



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

**“OPTIMACION DE TRANSDUCTORES
ELECTRICOS” UN CASO PRACTICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N

ESPITIA HERNANDEZ MISAEL

SANCHEZ DE LA VEGA Y GONZALEZ MIGUEL

AYALA TELLEZ JAIME

DIRIGIO

ING. ANTONIO HERRERA MEJIA

MEXICO, D. F.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE

CAPITULO I

CLASIFICACION DE LOS TRANSDUCTORES

| | Página. |
|---------------------------------------|---------|
| 1.1.- Definición. | 3 |
| 1.2.- Principales Parámetros. | 5 |
| 1.3.- Métodos Selección. | 9 |
| 1.4.- Usos Prácticos (Tabla 1) Entre. | 12-13 |

CAPITULO II

DISPOSITIVOS DE MEDICIONES ELECTRICAS

| | |
|--------------------------------|----|
| 2.1.- Descripción. | 13 |
| 2.2.- Galvanómetro. | 14 |
| 2.3.- El Puente de Wheatstone. | 18 |
| 2.4.- El Voltímetro. | 23 |
| 2.5.- El Osciloscopio. | 26 |

CAPITULO III

TRANSDUCTORES DE FUERZA

| | |
|-------------------|----|
| 3.1.- Descripción | 28 |
|-------------------|----|

| | | |
|--------|---|----|
| 3.2.- | Indicador de Fuerza Soldado. | 31 |
| 3.3.- | Indicador de Fuerza No Soldado. | 33 |
| 3.4.- | Errores por Diferencia de Temperatura. | 38 |
| 3.5.- | Transformador Diferencial con Variación Lineal. | 42 |
| 3.6.- | Potenciómetro de Movimiento Lineal. | 46 |
| 3.7.1- | Transductores de Fuerza de uso específico. | 52 |
| 3.7.2- | Acelerómetro con LVDT | 52 |

CAPITULO IV TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

| | | |
|-------|-----------------------------|----|
| 4.1.- | Descripción. | 55 |
| 4.2.- | Cintas Bimetálicas. | 55 |
| 4.3.- | Termistores. | 57 |
| 4.4.- | Termómetros de Resistencia. | 59 |
| 4.5.- | Termopares. | 61 |
| 4.6.- | Pirómetros de Radiación. | 64 |

CAPITULO V TRANSDUCTORES DE PRESION Y GASTO

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 5.1.- | Descripción | 67 |
| 5.2.- | Medidor Térmico. | 68 |
| 5.3.- | Medidor de Termopar. | 69 |
| 5.4.- | Medidor Pirani. | 70 |
| 5.5.- | Medidor Por Ionización. | 71 |
| 5.6.- | Medidor de Puelle. | 73 |
| 5.7.- | Medidor Tipo Bourdón. | 74 |
| 5.8.- | Medidor de Diafragma. | 75 |
| 5.9.- | Rotámetros. | 77 |
| 5.10- | Medidor de Flujo de Turbina. | 78 |
| 5.11- | Medidor Magnético de Flujo. | 80 |
| 5.12- | Anemómetro de Alambre Caliente. | 81 |

CAPITULO VI TRANSDUCTORES LUMINOSOS Y DE RADIACION

| | | |
|-------|----------------------------------|----|
| 6.1.- | Descripción. | 82 |
| 6.2.- | Transductores de Sonido. | 84 |
| 6.3.- | Transductores de Vibraciones. | 88 |
| 6.4.- | Sensores de Luz Fotoemisores. | 90 |
| 6.5.- | Sensores de Luz Fotoconductores. | 93 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 6.6.- | Sensores de Luz Fotovoltaicos. | 95 |
| 6.7.- | Transductores de Radiación Nuclear y Rayos X . | 96 |
| 6.8.- | Transductores por Efecto Hall. | 100 |
| 6.9.- | Transductores de Propiedades Químicas. | 102 |

CAPITULO VII

| | |
|--|-----|
| EJEMPLO DE OPERACION Y CONSTRUCCION DE TRANSDUCTOR. | 108 |
| Conclusiones. | 118 |
| Bibliografía. | 119 |

INTRODUCCION

La inquietud latente de conocer es prioridad del ser humano para adentrarse en la investigación de los fenómenos naturales, nuestros antecesores agudizaron en ingenio e idearon instrumentos rudimentarios con el fin de conocer y explicarse hechos sobrenaturales, así como también, crearon mecanismos que les permitieron -- medir el tiempo.

Brotan como necesidad imperiosa el desarrollo tecnológico dando paso a muy diferentes instrumentos de medición y precisión a realizar y donde no se pueden medir ciertos parámetros de forma directa por no ser posible detectar esa forma de energía, se hace uso de los primeros transductores, como una de las formas más manejables es: La Energía Eléctrica , es por esta razón como nacen los --- transductores Eléctricos.

OBJETIVO

En el desarrollo de ésta tesis se pretende crear una guía en la cual se clasifiquen, describan y analicen los diferentes funcionamientos de los transductores Eléctricos. Y tratar de manera practica algunos de ellos.

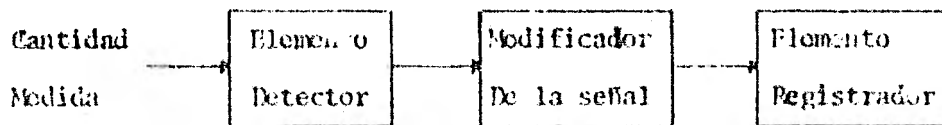
CAPITULO I

CLASIFICACION DE LOS TRANSDUCTORES

1.1.- Definición.

Los transductores son dispositivos que convierten --- energía ó información de una forma a otra y operan bajo el principio de transformar una entrada, que representa una variable física, en una señal de salida.

Existen tres elementos principales comunes a la mayoría de los sistemas de medición y su diagrama de bloques es el siguiente:



ELEMENTOS DE UN SISTEMA GENERAL DE MEDICION

El primer elemento es el detector (ó sensor), cuyo propósito es el de responder a la magnitud (ó cambios en la magnitud)

tud) de la cantidad que se esta midiendo. La respuesta es una señal de salida cuya magnitud es proporcional a la señal de entrada.

El segundo elemento es el modificador de la señal de salida, el elemento detector la modifica ya sea amplificándola o --- cambiando señal. Cuando la señal emerge del modificador de señal, de be tener la forma apropiada para ser desplegada o registrada.

El tercer elemento de un sistema de medición es el dispositivo registrador. En los sistemas eléctricos, los dispositivos - registradores incluyen instrumentos como medidores, tubos de rayos - catódicos, registradores de papel, registradores X-Y y computadoras- digitales.

Si el sistema de medición es tal que una cantidad no- eléctrica se va a medir convirtiéndola a una forma eléctrica, se uti liza un transductor eléctrico como elemento detector.

El transductor eléctrico se llama activo si es capaz- de producir una señal sin necesidad de una excitación eléctrica. (Por ejemplo la celda solar).

Si el transductor es capaz de producir una señal de salida únicamente cuando se usa con una fuente de excitación eléctrica el transductor es pasivo. (Por ejemplo el transformador diferencial de variación lineal).

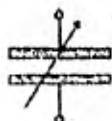
12.- Principales parámetros.

A continuación se numeran los principales fenómenos eléctricos empleados por los transductores.

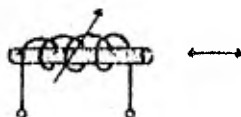
- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1.- Capacitancia | 7.- Fotovoltaicos |
| 2.- Inductancia | 8.- Piezoeléctrico |
| 3.- Fuerza electromagnética | 9.- Potenciométrico |
| 4.- Ionización | 10.- Termoeléctrico ó Termovoltaje |
| 5.- Fotoeléctrico ó Fotoemisor | 11.- Resistivo |
| 6.- Fotoresistivo ó Fotoconductor | 12.- Variables del medio ambiente |

1.- CAPACITANCIA.- Sensa el cambio de la capacitancia al cambiar:

- a) La separación entre dos placas paralelas.
- b) Al cambio de la constante dieléctrica del medio.



2.- INDUCTANCIA.- Sensa los cambios de la inductancia propia de una bobina. Esto se logra cambiando la posición del núcleo ferromagnético de la bobina.



3.- FUERZA ELECTROMAGNETICA.- Sensa los efectos electromagnéticos--- por medio de un voltaje inducido en una bobina; el voltaje se induce al desplazar un conductor dentro de un campo magnético.

4.- IONIZACION.- Sensa los efectos de ionización de los gases, estos efectos se determinan midiendo los cambios de corriente, resistencia o voltaje del circuito eléctrico.

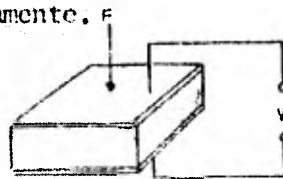
5.- FOTOELECTRICO O FOTOEMISIVO.- Algunas sustancias al ser iluminadas emiten un flujo de electrones el cual es proporcional al ---

nivel de iluminación, este tipo de transductor necesita de una -
excitación externa.

6.- FOTORESISTIVO O FOTOCONDUCTIVO.- Algunas sustancias cuando son -
iluminadas experimentan un cambio en su resistencia eléctrica,-
la cual aumenta o disminuye de acuerdo a la intensidad luminosa.

7.- FOTOVOLTAICOS.- Si la unión de dos metales diferentes se ilumina
se desarrolla un voltaje, el cual puede ser medido directamente.

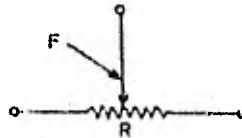
8.- PIEZOELECTRICO.- Ciertos cristales tienen la propiedad de que al
ser sometidos a un esfuerzo mecánico, generan un voltaje el cual
puede ser medido directamente.



9.- POTENCIOMETRICO.- El elemento sensor debe ser un arreglo tal que
al moverse el brazo de un potenciómetro registre un cambio de --
voltaje el cual puede medirse directamente.

10.- TERMOELECTRICO O TERMIVOLTAICO.- Si dos alambres de diferente temperatura, se producirá un voltaje en los extremos libres de los alambres, el voltaje producido es proporcional a la diferencia de temperatura.

11.- RESISTIVO.- El elemento sensor consiste en el cambio de resistencia que sufre un mecanismo ocasionado por un efecto físico.



12.- VARIABLES DEL MEDIO AMBIENTE.- Estos mecanismos son similares en naturaleza a los resistivos y capacitivos, la diferencia --- consiste en que el material del cual esta hecho el resistor o el capacitor, puede cambiar su resistividad o permitividad de acuerdo al cambio de algunos efectos físicos tal como la humedad.

1.3.- Metodos de Selección.

Quando una medición de una cantidad no eléctrica se va a llevar a cabo convirtiendo la cantidad a una forma eléctrica, se debe seleccionar un transductor (o una combinación apropiada de ellos) para llevar a cabo la conversión. El primer paso en el proceso de selección es el de definir claramente la naturaleza de la cantidad a medir. Esto también incluye el conocimiento del rango de magnitudes y frecuencias que se espera de la cantidad exhibida. Cuando el problema se ha establecido, se deben examinar los principios fundamentales de funcionamiento del transductor aconsejable para el tipo de medición. Si uno o más transductores son capaces de producir una señal satisfactoria, debemos decidir si construir uno o utilizar uno disponible en el comercio.

Quando las especificaciones de un transductor particular se van a examinar, los siguientes puntos se deben considerar para determinar su conveniencia para una medición.

- 1.- RANGO.- El rango del transductor debe ser lo suficiente grande para abarcar todas las magnitudes esperadas de la cantidad a me-

dir.

- 2.- SENSIBILIDAD.- Para obtener un dato significativo el transductor debe producir una señal de salida suficiente por unidad de la -- entrada medida. Esto es que la salida debe ser lo bastante grande para ser procesada.

- 3.- CARACTERISTICAS DE LA SALIDA ELECTRICA.- Las características --- eléctricas (tales como la impedancia de salida, la respuesta de frecuencia y la respuesta en el tiempo) de la señal de salida, -- la respuesta de frecuencia y la respuesta en el tiempo de la señal de salida del transductor deben ser compatibles con el dis-- positivo registrador y el resto del equipo del sistema de medi-- ción.

- 4.- AMBIENTE FISICO.- El transductor seleccionado debe ser capaz de soportar las condiciones ambientales a las cuales puede estar su jeto mientras hace las mediciones. Parámetros tales como la temperatura, humedad y químicos corrosivos pueden dañar algunos --- transductores pero no otros.

