien todo relay de corriente continua puede funcionar con corriente alternada o viceversa, los hay especialmente diseñados para corriente continua, o especialmente para corriente alterna. Se aclara que todo relay para corriente alternada puede funcionar adecuadamente con ambas corrientes mientras que el de corriente continua se aconseja no usarlo en corriente alternada.
 - b) Si bien cuando se establece la tensión a la cual el relay "pega" los contactos y por consiguiente la corriente que toma de la fuente alimentadora se está dando implícitamente la potencia que consume, es necesario tomar en cuenta que: un mismo relay alimentado con corriente continua o con corriente alternada consume en ambos casos la misma potencia. Un relay alimentado con corriente alterna necesita de 1,5 a 4 veces más tensión que cuando se lo alimenta con corriente continua.

Generalmente los relays para corriente continua se fabrican con tensiones de trabajo de 6, 12, 24, 30, 100 y 200 v, tomando corrientes del orden de 5 a 50 mA.

Los relays para alimentar con corriente alternada se fabrican con valores de tensión de 6, 28, 50, 110, 220, 380 y 500 v tomando corrientes desde 5 a 500 mA.

- c) Debe especificarse en el uso de un relay si los contactos serán normalmente abiertos o normalmente cerrados. Se entiende por estado normal cuando no se excita la bobina del relay.

Un detalle muy importante es que los contactos que se cierran o abren tengan el tamaño y la presión adecuada para la corriente que deben interrumpir.

Tanto para los relays de continua como alterna es común que sus contactos (también llamados platinos) puedan interrumpir corriente desde 100 mA hasta 50 A.

Los relays más comunes poseen contactos para 1 a 5 amperes.

El tiempo de cierre o apertura de los contactos en los relays comunes es de 0,25 a 0,1 segundo; en los especiales (telefónicos) puede llegar a 0,01 seg.

La potencia consumida en los relays sensibles puede llegar a ser muy pequeña, del orden de los microvatios. Por ejemplo un relay de la casa "Kulman" el BK 35 pega, con corriente continua, con 2 a 3 voltios y tiene en su bobina 10.000 Ω de resistencia lo cual significa del orden de 500 microvatios de consumo y como puede manejar en sus contactados 1 amperio en 220 voltios es decir 220 vatios, la "ganancia" o amplificación de potencia resulta del orden de 500.000; los relays son excelentes aplicadores "on-off".

Ejemplo de especificación.

Se necesita un relevador que cierre tres contactos y que la corriente que circula por cada contacto sea, como máximo, 2 A.

Se dispone para energizarla de 6 a 8 volts con una corriente máxima de 500 mA (corriente continua).

El relay debe especificarse de la siguiente forma:

Un relevador: para 6 v 100 mA Corriente continua.

Contactos: 3 normalmente abiertos para 2,5 a 5 amperes.

8.3 Soldadora por descarga de capacitor.

Este método es sencillo para realizar soldaduras de alambres entre sí o alambres a placas. La sección del alambre que se puede soldar depende de la capacidad del soldador. En esencia esta máquina no es otra cosa que un "banco" de capacitores que se cargan con una tensión dada y se descargan casi instantáneamente en el momento de la soldadura.

La energía almacenada en un capacitor es $U = \frac{1}{2} C V^2$

siendo C la capacidad y V la tensión a la cual está cargado el capacitor. Por lo que se ve, la energía es directamente proporcional a la capacidad y proporcional al cuadrado de la tensión.

Un esquema de esta máquina de soldar se muestra en la figura 129.