5.- ERRORES.- Los errores inherentes en la operación del transductor o aquellos causados por las condiciones ambientales deben ser lo suficiente pequeños o controlables de tal forma que no sean significativos en los datos tomados.

Una vez que el transductor se ha seleccionado e incorporado dentro del diseño del sistema de medición se deben observar las siguientes guías para incrementar la exactitud de las mediciones:

- 1.- Calibración de Transductor.- La salida del transductor se debe calibrar con respecto a algún patrón conocido mientras se utiliza bajo las condiciones que va a trabajar. Esta calibración se debe efectuar regularmente.
- 2.- Los cambios en las condiciones ambientales del transductor se deben registrar continuamente. Si se sigue este procedimiento, los datos obtenidos se pueden corregir más tarde tomando en cuenta los cambios en las condiciones ambientales.
- 3.- Se pueden reducir los posibles errores de un transductor contro-

iendo artificialmente el medio ambiente. Ejemplos del control artificial del medio ambiente del transductor incluyendo su encerramiento en una caja o gabinete a temperatura controlada ó aislar el dispositivo de las vibraciones y choques externos.

CAPITULO II

DISPOSITIVOS DE MEDICIONES ELECTRICAS

2.1.- Descripción.

Una gran mayoría de los dispositivos de medición---- utilizan algún principio eléctrico básico para su operación ó cuentan con un dispositivo electrónico para las etapas intermedias, de modificación, y final de lectura. En consecuencia resulta ventajoso discutir algunos de los más importantes dispositivos eléctricos que se emplean comunmente y realizar su relación con los procesos de me di ci ón.

Como primer punto se analizará el principio de funcionamiento del galvanómetro como elemento sensor de corriente.

En segundo punto se describirá el funcionamiento -- del Puente de Wheatstone como comparador de resistencias, inductancias y capacitancias.

En el tercer punto se describirá el voltímetro y --

sus múltiples usos en las mediciones eléctricas.

Por último se hablará del osciloscopio como elemento de voltajes con cualquier tipo de onda en el tiempo.

2.2.- Galvanómetro.

Cualquier dispositivo utilizado para detectar ó medir una corriente se denomina galvanómetro, y la mayor parte de estos instrumentos están basados en el par ejercido sobre una bobina colocada en un campo magnético.

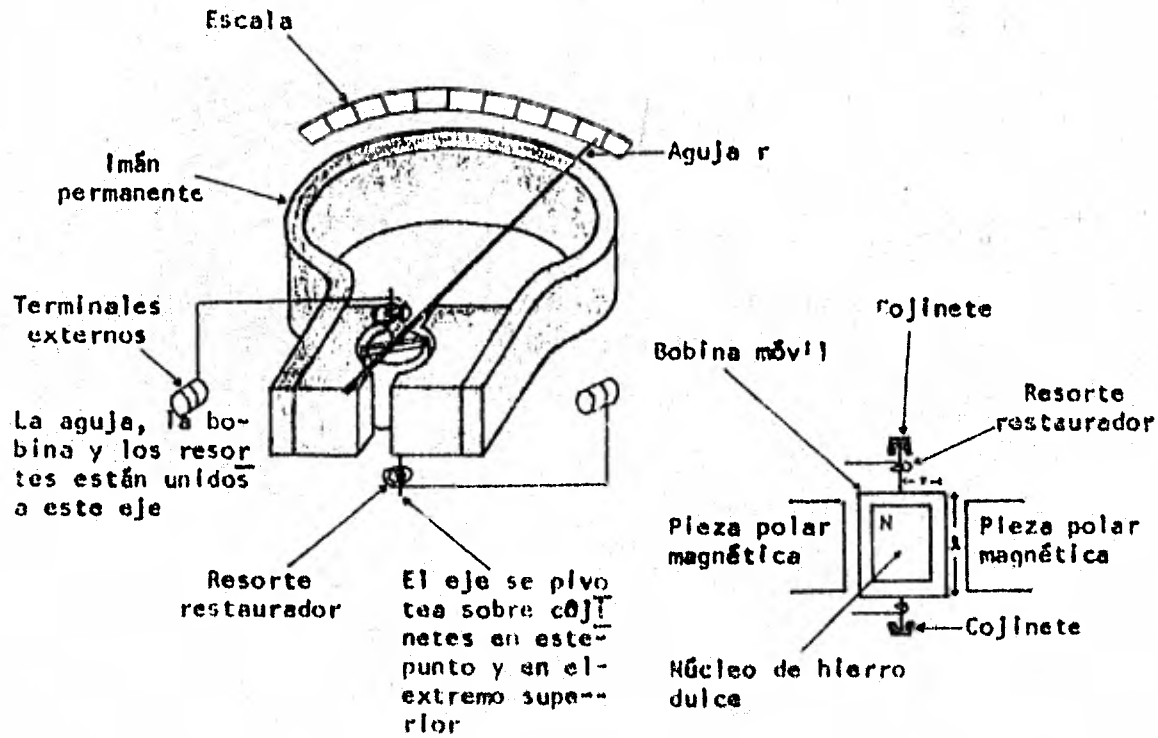
Existen en la actualidad varios tipos de galvanómetros como son el de espejo, el de aguja, el de hierro móvil, etc.

De entre todos ellos el más utilizado y del cual se derivan los otros es el galvanómetro D' Arsonval. Su amplia aplicabilidad se debe a su sensibilidad y exactitud extremas. Corrientes menores a 1 mA y 1 A se pueden detectar en medidores de este tipo - disponibles en el comercio. (ciertos instrumentos especiales de la

laboratorio los cuales utilizan el movimiento D'Arsonval pueden medir corrientes tan pequeñas como 1×10^{-13} A. El movimiento se detecta por medio de la fuerza, que resulta de la interacción del campo magnético formado por las piezas polares y el campo que se forma al fluir la corriente en una bobina de alambre. La fuerza se utiliza para generar un movimiento mecánico y el cual se mide en una escala calibrada.

En la figura número 1, se muestran los elementos y la configuración de un galvanómetro del tipo D'Arsonval.

Figura No.1 (a) MOVIMIENTO D'ARSONVAL (b) VISTA DE CORTE DE LA BOBINA -
MOVIL Y EL IMAN

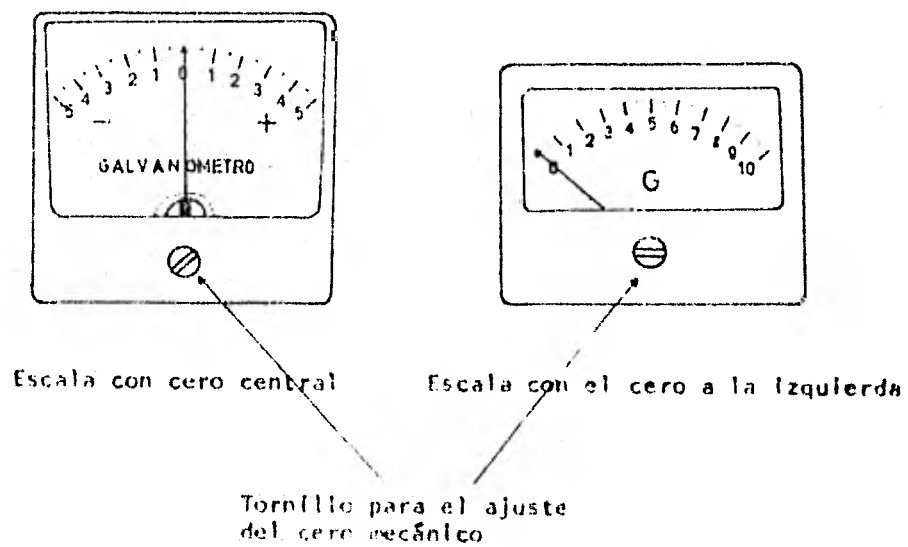


De la figura número 1. se observa que una bobina de alambre se une a un eje el cual pivotea sobre un cojinete de piedra. La bobina puede girar en el espacio entre un núcleo cilíndrico de hierro y dos piezas polares magnéticas. Las piezas polares crean el campo magnético y el núcleo de hierro sirve para limitar el campo al entre hierro entre él y las piezas polares. Si se aplica una corriente a la bobina suspendida, la fuerza resultante sobre ella o riginará su rotación. Dos resortes pequeños suministran un torque - (fuerza rotacional) que se opone al torque magnético. La tensión de los resortes está calibrada de tal forma que una corriente conocida produzca una rotación con un ángulo especificado. Los resortes también sirven para conectar la corriente eléctrica a la bobina. -- Una aguja muy liviana muestra la rotación en una escala calibrada.

La deflexión de la aguja es directamente proporcional a la corriente que fluye en la bobina siempre que el campo magnético sea uniforme y la tensión de los resortes sea lineal. Por tanto la escala del medidor también es lineal. La exactitud del movimiento D'Arsonval utilizado en los medidores comunes de laboratorio es cerca del 1% de la lectura de plena escala.

Los dos tipos de escalas generalmente empleados con el movimiento D'Arsonval son: Los que tienen el Cero en el centro de la escala, y los que tienen el Cero al extremo izquierdo de la escala.

Figura No.2 GALVANOMETROS



2.3.- El Puente de Wheatstone.

Los circuitos puente tienen gran variedad de aplicaciones en la medición de resistencias, inductancias y capacitancias bajo condiciones tanto de estado permanente como de estado transitorio.

El Puente de Wheatstone para la comparación y medición de resistencias se utiliza generalmente en un rango de 1 ohm a 1 megaohm.

En la figura número 3. se presenta un circuito de dicho puente, el cual está compuesto por cuatro resistencias R_1 , R_2 , R_3 y R_x , una fuente de voltaje "E" y un galvanómetro.

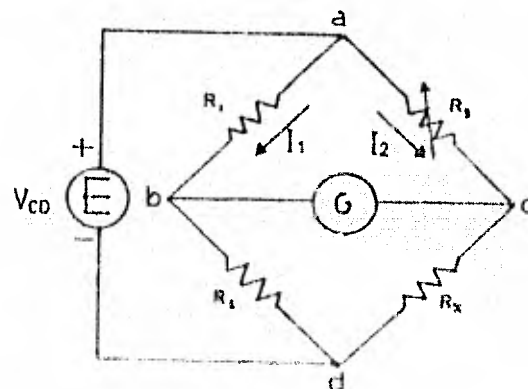
El circuito trabaja en base al principio de ir cambiando el valor de la resistencia R_3 y la relación de las resistencias R_2 y R_1 , hasta el punto en que no fluya corriente a través del galvanómetro (muy sensible). Conectado entre los puntos b y c (de la figura número 3.).

Si no existe diferencia de potencial entre estos ---

puntos se dice que el puente esta equilibrado. Esta condición de --- equilibrio se logra si el voltaje "E" se divide en el camino abd por las resistencias R_1 y R_2 en la misma relación como en el camino acd por las resistencias R_3 y R_x .

Por tanto los puntos b y c estarán al mismo potencial. Por lo tanto la condición de no flujo de corriente en el galvanómetro implica.

Figura No.3 CIRCUITO DE UN PUENTE DE WHEATSTONE



$$V_{ab} = V_{ac}$$

$$a) \dots R_1 I_1 = R_3 I_2$$

$$V_{bd} = V_{cd}$$

$$b) \dots R_2 I_1 = R_x I_2$$

Dividiendo la ecuación " a " entre la ecuación " b " queda:

$$\frac{R_1 I_1}{R_2 I_1} = \frac{R_3 I_2}{R_x I_2}$$

Se cancelan las corrientes resultando:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x}$$

Despejando R_x tenemos que:

$$R_x = \frac{R_3 R_2}{R_1} = (R_3) \frac{R_2}{R_1}$$

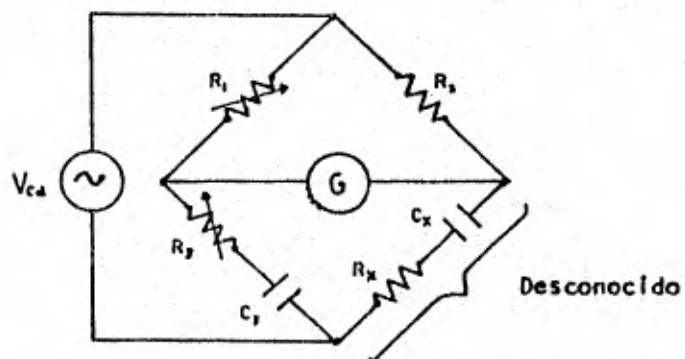
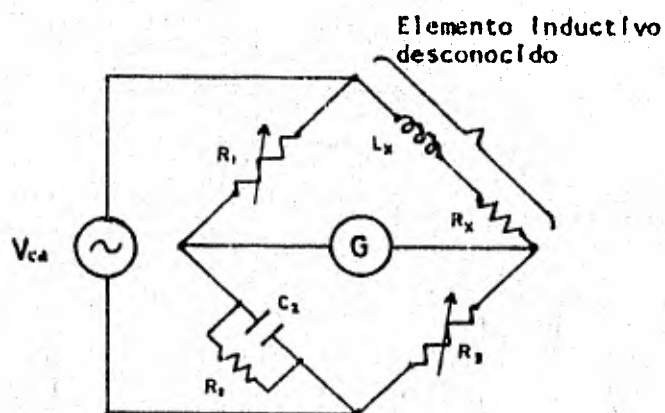
Como R_1 , R_2 y R_3 son resistencias conocidas, por lo que el valor de R_x se puede determinar en puentes prácticos, la relación R_2 a R_1 se controla por medio de un interruptor que cambia esta relación por decadas (factores de 10). Por lo que esta relación --

se puede hacer igual a 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} , 1, 10, 10^2 , 10^3 .