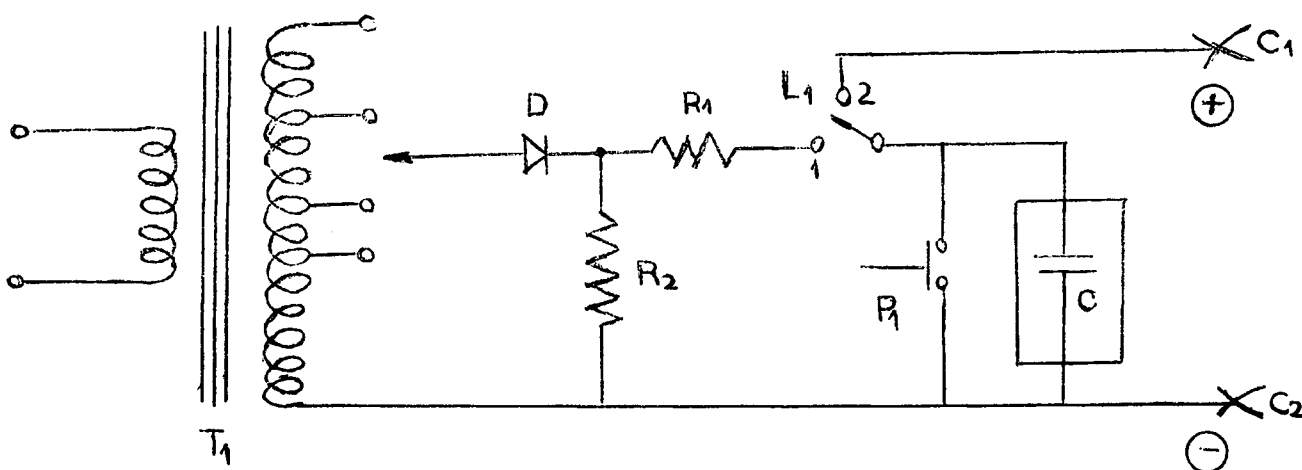


Figura 129

El transformador T_1 da la posibilidad de elegir una relativa variación de tensión. El diodo D tiene por misión rectificar la corriente alterna. R_2 es una resistencia de alto valor y sirve para que la fuente no quede en "vacío". La resistencia R_1 limita la corriente de carga del banco de capacitores simbolizada por C .

Con la llave L_1 se conecta el banco a la fuente para carga o al clip C_1 para soldar. El pulsador P_1 sirve para seguridad. Se lo oprime para descargar los capacitores cuando éstos no están conectados a la fuente.

El banco de capacitores son combinaciones serie, paralelo de los mismos para obtener mayor capacidad o menor y también distintos valores de tensión. Generalmente este banco de capacitores está hecho con los clásicos capacitores electrolíticos de los usados en electrónica. Una serie de llaves permite cambiar la configuración del banco de capacitores.

Procedimiento de soldadura.

Se conecta el equipo a la línea de alimentación, se pone la llave L_1 en la posición 1. Se selecciona en el banco de capacitores un valor adecuado de capacidad (previamente deben hacerse experiencias de calibración de capacidad y tensión en función de diámetro de alambre a soldar). Se conecta el clip C_2 o la chapa o a uno de los alambres y el clip C_1 al otro alambre. Después de un par de minutos o algo más se estima que los capacitores están cargados. Para efectuar la descarga en la soldadura se pasa la llave L_1 a la posición 2.

Estos equipos tienen a veces indicadores de carga de capacitores y otras complicaciones para mayor eficiencia y seguridad.

Tienen el inconveniente de ser peligrosos puesto que se trabaja con capacitores de más de $500 \mu F$ y tensiones que oscilan entre los 200 y 400 volts.

Se aconseja, antes de tocar con las manos los clips C_1 y C_2 cuando la llave L_1 está en la posición 2, oprimir varias veces el pulsador P_1 e incluso mantener los clips en cortocircuito cuando no se suelda.

8.4 Pila Weston.

La celda de cadmio desarrollada por el Dr. Edward Weston en 1893 y universalmente conocida como Pila Weston, es usada en casi todo el mundo como patrón primario y secundario de F. E. M.

La pila Weston se fabrica en 2 tipos principales: la celda normal que contiene una solución de sulfato de cadmio saturada y otro tipo usada como patrón para trabajos en la cual la solución está algo menor que saturada sobre los $4^{\circ} C$.

Un esquema de la pila Weston puede verse en la figura 130.