Si se pretende realizar una medición exacta con el --
circuito puente, se deben conocer en forma precisa los valores de --
las resistencias; además, el galvanómetro debe ser lo suficientemente
sensible como para detectar pequeños grados de desequilibrio en el--
circuito. Cuando se coloca la resistencia R_x en el circuito, se debe
tener cuidado de utilizar alambres cuya resistencia sea pequeña com-
parada con el valor de la que se requiere conocer.

En la figura número 4 . se muestran arreglos de --
puentes en los cuales se pueden calcular respectivamente valores de--
inductancia y capacitancia utilizando el mismo principio que el puen-
te de resistencia ha excepción que se utilizan fuentes de corriente-
alterna.

Figura No.4 ARREGLOS DE PUENTES PARA CALCULAR INDUCTANCIAS Y CAPACITANCIAS



| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 1.10 | 1.11 | 1.12 | 1.13 |
| 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 2.10 | 2.11 | 2.12 | 2.13 |
| 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.5 | 3.6 | 3.7 | 3.8 | 3.9 | 3.10 | 3.11 | 3.12 | 3.13 |
| 4.1 | 4.2 | 4.3 | 4.4 | 4.5 | 4.6 | 4.7 | 4.8 | 4.9 | 4.10 | 4.11 | 4.12 | 4.13 |
| 5.1 | 5.2 | 5.3 | 5.4 | 5.5 | 5.6 | 5.7 | 5.8 | 5.9 | 5.10 | 5.11 | 5.12 | 5.13 |
| 6.1 | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 6.5 | 6.6 | 6.7 | 6.8 | 6.9 | 6.10 | 6.11 | 6.12 | 6.13 |
| 7.1 | 7.2 | 7.3 | 7.4 | 7.5 | 7.6 | 7.7 | 7.8 | 7.9 | 7.10 | 7.11 | 7.12 | 7.13 |
| 8.1 | 8.2 | 8.3 | 8.4 | 8.5 | 8.6 | 8.7 | 8.8 | 8.9 | 8.10 | 8.11 | 8.12 | 8.13 |
| 9.1 | 9.2 | 9.3 | 9.4 | 9.5 | 9.6 | 9.7 | 9.8 | 9.9 | 9.10 | 9.11 | 9.12 | 9.13 |
| 10.1 | 10.2 | 10.3 | 10.4 | 10.5 | 10.6 | 10.7 | 10.8 | 10.9 | 10.10 | 10.11 | 10.12 | 10.13 |
| 11.1 | 11.2 | 11.3 | 11.4 | 11.5 | 11.6 | 11.7 | 11.8 | 11.9 | 11.10 | 11.11 | 11.12 | 11.13 |
| 12.1 | 12.2 | 12.3 | 12.4 | 12.5 | 12.6 | 12.7 | 12.8 | 12.9 | 12.10 | 12.11 | 12.12 | 12.13 |
| 13.1 | 13.2 | 13.3 | 13.4 | 13.5 | 13.6 | 13.7 | 13.8 | 13.9 | 13.10 | 13.11 | 13.12 | 13.13 |
| 14.1 | 14.2 | 14.3 | 14.4 | 14.5 | 14.6 | 14.7 | 14.8 | 14.9 | 14.10 | 14.11 | 14.12 | 14.13 |
| 15.1 | 15.2 | 15.3 | 15.4 | 15.5 | 15.6 | 15.7 | 15.8 | 15.9 | 15.10 | 15.11 | 15.12 | 15.13 |
| 16.1 | 16.2 | 16.3 | 16.4 | 16.5 | 16.6 | 16.7 | 16.8 | 16.9 | 16.10 | 16.11 | 16.12 | 16.13 |
| 17.1 | 17.2 | 17.3 | 17.4 | 17.5 | 17.6 | 17.7 | 17.8 | 17.9 | 17.10 | 17.11 | 17.12 | 17.13 |
| 18.1 | 18.2 | 18.3 | 18.4 | 18.5 | 18.6 | 18.7 | 18.8 | 18.9 | 18.10 | 18.11 | 18.12 | 18.13 |
| 19.1 | 19.2 | 19.3 | 19.4 | 19.5 | 19.6 | 19.7 | 19.8 | 19.9 | 19.10 | 19.11 | 19.12 | 19.13 |
| 20.1 | 20.2 | 20.3 | 20.4 | 20.5 | 20.6 | 20.7 | 20.8 | 20.9 | 20.10 | 20.11 | 20.12 | 20.13 |
| 21.1 | 21.2 | 21.3 | 21.4 | 21.5 | 21.6 | 21.7 | 21.8 | 21.9 | 21.10 | 21.11 | 21.12 | 21.13 |
| 22.1 | 22.2 | 22.3 | 22.4 | 22.5 | 22.6 | 22.7 | 22.8 | 22.9 | 22.10 | 22.11 | 22.12 | 22.13 |
| 23.1 | 23.2 | 23.3 | 23.4 | 23.5 | 23.6 | 23.7 | 23.8 | 23.9 | 23.10 | 23.11 | 23.12 | 23.13 |
| 24.1 | 24.2 | 24.3 | 24.4 | 24.5 | 24.6 | 24.7 | 24.8 | 24.9 | 24.10 | 24.11 | 24.12 | 24.13 |
| 25.1 | 25.2 | 25.3 | 25.4 | 25.5 | 25.6 | 25.7 | 25.8 | 25.9 | 25.10 | 25.11 | 25.12 | 25.13 |
| 26.1 | 26.2 | 26.3 | 26.4 | 26.5 | 26.6 | 26.7 | 26.8 | 26.9 | 26.10 | 26.11 | 26.12 | 26.13 |
| 27.1 | 27.2 | 27.3 | 27.4 | 27.5 | 27.6 | 27.7 | 27.8 | 27.9 | 27.10 | 27.11 | 27.12 | 27.13 |
| 28.1 | 28.2 | 28.3 | 28.4 | 28.5 | 28.6 | 28.7 | 28.8 | 28.9 | 28.10 | 28.11 | 28.12 | 28.13 |
| 29.1 | 29.2 | 29.3 | 29.4 | 29.5 | 29.6 | 29.7 | 29.8 | 29.9 | 29.10 | 29.11 | 29.12 | 29.13 |
| 30.1 | 30.2 | 30.3 | 30.4 | 30.5 | 30.6 | 30.7 | 30.8 | 30.9 | 30.10 | 30.11 | 30.12 | 30.13 |
| 31.1 | 31.2 | 31.3 | 31.4 | 31.5 | 31.6 | 31.7 | 31.8 | 31.9 | 31.10 | 31.11 | 31.12 | 31.13 |
| 32.1 | 32.2 | 32.3 | 32.4 | 32.5 | 32.6 | 32.7 | 32.8 | 32.9 | 32.10 | 32.11 | 32.12 | 32.13 |
| 33.1 | 33.2 | 33.3 | 33.4 | 33.5 | 33.6 | 33.7 | 33.8 | 33.9 | 33.10 | 33.11 | 33.12 | 33.13 |
| 34.1 | 34.2 | 34.3 | 34.4 | 34.5 | 34.6 | 34.7 | 34.8 | 34.9 | 34.10 | 34.11 | 34.12 | 34.13 |
| 35.1 | 35.2 | 35.3 | 35.4 | 35.5 | 35.6 | 35.7 | 35.8 | 35.9 | 35.10 | 35.11 | 35.12 | 35.13 |
| 36.1 | 36.2 | 36.3 | 36.4 | 36.5 | 36.6 | 36.7 | 36.8 | 36.9 | 36.10 | 36.11 | 36.12 | 36.13 |
| 37.1 | 37.2 | 37.3 | 37.4 | 37.5 | 37.6 | 37.7 | 37.8 | 37.9 | 37.10 | 37.11 | 37.12 | 37.13 |
| 38.1 | 38.2 | 38.3 | 38.4 | 38.5 | 38.6 | 38.7 | 38.8 | 38.9 | 38.10 | 38.11 | 38.12 | 38.13 |
| 39.1 | 39.2 | 39.3 | 39.4 | 39.5 | 39.6 | 39.7 | 39.8 | 39.9 | 39.10 | 39.11 | 39.12 | 39.13 |
| 40.1 | 40.2 | 40.3 | 40.4 | 40.5 | 40.6 | 40.7 | 40.8 | 40.9 | 40.10 | 40.11 | 40.12 | 40.13 |
| 41.1 | 41.2 | 41.3 | 41.4 | 41.5 | 41.6 | 41.7 | 41.8 | 41.9 | 41.10 | 41.11 | 41.12 | 41.13 |
| 42.1 | 42.2 | 42.3 | 42.4 | 42.5 | 42.6 | 42.7 | 42.8 | 42.9 | 42.10 | 42.11 | 42.12 | 42.13 |
| 43.1 | 43.2 | 43.3 | 43.4 | 43.5 | 43.6 | 43.7 | 43.8 | 43.9 | 43.10 | 43.11 | 43.12 | 43.13 |
| 44.1 | 44.2 | 44.3 | 44.4 | 44.5 | 44.6 | 44.7 | 44.8 | 44.9 | 44.10 | 44.11 | 44.12 | 44.13 |
| 45.1 | 45.2 | 45.3 | 45.4 | 45.5 | 45.6 | 45.7 | 45.8 | 45.9 | 45.10 | 45.11 | 45.12 | 45.13 |
| 46.1 | 46.2 | 46.3 | 46.4 | 46.5 | 46.6 | 46.7 | 46.8 | 46.9 | 46.10 | 46.11 | 46.12 | 46.13 |
| 47.1 | 47.2 | 47.3 | 47.4 | 47.5 | 47.6 | 47.7 | 47.8 | 47.9 | 47.10 | 47.11 | 47.12 | 47.13 |
| 48.1 | 48.2 | 48.3 | 48.4 | 48.5 | 48.6 | 48.7 | 48.8 | 48.9 | 48.10 | 48.11 | 48.12 | 48.13 |
| 49.1 | 49.2 | 49.3 | 49.4 | 49.5 | 49.6 | 49.7 | 49.8 | 49.9 | 49.10 | 49.11 | 49.12 | 49.13 |
| 50.1 | 50.2 | 50.3 | 50.4 | 50.5 | 50.6 | 50.7 | 50.8 | 50.9 | 50.10 | 50.11 | 50.12 | 50.13 |
| 51.1 | 51.2 | 51.3 | 51.4 | 51.5 | 51.6 | 51.7 | 51.8 | 51.9 | 51.10 | 51.11 | 51.12 | 51.13 |
| 52.1 | 52.2 | 52.3 | 52.4 | 52.5 | 52.6 | 52.7 | 52.8 | 52.9 | 52.10 | 52.11 | 52.12 | 52.13 |
| 53.1 | 53.2 | 53.3 | 53.4 | 53.5 | 53.6 | 53.7 | 53.8 | 53.9 | 53.10 | 53.11 | 53.12 | 53.13 |
| 54.1 | 54.2 | 54.3 | 54.4 | 54.5 | 54.6 | 54.7 | 54.8 | 54.9 | 54.10 | 54.11 | 54.12 | 54.13 |
| 55.1 | 55.2 | 55.3 | 55.4 | 55.5 | 55.6 | 55.7 | 55.8 | 55.9 | 55.10 | 55.11 | 55.12 | 55.13 |
| 56.1 | 56.2 | 56.3 | 56.4 | 56.5 | 56.6 | 56.7 | 56.8 | 56.9 | 56.10 | 56.11 | 56.12 | 56.13 |
| 57.1 | 57.2 | 57.3 | 57.4 | 57.5 | 57.6 | 57.7 | 57.8 | 57.9 | 57.10 | 57.11 | 57.12 | 57.13 |
| 58.1 | 58.2 | 58.3 | 58.4 | 58.5 | 58.6 | 58.7 | 58.8 | 58.9 | 58.10 | 58.11 | 58.12 | 58.13 |
| 59.1 | 59.2 | 59.3 | 59.4 | 59.5 | 59.6 | 59.7 | 59.8 | 59.9 | 59.10 | 59.11 | 59.12 | 59.13 |
| 60.1 | 60.2 | 60.3 | 60.4 | 60.5 | 60.6 | 60.7 | 60.8 | 60.9 | 60.10 | 60.11 | 60.12 | 60.13 |
| 61.1 | 61.2 | 61.3 | 61.4 | 61.5 | 61.6 | 61.7 | 61.8 | 61.9 | 61.10 | 61.11 | 61.12 | 61.13 |
| 62.1 | 62.2 | 62.3 | 62.4 | 62.5 | 62.6 | 62.7 | 62.8 | 62.9 | 62.10 | 62.11 | 62.12 | 62.13 |
| 63.1 | 63.2 | 63.3 | 63.4 | 63.5 | 63.6 | 63.7 | 63.8 | 63.9 | 63.10 | 63.11 | 63.12 | 63.13 |
| 64.1 | 64.2 | 64.3 | 64.4 | 64.5 | 64.6 | 64.7 | 64.8 | 64.9 | 64.10 | 64.11 | 64.12 | 64.13 |
| 65.1 | 65.2 | 65.3 | 65.4 | 65.5 | 65.6 | 65.7 | 65.8 | 65.9 | 65.10 | 65.11 | 65.12 | 65.13 |
| 66.1 | 66.2 | 66.3 | 66.4 | 66.5 | 66.6 | 66.7 | 66.8 | 66.9 | 66.10 | 66.11 | 66.12 | 66.13 |
| 67.1 | 67.2 | 67.3 | 67.4 | 67.5 | 67.6 | 67.7 | 67.8 | 67.9 | 67.10 | 67.11 | 67.12 | 67.13 |
| 68.1 | 68.2 | 68.3 | 68.4 | 68.5 | 68.6 | 68.7 | 68.8 | 68.9 | 68.10 | 68.11 | 68.12 | 68.13 |
| 69.1 | 69.2 | 69.3 | 69.4 | 69.5 | 69.6 | 69.7 | 69.8 | 69.9 | 69.10 | 69.11 | 69.12 | 69.13 |
| 70.1 | 70.2 | 70.3 | 70.4 | 70.5 | 70.6 | 70.7 | 70.8 | 70.9 | 70.10 | 70.11 | 70.12 | 70.13 |
| 71.1 | 71.2 | 71.3 | 71.4 | 71.5 | 71.6 | 71.7 | 71.8 | 71.9 | 71.10 | 71.11 | 71.12 | 71.13 |
| 72.1 | 72.2 | 72.3 | 72.4 | 72.5 | 72.6 | 72.7 | 72.8 | 72.9 | 72.10 | 72.11 | 72.12 | 72.13 |
| 73.1 | 73.2 | 73.3 | 73.4 | 73.5 | 73.6 | 73.7 | 73.8 | 73.9 | 73.10 | 73.11 | 73.12 | 73.13 |
| 74.1 | 74.2 | 74.3 | 74.4 | 74.5 | 74.6 | 74.7 | 74.8 | 74.9 | 74.10 | 74.11 | 74.12 | 74.13 |
| 75.1 | 75.2 | 75.3 | 75.4 | 75.5 | 75.6 | 75.7 | 75.8 | 75.9 | 75.10 | 75.11 | 75.12 | 75.13 |
| 76.1 | 76.2 | 76.3 | 76.4 | 76.5 | 76.6 | 76.7 | 76.8 | 76.9 | 76.10 | 76.11 | 76.12 | 76.13 |
| 77.1 | 77.2 | 77.3 | 77.4 | 77.5 | 77.6 | 77.7 | 77.8 | 77.9 | 77.10 | 77.11 | 77.12 | 77.13 |
| 78.1 | 78.2 | 78.3 | 78.4 | 78.5 | 78.6 | 78.7 | 78.8 | 78.9 | 78.10 | 78.11 | 78.12 | 78.13 |
| 79.1 | 79.2 | 79.3 | 79.4 | 79.5 | 79.6 | 79.7 | 79.8 | 79.9 | 79.10 | 79.11 | 79.12 | 79.13 |
| 80.1 | 80.2 | 80.3 | 80.4 | 80.5 | 80.6 | 80.7 | 80.8 | 80.9 | 80.10 | 80.11 | 80.12 | 80.13 |
| 81.1 | 81.2 | 81.3 | 81.4 | 81.5 | 81.6 | 81.7 | 81.8 | 81.9 | 81.10 | 81.11 | 81.12 | 81.13 |
| 82.1 | 82.2 | 82.3 | 82.4 | 82.5 | 82.6 | 82.7 | 82.8 | 82.9 | 82.10 | 82.11 | 82.12 | 82.13 |
| 83.1 | 83.2 | 83.3 | 83.4 | 83.5 | 83.6 | 83.7 | 83.8 | 83.9 | 83.10 | 83.11 | 83.12 | 83.13 |
| 84.1 | 84.2 | 84.3 | 84.4 | 84.5 | 84.6 | 84.7 | 84.8 | 84.9 | 84.10 | 84.11 | 84.12 | 84.13 |
| 85.1 | 85.2 | 85.3 | 85.4 | 85.5 | 85.6 | 85.7 | 85.8 | 85.9 | 85.10 | 85.11 | 85.12 | 85.13 |
| 86.1 | 86.2 | 86.3 | 86.4 | 86.5 | 86.6 | 86.7 | 86.8 | 86.9 | 86.10 | 86.11 | 86.12 | 86.13 |
| 87.1 | 87.2 | 87.3 | 87.4 | 87.5 | 87.6 | 87.7 | 87.8 | 87.9 | 87.10 | 87.11 | 87.12 | 87.13 |
| 88.1 | 88.2 | 88.3 | 88.4 | 88.5 | 88.6 | 88.7 | 88.8 | 88 | | | | |