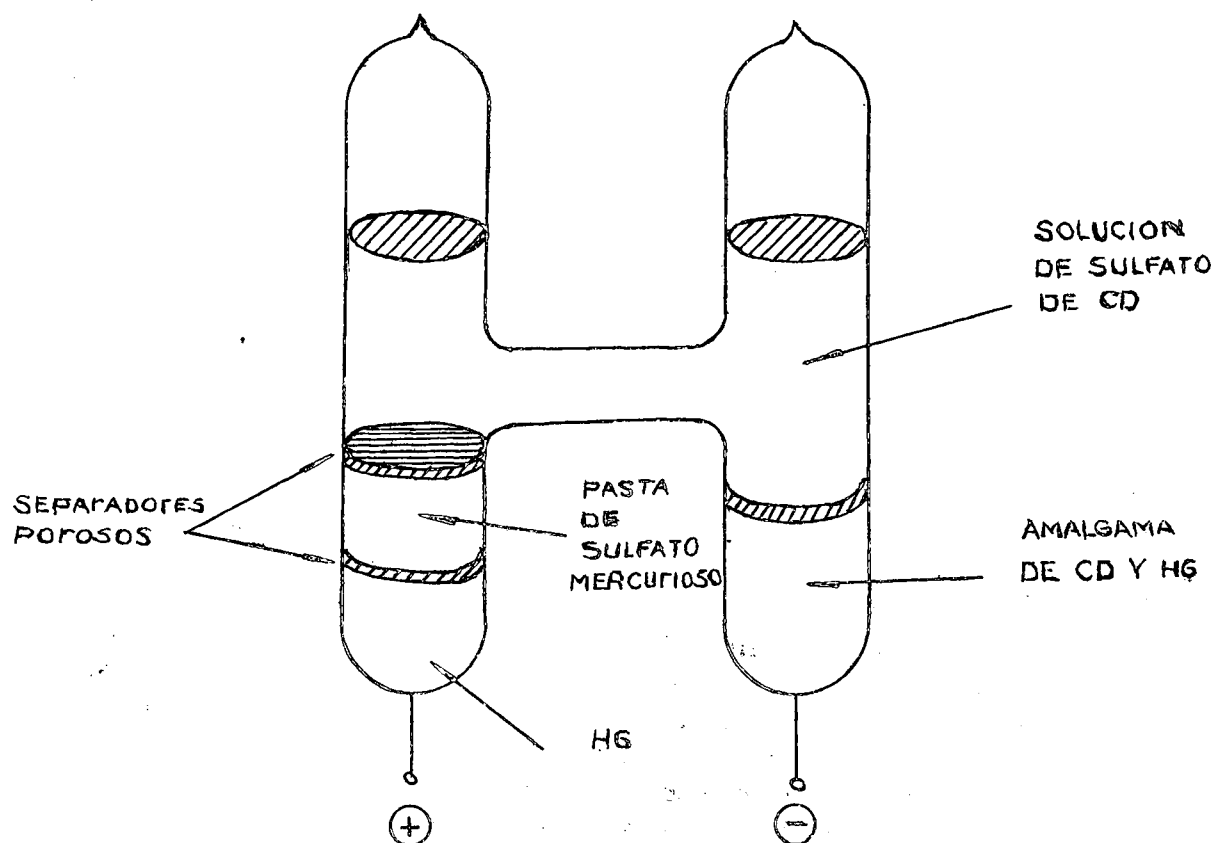


Figura 130

Esta pila tiene un valor de tensión de 1,018636 Volts absolutos a 20 ° C. Debido a que tiene un coeficiente de temperatura relativamente elevado es necesario hacer las mediciones a esa temperatura o a la de su calibración.

Esta pila posee otro inconveniente que es: no se le puede tomar corrientes superiores a unas pocas decenas de nA, por lo tanto en su medición deben usarse métodos potenciométricos o instrumentos de muy alta impedancia de entrada (más de 10 M Ω).

8.5 Extensómetros o Strain Gages.

Los extensómetros o comúnmente llamados Strain Gages son en esencia resistencias eléctricas especiales.

Dentro de la calificación de especiales hay que considerar varios aspectos:

- 1) Se los usa para medir dilataciones o contracciones muy pequeñas, dentro del ámbito elástico del material que las compone.
- 2) Su construcción y uso son delicados.

Consta esencialmente de un hilo metálico sumamente delgado dispuesto en la forma que se muestra en la figura 131.