2.4.- El Voltímetro.

El Voltímetro-Ohmetro-Miliamperímetro (VOM), es un instrumento de laboratorio muy útil y versátil. Es un medidor capaz de medir voltajes de cd y ca, corrientes de cd y resistencias. Los diferentes circuitos que se requieren para medir cada una de estas cantidades se involucran en el diseño del aparato. Para mediciones de cd, el VOM incorpora un movimiento D'Arsonval. Para mediciones de ca, se utiliza un medidor de cd incorporado a un rectificador que transforma la ca en cd, que es la que registra el movimiento D'Arsonval. Las resistencias se miden por medio del circuito de un óhmetro. En el circuito de un óhmetro se aplica el voltaje de una batería a través de una conexión de una resistencia conocida y otra desconocida. El movimiento D'Arsonval determina el valor de la resistencia desconocida midiendo la fracción del voltaje de la batería que cae a través de la resistencia conocida. Puesto que la batería está sujeta a desgaste y envejecimiento, su voltaje de salida se debe checar periódicamente para estar seguros que funciona adecuadamente.

Quando se utiliza como un voltímetro de cd, el VOM tiene una sensibilidad de 20,000 \sim /V y rangos de plena escala ---

de 2.5 a 1.000 V. Como voltímetro de ca, el VOM tiene una sensibilidad de 5.000 Ω /V y rangos de plena escala de 2.5 a 1.000 V. Como amperímetro de cd el VOM es capaz de medir corrientes desde 1 mA hasta 1A. Finalmente, se pueden medir resistencias entre 0.1 Ω y 10 M Ω con el circuito del óhmetro. La exactitud típica de los VOM está entre el 1 y el 2 % del valor de plena escala.

El Voltímetro de tubo al vacío (VTVM), es uno de los aparatos de laboratorio más usados para la medición de voltajes. Se puede usar tanto para mediciones de voltaje directo como alterno y es particularmente valioso por sus características de alta impedancia de entrada, las cuales lo hacen aplicable a la medición de voltajes en circuitos electrónicos.

Voltímetros Digitales.- En la actualidad, existe una amplia variedad de voltímetros que producen una salida digital en vez de la indicación convencional por aguja. Este tipo de instrumentos tiene la ventaja de reducir los errores de lectura del operador, a la vez que se incrementa la velocidad de la misma. Cada voltímetro digital opera en base a diferentes principios.

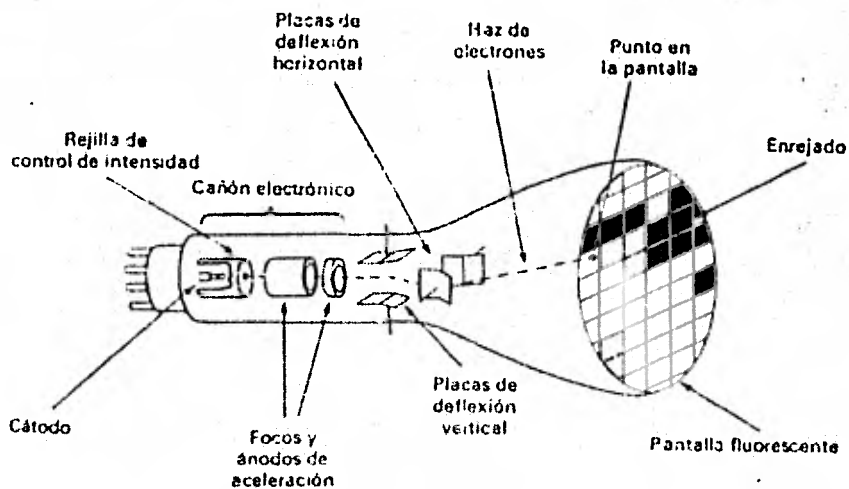
2.5.- El Osciloscopio.

Los osciloscopios de rayos catódicos (CRO), son -- capaces de seguir señales de frecuencia hasta de 500 MHz. Frecuencias aún mayores se han mostrado con el osciloscopio de muestreo (que es una variación del osciloscopio básico).

El dispositivo que permite observar tales variaciones de alta velocidad es el tubo de rayos catódicos (muy similar al tubo de rayos catódicos de televisión). El tubo genera un haz delgado de electrones (el rayo catódico) dentro de él. Este haz se dirige de tal forma que golpea una pantalla fluorescente que cubre uno de los extremos del tubo. Mientras el haz golpea la pantalla, se emite un punto visible de luz. A medida que el haz se mueve a través de la -- pantalla, " pinta " un trazo de su camino. Puesto que el haz está -- conformado por electrones que son partículas cargadas eléctricamente, se pueden deflectar rápida y seguramente por medio de campos eléctricos y magnéticos colocados en su camino. Además, los electrones son -- muy livianos y no tienen problemas de inercia y pueden responder casi instantáneamente a las rápidas variaciones de las señales de frecuencias muy altas. Esta capacidad permite al CRT desplegar virtual

mente cualquier tipo de forma de onda en la pantalla del osciloscopio. Los campos, que causan las deflexiones del haz, se crean a lo largo de su camino por medio de las placas deflectoras. Las intensidades de los campos están determinadas por los voltajes aplicados a las placas y de esta forma la cantidad de deflexión, es directamente proporcional al voltaje de la señal aplicada a ellas. Concluimos además que el osciloscopio realmente es un voltímetro con un mecanismo de una velocidad super alta para mostrar las lecturas. La figura número 5. muestra el principio de funcionamiento de un TRC (tubo de rayos cáticos).

Figura No. 5 TRC



CAPITULO III

TRANSDUCTORES DE FUERZA

3.1. - Descripción.

En el presente capítulo trataremos y detallaremos a los transductores de fuerza que son lo más utilizados, esto se debe al hecho de que pueden detectar y convertir fuerza ó pequeños desplazamientos mecánicos en forma de señales eléctricas. A esto podemos agregar que existen muchas otras cantidades tales como son torque, presión, peso y tensión que de alguna u otra forma involucran fuerza ó efectos mecánicos de desplazamiento efectos que también se pueden medir por medio de los transductores de fuerza. Además, si el desplazamiento mecánico a medir varía con respecto al tiempo como puede ser un movimiento de tipo vibratorio, este se puede detectar en forma de señales con frecuencias hasta de 100 KHz.