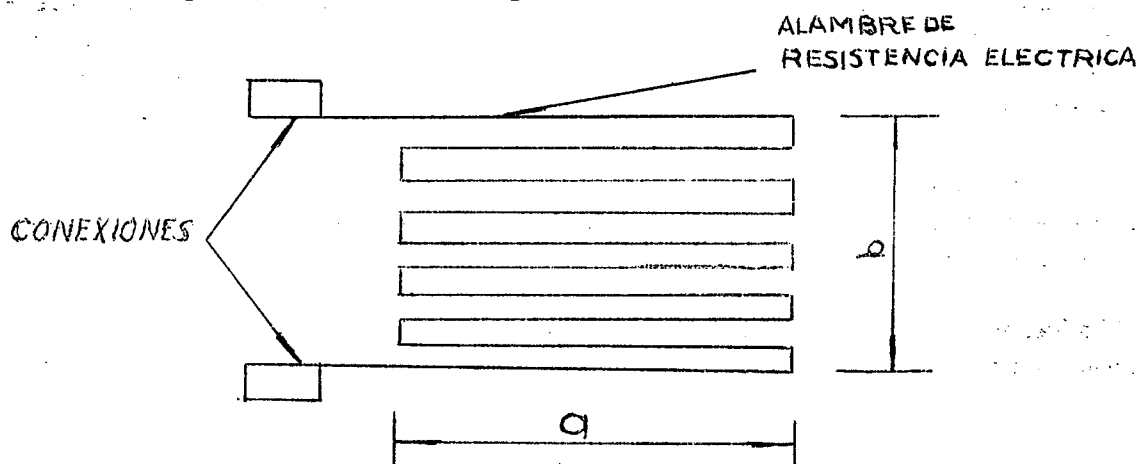


Figura 131

Pueden llegar a ser tan pequeños que la dimensión b sea de 0,5 mm y la de a de 0,8 mm.

Cuando se desea saber la dilatación de una pieza se "pega" con un cemento especial, sobre la pieza, el strain gage de manera que la dimensión a esté en el sentido de dilatación. De esta manera cuando la pieza se dilate el hilo del strain gage se estirará y cambiará su resistencia ohmica. Es necesario pues tener un

puente (wheatstone) para medir su resistencia y relacionarla con el estiramiento. Estos dispositivos vienen dentro de una película sintética que es la que se fija en el lugar de la medición.

8.6 Transductores.

Se denomina transductor o "transducer" a aquellos elementos que son capaces de transformar un tipo de energía en otro sin que se les suministre una tercera energía para su funcionamiento.

El ejemplo clásico de un transductor es un cristal piezo eléctrico (cristal de cuarzo) que tiene la propiedad de cambiar de forma cuando a dos de sus caras (caras enfrentadas) se les aplica un potencial eléctrico variable. Este fenómeno se utilizó durante mucho tiempo y aún hoy se utiliza para construcción de micrófonos y cápsulas fonocaptoras.

Así por ejemplo, en un micrófono de cristal, la energía acústica del sonido se transforma en energía eléctrica. Los más modernos llegan a superar los 300 mV.

Un parlante es un caso típico de un transductor. Al mismo le llega una señal eléctrica y el parlante la transforma en acústica emitiendo música, o la voz.

Un transductor que transforma luz en electricidad son las células fotoeléctricas (no confundir con fotorresistores). Los compuestos de litio, cesio y selenio tienen la propiedad de hacer circular una corriente (de unos pocos nanoAmperes) por un circuito a ellos anexo, cuando se los ilumina con una intensidad determinada.

Un transductor es también una termocupla pues genera electricidad con diferencia de temperaturas. Hay transductores que transforman variaciones mecánicas en variaciones de inductancia.

Muchas veces los transductores son usados para realizar mediciones y cuando se deba usar uno de ellos es necesario tener toda la información necesaria y leerla con sumo cuidado.

En la gran mayoría son dispositivos delicados y costosos que suelen arruinarse o destruirse cuando el uso no es adecuado.

8.7 Soldadura metal vidrio-metal cerámica.

El problema más serio que se presenta en la soldadura metal-vidrio es que ambos tienen un coeficiente de dilatación muy distinto y por lo tanto cuando la soldadura se enfría el metal se contrae y despegas del vidrio.

El método más sencillo para soldar un tubo metálico o un tubo de vidrio Pyrex es el de "Housekeeper".

El tubo metálico debe ser de cobre O.F.H.C. (Oxygen Free High Conductivity). El tubo de Cu se rebaja internamente hasta un par de décimos de espesor. Se colocan dos anillos de pyrex fundidos, uno interno y otro externo, sobre el tubo de Cu y luego se acerca el tubo de vidrio. Se calienta toda la juntura con un soplete y la soldadura queda hecha.

Esquemáticamente se muestra en la figura 132.

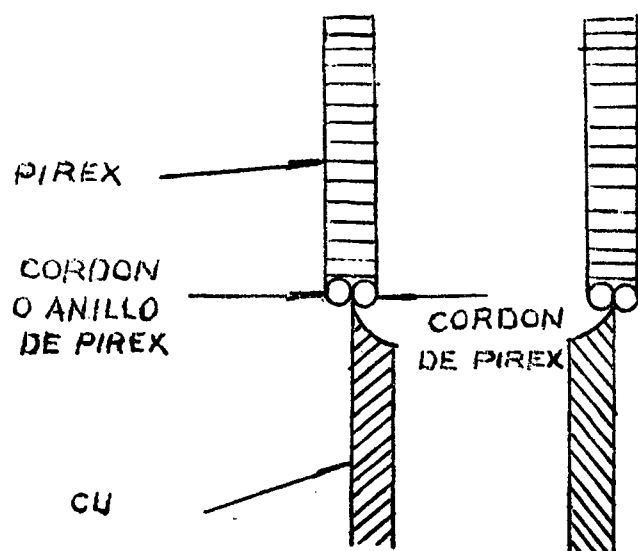


Figura 132

Se han desarrollado aleaciones con coeficiente de dilatación muy parecidas al Pyrex.

El Du-metal es un par de metales Ni interno y Cu externo (suelta con vidrio blando sódico).

Se ha desarrollado una aleación cuyo coeficiente de dilatación es muy parecido al pyrex que es el Kovar (aleación Fe-Ni).

Cuando hay que soldar Pyrex con Cuarzo hay que fabricar el material de aporte. Dicho material se obtiene haciendo mezclas de diversos porcentajes de Pyrex y de Cuarzo. Se comienza por 10-90 hasta terminar en 90-10. Luego se funden todas las mezclas y se hacen varillas del orden de 2 a 3 mm de diámetro. Estas varillas se usan como material de aporte.

Hay otra soldadura que para este caso funciona en muy buenas condiciones que es el Pyrex-Mullita. Esta última es una cerámica de alto punto de fusión 1800°C.

8.8. Mediciones de Aislación - Megómetro.

Los problemas de aislación al comienzo del funcionamiento de un sistema eléctrico no suelen ser muy graves. El problema se presenta a medida que transcurre el tiempo.

Supongamos una línea de transmisión de energía para un motor 3 x 380 v.

Si inicialmente cada uno de los conductores entre sí y con tierra tienen una aislación del orden de $10 \text{ M}\Omega$ la corriente que circulará por la aislación será del orden de los $40 \mu\text{A}$ y se disipará una potencia $0,015 \text{ w}$. Si las condiciones no variaran prácticamente no existiría problema alguno.

Suele suceder casi siempre que en estas condiciones la pequeña potencia que se disipa produce un calentamiento que hace disminuir la aislación; este hecho hace que circule más corriente y por consecuencia haya mayor disipación, mayor calentamiento, lo cual hará bajar la aislación. Este proceso al comienzo es lento pero luego se acelera rápidamente y determina que se produzca un cortocircuito.

Se presenta también el problema que la aislación es función de la tensión que se aplique para medirla por lo cual es totalmente falsa dicha medición realizada con un ohmetro que trabaja con pocos voltios.

Para realizar correctamente la medición hace falta hacerla "por lo menos" a la tensión de trabajo del sistema.

Para ello se han desarrollado los Megómetros que son un óhmetro construido como para medir hasta varios cientos de $\text{M}\Omega$ y que poseen interna una fuente de unos 500 v. La fuente de alta tensión puede ser mecánica, con un dínamo que se mueve a mano o transistorizadas las más modernas.

8.9 Puentes de medición

Se han desarrollado unos circuitos eléctricos para medición de características y propiedades eléctricas de materiales, que se los ha llamado "puentes".

El circuito fundamental puede verse en la figura 133.