En los transductores de fuerza se produce un cambio fraccional en las dimensiones lineales debido a una fuerza aplicada, lo cual también origina un cambio en la resistencia eléctrica puede-

ser del tipo de transductor de fuerza soldado y se usa para detectar desplazamientos producidos por grandes fuerzas.

El transductor de fuerza no soldado es más sensible y tiene sus mayores aplicaciones en desplazamientos mecánicos que varían en su rango detector de fuerzas entre 4 gr. y 2.30 Kgr.

La medición de errores por diferencia de temperatura por métodos eléctricos resulta muy útil y conveniente ya que estos métodos permiten obtener una señal que fácilmente puede detectarse, amplificarse ó utilizarse para propósitos de control.

Otro transductor con una amplia gama de aplicaciones y que trataremos en el capítulo es el conocido como transformador diferencial con variación lineal (LVDT).

Este transductor también produce una señal eléctrica y es linealmente proporcional al desplazamiento mecánico; estos desplazamientos se pueden detectar por medio del LVDT y son relativamente grandes comparados con los que se logran con el transductor de fuerza. El LVDT tiene sus aplicaciones donde los desplazamientos son

muy grandes y no se pueden emplear los transductores LVDT detectan desplazamientos de hasta una pulgada.

El transductor de movimiento lineal es un tipo restringido en sus aplicaciones. Esto se debe a que tienen una exactitud y como consecuencia un margen de error mayor así como también el de un menor costo de construcción.

Los transductores de uso específico son mucho más exactos en cada una de sus aplicaciones como es el caso del transformador diferencial con variación rotacional ó el acelerómetro con LVDT

Se puede concluir que por todo lo anterior, estos métodos proporcionan gran exactitud, siempre que se llevan a cabo con una calibración y compensación adecuada, proporcional a la fuerza ejercida sobre el indicador. Se conoce que la resistencia de un alambre se incrementa cuando se estira su longitud y por lo tanto el cambio en la resistencia del indicador suministra una indicación de la fuerza que originó la extensión. Sin embargo, la magnitud del cambio de la resistencia en los indicadores soldados es únicamente del or--

El indicador de fuerza no soldado (Fig. 3.1) es un tipo de indicador de fuerza que se utiliza para medir la fuerza de salida de un motor. Este tipo de indicador se utiliza para medir la fuerza de salida de un motor en un punto de salida de fuerza. Este tipo de indicador se utiliza para medir la fuerza de salida de un motor en un punto de salida de fuerza. Este tipo de indicador se utiliza para medir la fuerza de salida de un motor en un punto de salida de fuerza.

El indicador de fuerza no soldado se utiliza para medir la fuerza de salida de un motor en un punto de salida de fuerza. Este tipo de indicador se utiliza para medir la fuerza de salida de un motor en un punto de salida de fuerza. Este tipo de indicador se utiliza para medir la fuerza de salida de un motor en un punto de salida de fuerza. Este tipo de indicador se utiliza para medir la fuerza de salida de un motor en un punto de salida de fuerza.

Para evitar estos errores se usa el indicador de fuerza no soldado.

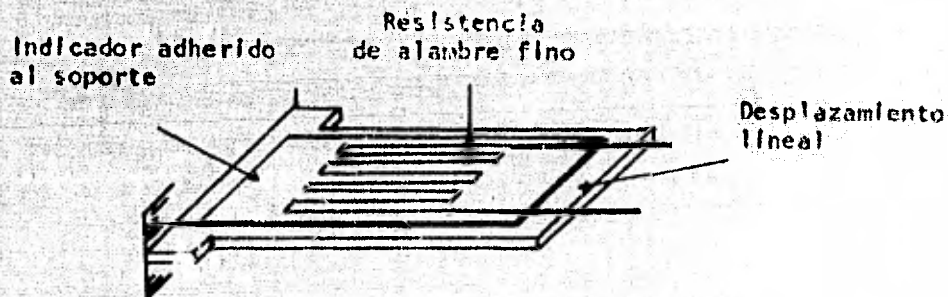
3.2.- Indicador de Fuerza Soldado.

El indicador de fuerza es uno de los transductores más comúnmente utilizados. Su demanda en el mercado se debe al hecho

de que puede detectar y convertir fuerza o desplazamientos mecánicos en señales eléctricas. Ya que muchas otras unidades tales como torque presión, peso y tensión que generan fuerza o efectos mecánicos de -- desplazamiento, también se pueden medir por medio de los indicadores de fuerza además. Si el desplazamiento mecánico a medir varía con el tiempo (tal como un movimiento de vibración) se pueden detectar señales con frecuencias hasta de 100 Khz.

En los transductores indicadores de fuerza se produce un cambio fraccional en la dimensión lineal debido a una fuerza aplicada, lo cual también origina un cambio en la resistencia eléctrica. Si el alambre con el cual se construye el indicador de fuerza está adherido o soldado a una base plástica ó de papel delgado, el indicador se llama indicador de fuerza soldado como se muestra en la figura número 6.

Figura No.6 INDICADOR DE FUERZA SOLDADO

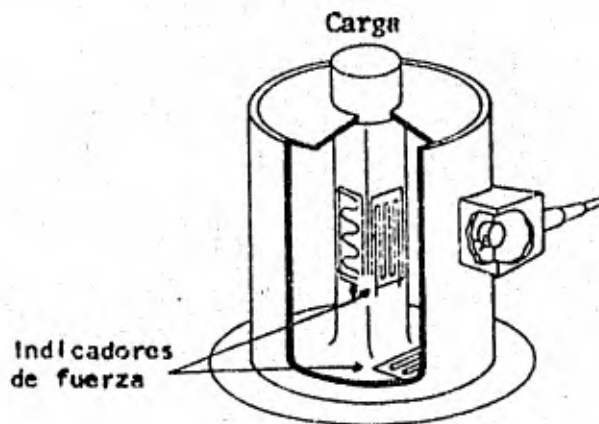


Este tipo de indicador es utilizado para detectar --- desplazamientos producidos por grandes fuerzas. El indicador de fuerza está soldado por medio de un adhesivo especial a la estructura a sedir. El adhesivo debe sostener el indicador fuerte y firmemente sobre la estructura y además debe ser capaz de brindar elasticidad bajo el indicador sin rajarse. Para algunas aplicaciones el adhesivo - también debe ser resistente a la humedad, temperatura y otras condiciones ambientales extremas.

3.3.- Indicador de Fuerza no Soldado.

Como se menciona al final del punto anterior el indicador de fuerza no soldado se usa para contrarrestar el efecto de la temperatura, este indicador se puede montar en la misma estructura - en una dirección perpendicular a la dirección de la fuerza, según se muestra en la figura número 7.

Figura No.7 CELDA DE CARGA QUE MUESTRA COMO LOS INDICADORES DE FUERZA SE PUEDEN MONYAR PARA COMPENSAR LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA



Esto se hace con una celda típica usada para medir --
cargas pesadas. Cada indicador se puede usar como la rama de un puen-
te de resistencia. Cualquier cambio de resistencia debido a tempera-
tura será igual en ambos indicadores y el puente permanecerá balan-
ceado. De esta manera, las variaciones debidas a temperatura se pue-

den eliminar como fuente de error.

Puesto que los indicadores soldados requieren de una gran fuerza para tener cambios medibles en sus dimensiones, las fuerzas pequeñas se deben medir con indicadores de diseño diferente. Un diseño que produce dispositivos más sensibles es el utilizado en el llamado indicador de fuerza sin soldar y su nombre se deriva del hecho que los alambres del indicador se unen a un soporte fijo y otro móvil y por lo tanto se necesita tan solo una pequeña fuerza para cambiar la longitud del alambre, como se muestra en la figura número 8.

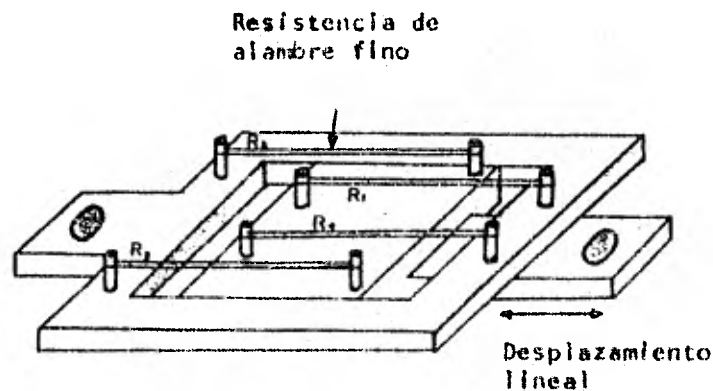


Figura No.8 INDICADOR DE FUERZA NO SOLDADO

Este tipo de indicador es capaz de detectar fuerzas entre 4 gr. y 2.30 Kgr.

La razón entre el cambio fraccional de resistencia - $(\Delta R / R)$ al cambio fraccional de la longitud del alambre $(\Delta l / l)$ suministra una medida de la sensibilidad del indicador de fuerza. A esta razón se llama el factor del indicador (GF):

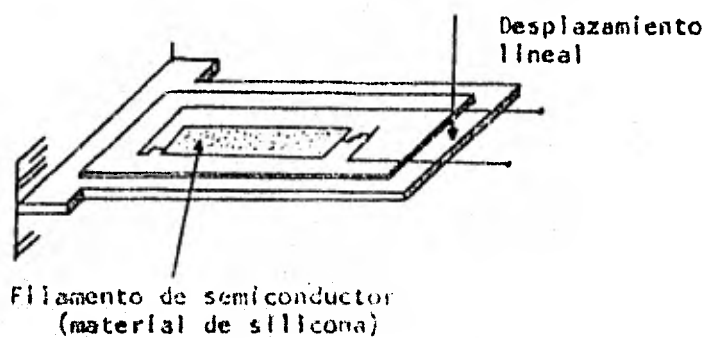
$$GF = \frac{(\Delta R / R)}{(\Delta l / l)}$$

Un valor típico de GF está entre 2 y 3 para indicadores de fuerza de alambre metálico. Sin embargo, si el indicador de fuerza se construye con materiales especiales semiconductores, el GF asociado puede ser tan alto como 130. (ver figura número 9.)

Por consiguiente el indicador de fuerza de semiconductor es conveniente para medir tensiones más bajas que aquellas que se pueden medir con indicadores de fuerza metálicos. Desafortunadamente, los indicadores de fuerza de semiconductores son mucho más sensi

bles a las fluctuaciones de la temperatura que los de alambre metálico en consecuencia, se deben usar en sistemas con diseños efectivos de compensación por temperatura.

Figura No.9 INDICADOR DE FUERZA SOLDADO DE SEMICONDUCTOR



3.4.- Errores por Diferencia de Temperatura.

Las resistencias eléctricas son dispositivos muy exactos para la medición de temperaturas, que consiste en esencia, de un elemento resistivo que se expone a la temperatura por medir. De esta manera, el cambio en la resistencia eléctrica del material constituirá una indicación de la temperatura.

Existen varios tipos de materiales que pueden utilizarse como elementos resistivos; los cuales son:

COEFICIENTES DE RESISTENCIAS POR TEMPERATURA A TEMPERATURA AMBIENTE °C⁻¹

| | |
|---------------------|---------------|
| Níquel | 0.0067 |
| Hierro (aleaciones) | 0.002 a 0.006 |
| Tungsteno | 0.0048 |
| Aluminio | 0.0045 |
| Cobre | 0.0043 |
| Plomo | 0.0042 |
| Plata | 0.0041 |
| Oro | 0.004 |

| | |
|--------------------------------|-----------------|
| Platino | 0.00392 |
| Mercurio | 0.00099 |
| Magnanina | +0.00002 |
| Carbón | -0.02 a -0.09 |
| Semiconductor (termistores) | -0.068 a + 0.14 |

El coeficiente de resistencia por temperatura se define por:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \frac{T_2 - T_1}{T_1}}$$

Donde R_1 y R_2 , son las resistencias del material a las temperaturas T_1 y T_2 respectivamente. La relación anterior se aplica generalmente en un rango limitado de temperaturas, en el que la variación de la resistencia con la temperatura sea aproximadamente lineal. Cuando se desea abarcar rangos mayores, la resistencia con la resistencia del material se expresa generalmente por la relación cuadrática siguiente:

$$R = R_0 (1 + aT + bT^2)$$

R es la resistencia a la temperatura T .