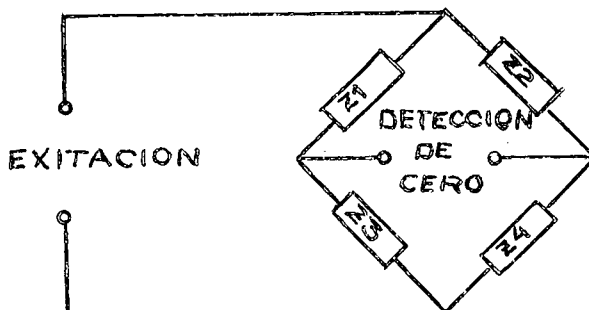


Figura 133

Para todos los circuitos puente las ecuaciones fundamentales son:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad \text{o también}$$

$$\frac{Z_1}{Z_3} = \frac{Z_2}{Z_4}$$

En este caso se pusieron impedancias (Z) en las ramas del puente para hacerlos genéricos. En cualquier puente cuando se lo excita con una tensión (continua o alterna según el caso) y se cumplen las condiciones antes mencionadas, el detector de cero no indicará desequilibrio en el sistema.

Medición de Resistencias.

Para este fin se utiliza el puente de Wheatstone, Fig. 134. La excitación para este puente puede ser continua o alternada (siempre y cuando las resistencias sean no inductivas).

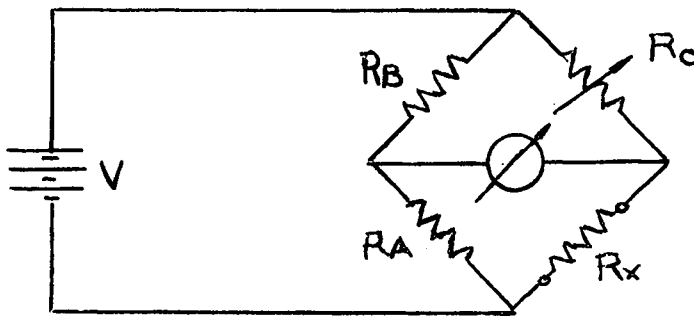


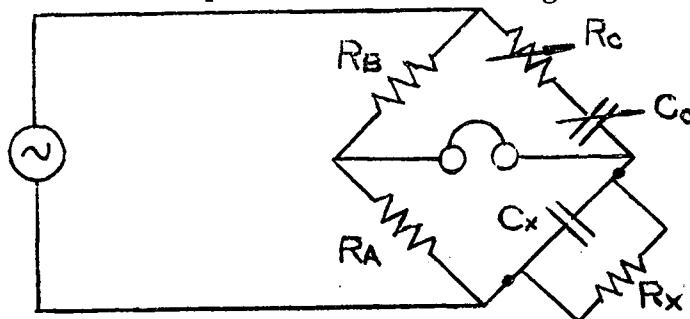
Figura 134

Las resistencias R_A , R_B , R_C , son conocidas mientras que R_X es la que se desea medir.

La ecuación de este puente es: $R_X = \frac{R_A}{R_B} \cdot R_C$

Puente de Wien

Puede verse esquemáticamente en la figura 135.



En este caso es necesario alimentar al puente con una tensión alternada. Es conveniente para estos casos utilizar una frecuencia de aproximadamente 1000 c/s.

En este caso se pueden medir capacidades (C_x) y la resistencia de pérdidas de la capacidad (R_x).

Las ecuaciones de este puente son:

$$R_x = \frac{R_B}{\omega^2 C_x^2 R_A R_C} \quad C_x = \frac{R_B C_C}{R_A}$$

Puente de Maxwell

Esta configuración es la óptima para medir inductancias y su resistencia de pérdidas.

En nuestro caso L_x y R_x . Este puente puede verse en la figura 136

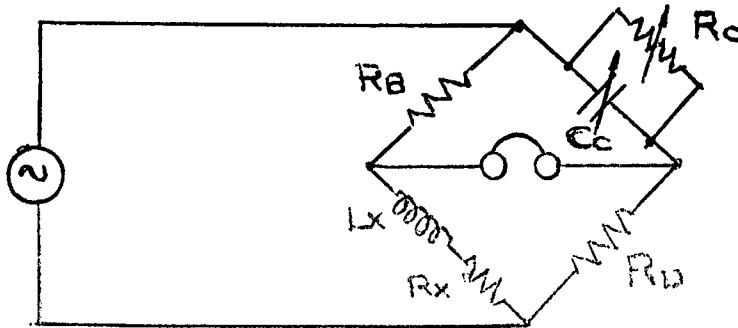


Figura 136

También es necesario alimentar este puente con corriente alternada. Las ecuaciones de este puente son:

$$L_x = R_D C_C R_B \quad R_x = \frac{R_D}{R_C} \cdot R_B$$

Es importante aclarar que éstos son circuitos básicos y que los puentes comerciales tienen complicaciones para asegurar mayor precisión, sensibilidad y protecciones contra desequilibrios violentos. En todos los casos que se deban usar puentes para medición es muy aconsejable leer las instrucciones y circuitos simplificados que el fabricante muestra en el manual.

Con ciertos cuidados de armado y calidad de componentes estos puentes pueden medir con precisiones mayores que el 1% en aparatos comerciales. En los modelos de laboratorio se puede llegar a 0,0001 %.

8.10 Fusibles

Modernamente todos los equipos electromecánicos, eléctricos y electrónicos, como así también todas las instalaciones eléctricas bien hechas llevan un sistema de protección que se denomina genéricamente "fusible".

En los orígenes estos sistemas de protección eran simplemente un hilo de Cu, Pb o Ag dimensionado en su sección como para que pudiera soportar sin "quemarse" o "fundirse" con la corriente nominal el funcionamiento del sistema, pero capaces de interrumpir el pasaje de la corriente si ella era de valor mayor al nominal.

Actualmente hay fusibles de muchos tipos entre los cuales pueden mencionarse: Fusibles convencionales, fusibles semi-rápidos, fusibles ultra-rápidos, fusibles electromagnéticos, fusibles termo-magnéticos, fusibles electrónicos.

a) Fusibles convencionales: son un trozo de conductor de los ya mencionados o a veces otros, calculado su diámetro como para que con la corriente nominal su temperatura sea la temperatura ambiente. Estos fusibles solamente protegen contra cortocircuitos violentos. Además de la dimensión y forma física (que son muy variadas) estos fusibles se los especifica por un valor de corriente que es aquella a la cual el fusible todavía está "frío". Para mayor corriente el fusible comenzará a calentarse y finalmente se fundirá. A medida que aumenta la corriente nominal de funcionamiento estos fusibles soportan menos sobrecargas.

Se los puede adquirir fácilmente con valores desde 1/4 de A (250 mA) hasta varios cientos y hasta miles de Amperes.

Es normal que un fusible de hasta 1 A pueda soportar sobrecargas del 100% sin quemarse.

Se da a continuación una fórmula que permite calcular fusibles de este tipo y con un poco de experimentación pueden lograrse los semi-rápidos y hasta los ultra-rápidos que se describirán más adelante.

La corriente de fusión de un hilo delgado está dada por $I = \alpha d^{3/2}$

Siendo α un coeficiente propio del material y d el diámetro del alambre usado.

A continuación se da una pequeña tabla de valores de

Material		Material	
Aluminio	59,3	Plata	69
Cobre	80	Estaño	13,91
Plomo	10,75	Hierro dulce	24,62
Plomo-estaño (2 a 1 partes)	10,27		

- b) Fusibles semi-rápidos: estos fusibles se los diseña de manera tal que una sobrecarga relativamente pequeña los funda y en un tiempo relativamente corto. Generalmente no soportan sobrecargas superiores al 50 a 75%.

Algunas veces se les coloca un pequeño resorte que tensiona el hilo y otras veces en vez de usar hilo se usa una lámina cuya sección disminuye a la mitad aproximada en la mitad de su longitud. Tal como se muestra en la figura 137



Figura 137

- c) Fusibles ultra-rápidos: Generalmente tienen tiempo de ruptura del orden de las decenas de milisegundos y no soportan sobrecargas mayores del 25% a 50%. El hilo trabaja unos 30 a 50 grados sobre la temperatura ambiente y poseen 1 ó 2 resortes que lo tensionan. Cuando la corriente aumenta de la nominal el hilo se calienta, como está tensionado se estira y disminuye en algún punto su sección, produciéndose en ese lugar mayor calentamiento y un proceso regenerativo.