R_0 es la resistencia 0°F

a, b son constantes determinadas experimentalmente.

Dependiendo de la aplicación, existen varios métodos para fabricar transductores por resistencia. En todos los casos se debe estar seguro de que la resistencia esté libre de esfuerzos mecánicos, y esté colocado. De tal manera que no tenga contacto con la humedad, ya que ésta perturba la medición.

La medición de la resistencia se puede llevar a cabo mediante un circuito puente. En las mediciones estáticas, bastará -- con equilibrar el puente, mientras que en las mediciones de transitorios, habrá que medir por deflexión. Una de las fuentes principales de error en estos transductores es el efecto que produce la resistencia de los alambres que conectan el elemento sensor con el puente.

Para corregir lo anterior se han ideado algunos arreglos que se basan en la condición de equilibrio tal que el hilo cen-

tral no conduce corriente con lo que se cancela el efecto de la resistencia de los otros dos. El arreglo callender de cuatro hilos resuelve el problema colocando dos hilos adicionales en el brazo ajustable del puente de tal manera que se anule el efecto de los alambres que conectan al sensor del puente. El arreglo de potencial flotante esta provisto de un hilo adicional, el cual puede servir para comprobar que las resistencias de los alambres, son iguales. De esta manera si se efectúa una lectura en la posición mostrada y a continuación se hacen otras en las que se intercambien sucesivamente los hilos de la izquierda y la derecha, se tendrá que el promedio de las lecturas proporcionará un valor en el que se ha minimizado el error por efecto de resistencia de los alambres.

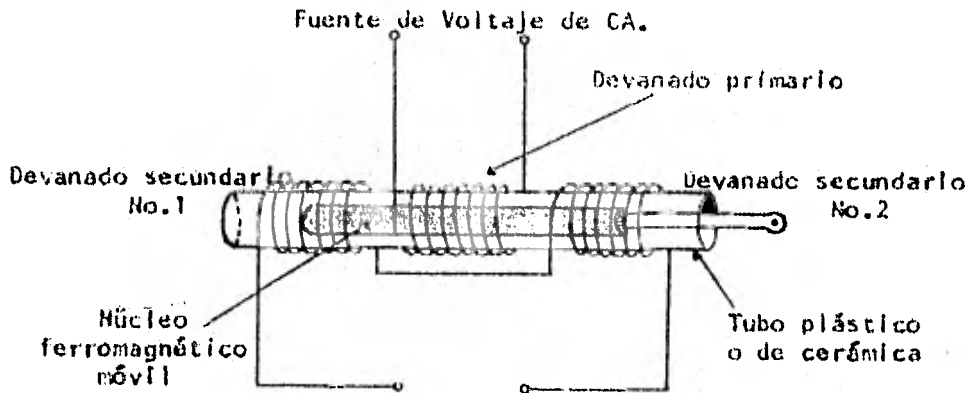
3.5- Transformador Diferencial con Variación Lineal. (LVDT)

Tal como el indicador de fuerza, este también produce una señal eléctrica que es linealmente proporcional al desplazamiento mecánico. Los desplazamientos que se pueden detectar por medio del LVDT son relativamente grandes comparados con los que se logran con el indicador de fuerza. Por lo tanto, los LVDT son convenientes en aquellas aplicaciones donde los desplazamientos son muy grandes para emplear un indicador de fuerza. Por ejemplo, los LVDT pueden detectar desplazamientos desde micropulgadas hasta pulgadas. A menudo se utilizan con otros transductores puesto que se pueden conectar a los que tengan una salida mecánica.

Como se muestra en la figura número 10. , el LVDT-sensa desplazamientos por medio del movimiento de un núcleo ferromagnético dentro de un transformador especial.

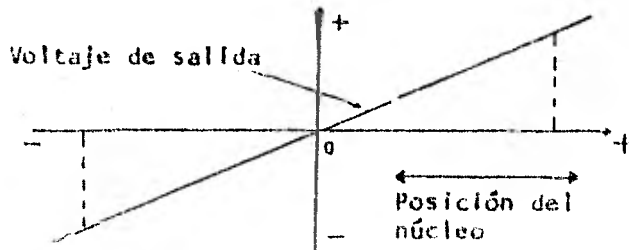
El transformador tiene un devanado primario y dos devanados secundarios. Todos los tres están devanados sobre un mismo tubo aislador hueco. El devanado primario se encuentra en el centro-

Figura No.10 TRANSFORMADOR DIFERENCIAL CON VARIACION LINEAL



Voltaje de salida del LVDT, V_o

Diagrama esquemático



Desplazamiento del núcleo



Voltaje en función lineal de la posición del núcleo en un LVDT

del tubo y los dos devanados secundarios en los extremos con igual número de vueltas y conectados en serie-oposición. Esto significa que si el acoplamiento entre cada devanado secundario y el primario es igual, el voltaje V_0 , a través de los alambres de los devanados secundarios será cero, aún cuando el devanado primario esté excitado con una señal de ca.

Si el núcleo ferromagnético está centrado con respecto a la longitud del transformador, el acoplamiento es mutuo entre cada devanado secundario y el primario es igual. Mientras esta condición exista, $V_0 = 0$. Sin embargo, si el núcleo se mueve de su posición central, el acoplamiento mutuo entre cada devanado secundario y el devanado primario ya no será igual. Por ejemplo si el núcleo en la figura número 10.

Se mueve a la derecha, el acoplamiento mutuo entre el devanado secundario N° 2 y el primario incrementa, mientras que el acoplamiento mutuo entre el devanado secundario N°1 y el primario decrece. Un traslado del núcleo a la izquierda tendrá un efecto contrario. Como resultado de los cambios en el acoplamiento mutuo, el voltaje V_o , a través de los alambres de salida conectados a los devanados secundarios ya no será cero, además este voltaje de salida será proporcional linealmente a la magnitud del desplazamiento.

La sensibilidad de un LVDT se especifica en $mV/0.001$ - mil . Su voltaje de salida actual se encuentra multiplicando la sensibilidad, el desplazamiento y el valor eficaz del voltaje de entrada. Como resultado, la salida de voltaje puede ser de varios voltios o más. Esto da al LVDT una gran salida de voltaje comparada con muchos otros transductores. Además, los LVDT suministran una salida cuya resolución es continua.

3.6.- Potenci6metro de Movimiento lineal.

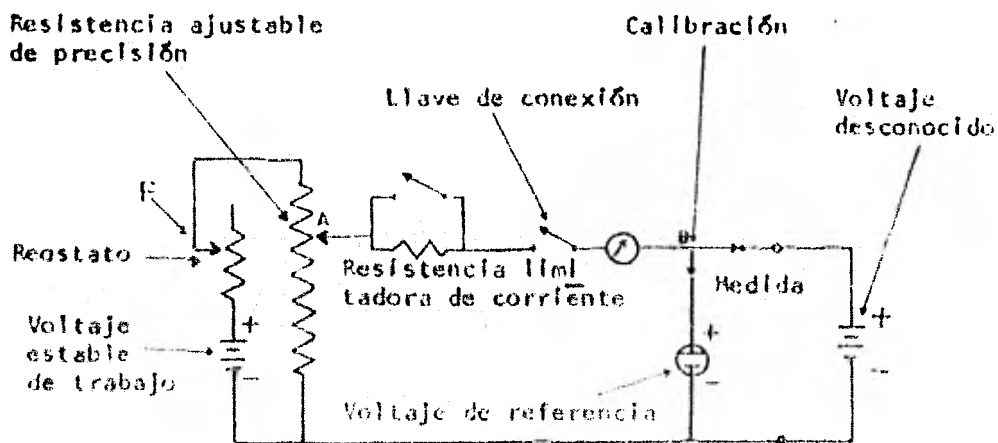
A este tipo de transductores tambien se les conoce como transductores de resistencia variable y su funcionamiento consiste, en transformar un movimiento mecánico en un cambio de resistencia, este transductor se puede construir en forma, de un contacto que se mueve sobre un alambre; un contacto se mueve sobre una bobina de alambre, ya sea con un movimiento lineal o angular, o un contacto -- que se mueve angularmente sobre un conductor sólido, como una pieza de grafito. A este dispositivo tambien se le denomina potenci6metro o re6stato y se puede conseguir comercialmente en diferentes demen-- siones, diseños y rangos.

La desventaja que presenta este tipo de transductores es que no son muy precisos debido a que el valor de las resistencias cambia con la temperatura y condiciones ambientales, a demás como -- utilizan metodos mecánicos para hacer la medici6n, esto implica que la medici6n no sea muy exacta. Sin embargo este tipo de transductores es barato y se puede utilizar en mediciones en las cuales no se re-- quiera de mucha precisi6n.

El potenciómetro manual es el más simple de los instrumentos. Puesto que es más fácil comprender los principios generales de las mediciones con el potenciómetro a partir del estudio de un instrumento simple, vamos a discutir el potenciómetro manual de movimiento lineal.

La operación de este potenciómetro se puede entender mucho mejor con la ayuda de un diagrama eléctrico que muestre sus principales elementos.

Figura No.11 CIRCUITO PARA MEDIR PRESION MEDIANTE UN POTENCIOMETRO



La resistencia ajustable de precisión es realmente el corazón de todo el dispositivo. Básicamente consiste de una longitud de alambre cuya resistencia total se conoce muy exactamente dentro de un $\pm 0.02\%$ más. Además la sección transversal del alambre se conserva extremadamente uniforme de tal forma que cualquier fracción de su longitud total contendrá la misma fracción de su resistencia total. Si una corriente de 10.0 mA fluye en este elemento resistivo de 150 ohms existirá una caída de voltaje de 1.5 V a través de toda su longitud.

Un cursor deslizable se une a la resistencia de precisión de tal forma que una fracción conocida del voltaje total a través de la resistencia se puede "tomar" colocando el cursor en esa fracción de la longitud de la resistencia. La posición de este cursor a lo largo del elemento resistivo se indica en unidades de voltaje por medio de los diales del potenciómetro.

El propósito del voltaje de trabajo y el restato es el de suministrar una cantidad de corriente exacta que fluya por el elemento resistivo de precisión. El valor de esta corriente se escoge de tal forma que produzca números convenientes para el cálculo de los voltajes medidos por el instrumento. Para asegurarse que el vol-

taje de trabajo y el reóstato suministran actualmente el valor deseado de corriente a la resistencia de precisión, se emplea una fuente de voltaje exacto como dispositivo de calibración.

En el proceso de calibración del potenciómetro el cursor de la resistencia de precisión se coloca en una posición que establezca algún valor conveniente de corriente. Pueden ser 10 mA que fluyan en el alambre cuando está calibrado convenientemente. Por ejemplo, si la resistencia de 150 ohms, 150 cm en la que se está usando, el cursor se coloca en el punto de 101,9 cm de alambre, la resistencia del alambre desde ese punto hasta el punto de tierra del potenciómetro es de 101.9 ohms. Si una corriente de 10 mA fluye en el alambre, existe una caída de voltaje de 1,019 V entre ese punto de tierra. Para calibrar el potenciómetro se conecta al mismo punto del cursor un detector de corriente que se conecta entre el cursor en la resistencia de precisión y el terminal positivo de la celda estandar. Si la caída de voltaje a través de la resistencia de precisión es actualmente igual a 1,019 V no fluirá corriente en la rama del circuito que contiene el detector porque no hay caída de voltaje entre los puntos A y B.

Puesto que el valor de la resistencia del potenciómetro de alambre se conoce que es de 101,9 ohms entre el punto A y tierra, se conoce que fluyen exactamente 10.0 mA en el alambre.

Si por otra parte, no fluyen 10.0 mA en la resistencia, el punto A no estará a un potencial de 1,019 V. En este caso, habrá una diferencia de potencial entre los puntos A y B y fluirá una corriente en la rama que existe entre ellos. Este flujo de corriente es detectado por el galvanómetro. El reóstato conectado con la batería de un trabajo y la resistencia de presión se debe ajustar de tal forma que el flujo de corriente sea de 10 mA. En ese punto el galvanómetro detectará que no hay flujo de corriente entre los puntos A y B del circuito.

Una vez que la magnitud de la corriente que fluye en la resistencia de precisión se calibra en esta forma, el potenciómetro está listo para hacer mediciones de voltaje. A partir de este instante, el reóstato no se debe tocar. Cuando un voltaje desconocido se conecta al instrumento, el cursor de la resistencia de precisión se mueve hasta una posición donde el galvanómetro indique de nuevo que no hay flujo de corriente. En este punto, se conoce que el

voltaje desconocido es igual a la caída de voltaje a través de la --
fracción de la resistencia de precisión que existe entre el cursor y
tierra.

3.7.1.- Transformador Diferencia con Variación Rotacional (TDVR).

El TDVR es la aplicación del principio de funcionamiento del transformador diferencial con variación lineal para un movimiento rotacional.

Consiste en un núcleo de bobina de construcción especial que gira al rededor de un eje, formando el centro de una bobina montada coaxialmente.

Diseñando cuidadosamente la bobina se obtiene un voltaje de salida proporcional a la posición angular del núcleo dentro de un rango relativamente grande.

Sus características y usos son semejantes a las del transformador diferencial con variación lineal.

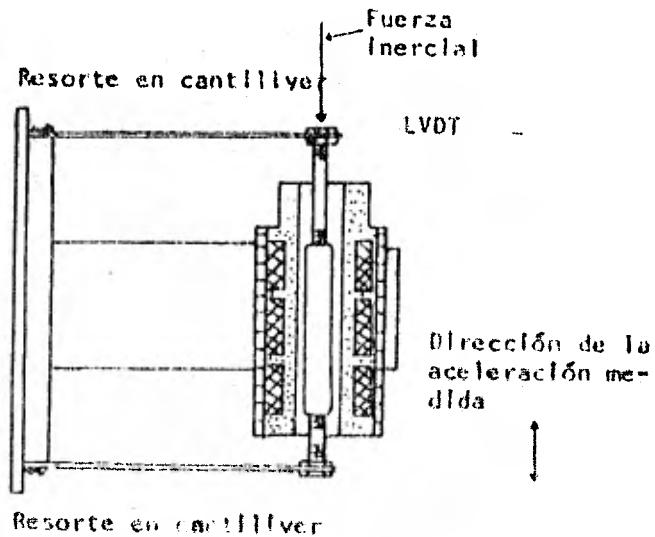
3.7.2.- Acelerómetro con LVDT.

Como un ejemplo de la amplia variedad de usos en los cuales el LVDT se utiliza, examinaremos el acelerómetro con LVDT .

Estos acelerómetros se utilizan para detectar terremotos y para medir la aceleración de los proyectiles. (Otros acelerómetros empleados para detectar choques y vibraciones emplean transductores de cristal piezoeléctrico).

Una forma de acelerómetro con LVDT se muestra en la figura número 12.

Figura No.12 ACELEROMETRO CON LVDT



(LVDT) TRANSFORMADOR DIFERENCIAL CON VARIACION LINEAL.

Vemos que el núcleo magnético del LVDT se conecta por medio de dos resortes en cantiliver a una gran pieza externa del --- equipo. Si esta pieza del equipo se acelera en la dirección mostrada entonces el núcleo soporta una fuerza proporcional a la aceleración--- y por lo tanto dobla los resortes en cantiliver. El cambio en la posición del núcleo es por consiguiente proporcional a la aceleración--- obteniéndose un voltaje de salida que también es proporcional a --- ella.

Un acelerómetro típico para proyectiles tiene un voltaje de salida de 2 V eficaces/g, con voltaje de entrada de 11-V, -- 400 Hz.

CAPITULO IV TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

4.1.- Descripción.

Una amplia variedad de transductores se emplean para medir temperatura. Algunos de ellos convierten temperatura directamente en señal eléctrica y otros se deben usar en combinación con un transductor eléctrico para convertir la indicación de temperatura a una forma eléctrica. Los transductores de temperatura son:

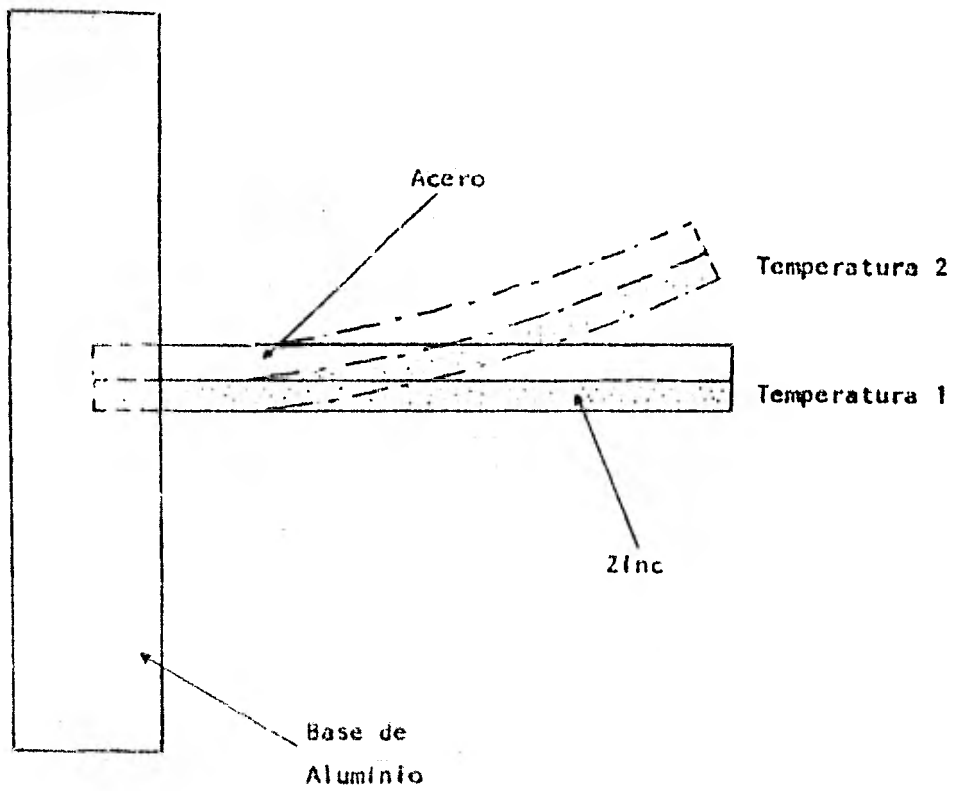
- 1.- Cintas bimetálicas.
- 2.- Termistores.
- 3.- Termómetros de resistencia.
- 4.- Termocuplas.
- 5.- Pirómetros de radiación.

Cada uno de ellos es el que mejor se adapta a una aplicación particular o un rango de temperatura.

4.2.- Cintas Bimetálicas.

La cinta bimetálica se construye por medio de dos ---

Figura No.13 CINTA BIMETALICA



cintas unidas de metales diferentes. Debido a la diferencia en los coeficientes de expansión térmica de los dos metales, el calentamiento de toda la cinta origina que uno de los dos metales se expanda longitudinalmente más que el otro. Puesto que las cintas están soldadas a lo largo de toda su extensión, toda la cinta se doblará en la dirección del metal que se expanda menos. La extensión del doblamiento es proporcional al cambio de temperatura. Si un extremo está sujeto firmemente mientras que el otro está libre, la magnitud del doblamiento se puede emplear para indicar el cambio de temperatura.

Las cintas bimetalicas se utilizan actualmente más como dispositivos de control que como indicadores de temperatura. En este papel se utilizan como termostatos para controlar los interruptores on/off de los hornos, refrigeradores, planchas y estranguladores automáticos de los automóviles.

4.2. Termómetros de Resistencia.

Los materiales cambian el valor de sus resistencias eléctricas con la temperatura. Este efecto hace posible el medir temperatura por medio del registro del cambio de resistencia de un

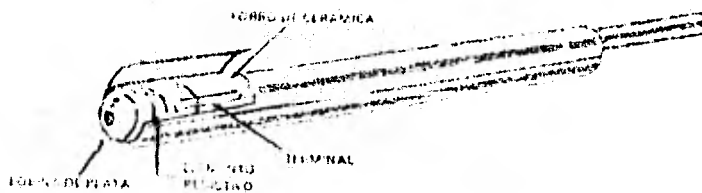
Dispositivo que conduce una corriente. El termómetro de resistencia es un dispositivo cuya operación se basa en este efecto. Los materiales utilizados para la construcción de los termómetros de resistencia son normalmente bobinas de alambre fino de cobre, níquel ó platino. Para trabajo a muy bajas temperaturas (esto es, menores de 50°K) se usan resistencias de carbón.

La bobina del termómetro de resistencia está encapsulada en un tubo de metal para protegerla de los daños cuando se inserta en las regiones donde se va a medir la temperatura. El tubo es hecho de un material con una alta conductividad térmica para que permita una respuesta rápida a los cambios de temperatura. La resistencia del platino contra temperaturas es casi lineal, mientras que la resistencia del cobre y el níquel son progresivamente menos lineales. Por consiguiente, los termómetros de resistencia de alambre de platino son los más exactos y se pueden usar para indicar temperaturas entre 259°C y 1300°C. En efecto, los termómetros de alambre de platino son tan exactos que se utilizan patrones de interpolación para temperaturas entre -183°C (punto de ebullición del oxígeno líquido) y +630.5°C (punto de congelamiento de antimonio).

Puentes de Wheatstone se emplean para sensar los ---

cambios de resistencia que surgen en los termómetros de resistencia. Los puentes se calibran normalmente para que indique directamente -- los cambios de temperaturas que originan los cambios de resistencia.

Figura No.14 TERMOMETROS DE RESISTENCIA



4.4.- Termistores.

Los termistores también son dispositivos que miden temperatura a través del efecto de cambio de resistencia. Sin embargo, la resistencia de los materiales con los cuales se fabrican los termistores decrecen con el incremento de la temperatura en el rango de -100°C a $+300^{\circ}\text{C}$. En algunos termistores el decrecimiento de la resistencia es tanto como un 6 % por cada 1°C de cambio de la tempe

ratura (aún cuando es más típico un cambio del 1 %).

El decrecimiento de la resistencia que ocurre en los termistores tiene que ver con las propiedades químicas de los enlaces de los electrones en los materiales semiconductores. En estos materiales, los electrones de valencia están sujetos por enlaces covalentes con sus vecinos. A medida que se incrementa la temperatura del termistor, la vibración térmica de los átomos rompe algunos de estos enlaces y libera electrones. Puesto que ya los electrones no están enlazados a átomos específicos de la estructura, son capaces de responder a campos eléctricos aplicados y pueden moverse a través del material. Estos electrones móviles se suman a la corriente en el semiconductores y el material aparenta tener una resistencia menor.

Puesto que el cambio de resistencia por grado de cambio de la temperatura en los termistores es tan grande, pueden suministrar muy buena exactitud y resolución cuando se usan para medir temperaturas entre -100°C y -300°C si el termistor se conecta a un puente de Wheatstone el sistema de medición puede detectar cambios de temperatura tan pequeños como $\pm 0.005^{\circ}\text{C}$.

Los termistores se fabrican más comúnmente en la for-

ma de pequeñas cuentas. Debido a su pequeño tamaño, se pueden insertar en regiones donde otros dispositivos sensores de temperatura no se pueden colocar. En la figura número 15. se muestran las formas en que se fabrican los termistores, a una escala de 1:1

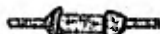
Figura No.15 TERMISTORES



Cuenta



Arandela



Rodillo



Disco

4.5.- Termocuplas.

La operación de las termocuplas se basa en el principio físico de que si dos metales diferentes se juntan y el punto de unión se calienta (o se enfría), aparece una diferencia de voltaje-

a través de los extremos sin unir y sin calentar. La magnitud de la diferencia de voltaje resultante es únicamente del orden de los milí voltios. Sin duda alguna, la diferencia de voltaje es directamente - proporcional a la diferencia de temperatura que existe entre la unión calentada y los extremos más fríos. Si se emplea un detector lo suficientemente sensible, se puede medir la diferencia de temperatura por medio de la termocupla. Las combinaciones de metales más usadas comúnmente son las siguientes: hierro y constantanio; cromel - (aleación de níquel y cromo) y aluvel (aleación de aluminio y níquel) platino y radio-platino.