Generalmente tienen el aspecto de la figura 138

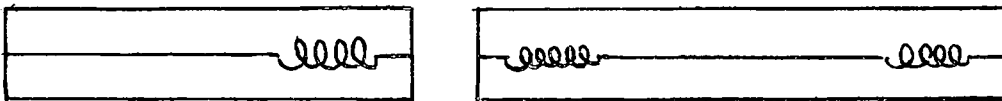


Figura 138

- d) Fusibles electromagnéticos y termomagnéticos: Estos tipos de fusibles son llaves accionadas por efectos magnéticos o térmicos producidos por la misma corriente que interrumpen. Tienen la ventaja sobre los anteriores que no se destruyen cuando se accionan en funcionamiento. Para establecer nuevamente el paso de la corriente es necesario accionar la llave. Generalmente estos fusibles son para corrientes superiores a los 5 amperes. Tienen un accionamiento lento por sobrecargas y sólo accionan violentamente ante un cortocircuito.

e) Fusibles electrónicos: Estos fusibles son todo un complejo circuito electrónico . Se los usa para proteger fuentes controladas y/o estabilizadas , sobre todo cuando se utilizan semi-conductores , puesto que los mismos no soportan sobrecargas mayores del 5% y tienen un tiempo de destrucción menor de la décima de milisegundo .

NOTA: Es necesario, para el buen funcionamiento de un equipo o de una instalación, averiguar los motivos que hicieron accionar el fusible protector . No es conveniente reponerlo simplemente cuando se "quema" porque puede dañarse el equipo si ello se hace repetidas veces y el motivo del accionamiento es un defecto del equipo.

Recuérdese, antes de reponer un fusible, averíguese la causa de su accionamiento.

I N D I C ECAP . PUNTO

Amperímetro de corriente alternada	1	10
Amperímetro de corriente continua	1	9
Bajas presiones Concepto	5	1
Bajas presiones Medición	5	5
Bombas difusoras	5	4
Bombas mecánicas- De pistón- rotativas	5	2
Bombas mecánicas con líquidos	5	3
Cálculo aproximado de un horno eléctrico para laboratorio	4	
Cálculo de una fuente de corriente continua	7	12
Calibración de termocuplas	2	7
Circuitos de aplicación de semi-conductores	7	13
Circuitos integrados	7	11
Compensación de termocuplas para instrumento de lectura	2	5
Construcción del punto frío	2	4
Construcción de termocuplas	2	2
Control de hornos	3	5
Corrección de temperatura en diodos Zener	7	4
Corrientes de Foucault	6	7
Detección de fugas en vacío	5	7
Determinación de composición por ensayo termoeléctrico	6	5
Determinación de resistencia interna del instr.D'Arsonval	1	8
Dilatometría	8	1
Diodos Zener	7	3
Distintos tipos de hornos	4	1
Efecto Thomson-Peltier y Seebeck	2	1
Ensayo de dureza	6	6
Ensayos no destructivos	6	
Ensayos magnéticos	6	2
Exactitud del Instrumento	1	5
Extensómetros	8	5
Foto-resistores	7	9
Fusibles	8	10
Galvanómetro	1	7
Gammagrafía	6	1
Hornos Arco	4	7
Hornos eléctrico	4	2
Hornos grafito	4	5
Hornos inducción	4	8
Hornos de soplete	4	6
Hornos de tantalio	4	3
Hornos de tungsteno	4	4
Impedancia de entrada de un instrumento	1	15
Instrumento básico de medición eléctrica	1	2
Juntura P-N	7	1
Leyes fundamentales	1	1
Manómetros	5	6
Medición de aislación	8	8
Medición de tensiones alternas	1	12
Metales usados para termocuplas	2	3

	<u>CAP. PUNTO</u>	
Ohmetro	1	13
Pinza amperométrica	1	17
Pirómetros ópticos	2	8
Potencia consumida por un instrumento	1	4
Potenciómetro automático	3	2
Potenciómetro. Principio de funcionamiento	3	1
Puentes de medición	8	9
Registradores	3	3
Relevadores electromagnéticos (Relays)	8	2
SCR diodos controlados	7	7
Semiconductores P y N	7	1
Sensibilidad de un instrumento	1	3
Símbolos de instrumentos	1	6
Sistemas de escritura	3	4
Sistemas de seguridad	3	6
Soldadura por descarga de capacitor	8	3
Soldadura metal-vidrio	8	7
Termistores	7	10
Tester	1	11
Tintas penetrantes	6	3
Transductores	8	6
Transistores	7	5
Transistores de efecto de campo	7	6
Transistores de unijuntura	7	8
Ultra-sonido	6	4
Vainas para termocuplas	2	4
Voltímetro	1	11
Voltímetros electrónicos	1	16
Weston (pila)	8	4