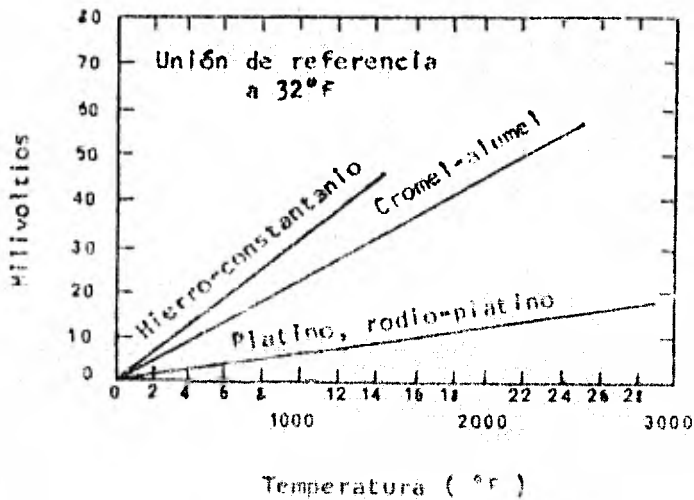
En la primera combinación es conveniente para temperaturas hasta de 900°C; la segunda para temperaturas hasta de ----- 1150°C y la tercera para temperaturas hasta de 1600°C.

La termocupla típicamente se coloca dentro de la reacción cuya temperatura se va a determinar. La temperatura de los dos extremos fríos se mantiene fija y se mide el voltaje entre ellos. A partir de estos datos se calcula la temperatura de la unión. A continuación se muestra la relación entre la salida de voltaje de dos - termocuplas contra temperatura para cada una de las combinaciones de los tres metales que se mencionan anteriormente.

Puesto que la salida a través de los extremos fríos de la termocupla es de unos pocos milivoltios, se necesita un voltímetro sensible para medir este voltaje por tanto los potenciómetros o los voltímetros digitales altamente sensibles se utilizan generalmente como los dispositivos de medición.

Figura No.16

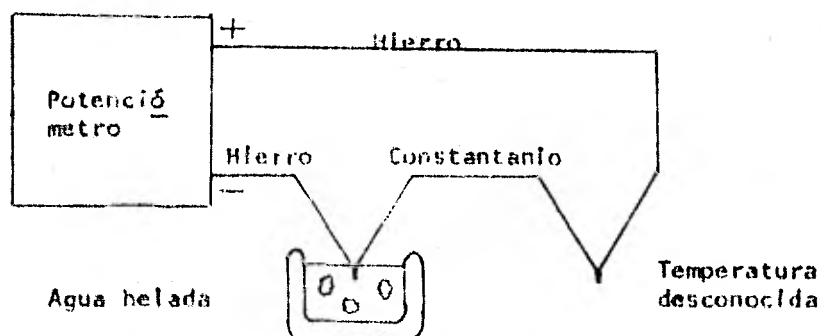
Salida de voltaje contra temperatura para los materiales utilizados más comúnmente en la construcción de las termocuplas



En la figura número 17, se muestra un método práctico para conectar una termocupla a un instrumento indicador para medir temperaturas.

Las termocuplas son dispositivos resistentes y exactos como medidores de temperatura. Sin embargo, no responden rápidamente a los cambios de temperatura y por lo tanto no se emplean para registrar temperaturas que cambian rápidamente con el tiempo.

Figura No.17 CONEXION DE UNA TERMOCUPLA



4.4.- Pirómetros de radiación.

Los pirómetros de radiación son dispositivos que sen son la temperatura midiendo la radiación óptica emitida por cuerpos calientes. Entre más alta es la temperatura a la cual se calienta -

el cuerpo, mayor es la frecuencia dominante en la radiación emitida. Esto significa que a medida que la temperatura de un cuerpo se incrementa hasta el punto donde empieza a emitir luz visible, la superficie del cuerpo tendrá primero un color rojo pálido. A medida -- que el cuerpo se calienta y se torna más incandescente su superfi-- cie se hace progresivamente menos roja y más blanca.

Para detectar la radiación el pirómetro no necesita colocarse sobre el cuerpo ó dentro del horno ó región de medición.-- Lo único que se necesita es apuntarlo hacia la región calentada de interés para hacer la medición.

El pirómetro del tipo de filamento desaparecido utiliza un filamento de alambre caliente para suministrar un patrón de temperatura radiante. Una corriente eléctrica que pasa por el filamento suministra un método exacto de calentamiento. Cuando el filamento se calienta a la misma temperatura que existe en la superficie a partir del valor de esta corriente. Debido a que un cuerpo empieza a emitir luz visible cuando se calienta hasta cerca de --- 775°C, el pirómetro de filamento desaparecido puede medir temperaturas desde este punto hasta cerca de 4,200°C.

En el pirómetro del tipo más brillante, la radiación de la superficie calentada a examinar se conecta por medio de un lente y se enfoca hacia un termistor o termocupla. Puesto que todas las superficies emiten radiaciones en proporción a T^4 (donde T es la temperatura de la superficie en grados Kelvin), la radiación medida por este instrumento se puede calibrar para que de él valor de la temperatura de la superficie directamente. Sin embargo, este tipo de pirómetro se calibra por comparación con los radiadores cercanos al cuerpo negro ideal. Por consiguiente, las temperaturas leídas en superficies que no poseen tales propiedades emisivas ideales se deben corregir para tener en cuenta esta discrepancia.

En la figura número 18, se muestra el principio del pirómetro óptico del filamento desaparecido (a) Demasiada corriente en el filamento eleva su temperatura por encima de la superficie (b) Filamento del alambre muy frío. No pasa suficiente corriente a través de él (c) El filamento desaparece cuando alcanza la misma temperatura de la superficie del objeto.

Figura No.18



CAPITULO V

TRANSDUCTORES DE PRESIÓN Y GASTO

5.1.- Descripción.

Puesto que, tanto los líquidos como los gases actúan en muchos aspectos como fluidos, normalmente se pueden registrar muchas de sus propiedades empleando el mismo tipo de transductores, esto es especialmente cierto con las propiedades de presión y gasto.

La presión se presenta como una fuerza por unidad de área. La presión resulta de un intercambio de cantidad de movimiento entre las moléculas de un fluido y la pared del recipiente que lo contiene.

La presión se puede describir de muchas formas. Si el valor de la presión se toma con respecto al vacío, este tipo de presión se le llama presión absoluta. Cuando el valor de la presión se comparará con el valor de la presión absoluta del aire al nivel del mar, se llama presión relativa. Si la presión de interés es la diferencia de presiones entre los fluidos o la diferencia de presiones en diferentes partes del mismo fluido, lo que se describe es una presión diferencial.

La presión se puede medir directamente si se cambia a un parámetro eléctrico. También se puede medir si se produce un desplazamiento mecánico.

La medición del gasto es importante en aplicaciones que van desde la medición de la rapidez del fluido sanguíneo en una arteria humana, hasta la medición del gasto del combustible en un cohete.

Muchos proyectos de investigación y de procesos industriales dependen de una medición de gasto para suministrar datos importantes al análisis. En algunos se requiere una gran precisión en la medición, mientras que en otros solo se requiere que sea aproximada.

5.2.- Medidor Térmico.

Se usa en el rango de 10^{-3} a 1 mm. de Hg. La conductividad térmica de un gas varía con la presión. Esto ha sido la base para el desarrollo de los transductores de presión, utiliza una resistencia eléctrica cerca del elemento sensor, y mide la termopéc

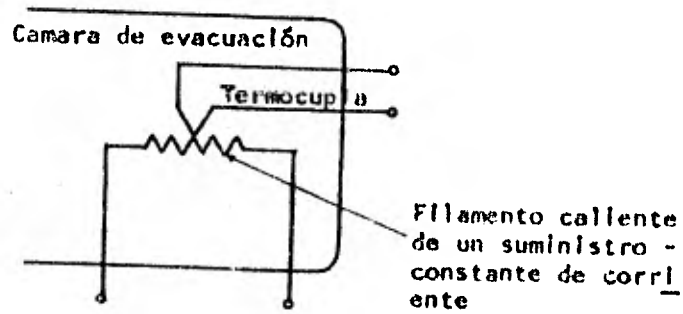
El Irid y la termoresistencia se usan como elementos transductores.

Este medidor es utilizado para construir el medidor de termopar y el medidor pirani.

5.3 Medidor de Termopar.

En la figura número 19. se muestra un medidor de termopar.

Figura No.19
MEDIDOR DE
TERMOPAR



La resistencia se calienta de 50 a 400°C para una corriente constante dada. El voltaje desarrollado por el termopar es función de la temperatura, la que es determinada por el calor trans-

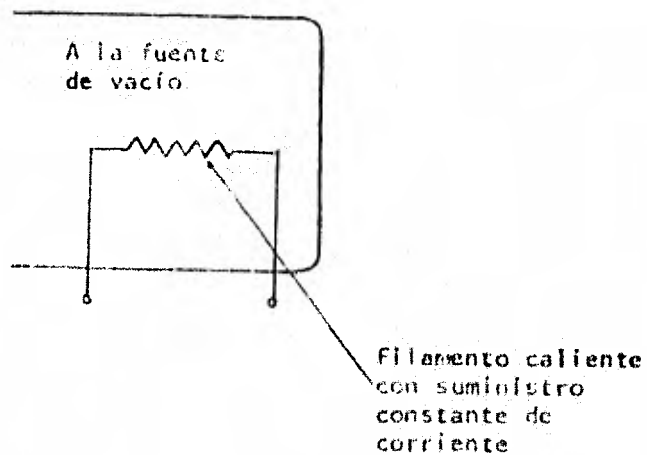
que el fluido por la resistencia. Estos aparatos deben calibrarse cuidadosamente, elevarse frecuentemente y recalibrarse para cada muestra que se utilice, éstos son robustos y baratos.

3.4.- Medidor Pirani.

A presiones bajas la conductividad térmica efectiva de los gases decrece conforme a la presión. Este dispositivo mide la presión a través del cambio en la conductividad térmica del gas.

En la figura número 20. se muestra un esquema de este aparato.

Figura No.20



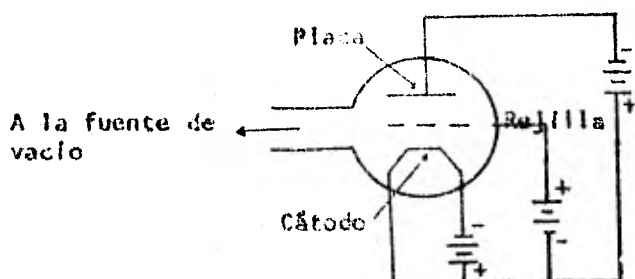
En la figura número 20. se observa una resistencia- que esta localizada dentro de un espacio al vacio, se calienta eléc- tricamente, las perdidas de calor que sufre la resistencia, depende de la conductividad térmica del gas y de la temperatura a la que se encuentra la resistencia. De esta manera, cuanto más baja es la pre- sión, menor será la conductividad térmica y consecuentemente, la -- temperatura de la resistencia será mayor para una entrada de ener- -- gía electrica dada. La medición se realiza mediante la observación- de la variación de la resistencia del material (Tungsteno, platino, etc.) de la misma. Esta medición puede efectuaese con un circuito puente apropiado.

Estos son robustos y económicos, y generalmete más - precisos que los de termopar, pues estos deben calibrarse individu- almente y checarsse frecuentemente.

5.5.- Medidor por Ionización.

En la figura número 21. se muestra un medidor por-- Ionización.

Figura No.21 MEDIDOR POR IONIZACION



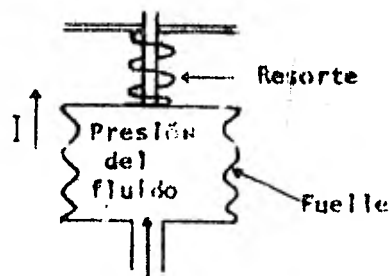
El cátodo emite electrones, que se aceleran mediante la rejilla cargada positivamente. Cuando los electrones se mueven -- hacia la rejilla, ionizan las moléculas del gas por efecto de las -- colisiones. La placa cargada negativamente atrae los iones positivos produciéndose una corriente de placa. Los electrones y los iones negativos son atraídos por la rejilla, lo que produce una corriente de rejilla. La producción de iones depende de la presión y el número de electrones. Estos se usan en el rango de 10^{-12} a 10^{-5} mm. de Hg. Modificándolos pueden usarse para presiones hasta de 10^{-17} mm. de Hg.- Para presiones mayores existe el peligro de quemar el cátodo.

5.6.- Medidor de fuelle.

Este es uno de los dispositivos que se utilizan para convertir presión en desplazamiento mecánico.

En la figura número 22. se muestra un medidor de fuelle:

Figura No.22
MEDIDOR DE
FUELLE



Por el fuelle flexible entra el fluido y la presión lo extiende en la dirección I. En los fuelles de baja presión, el resorte externo que se ve en la figura, no se usa. Por lo que sólo se emplea la elasticidad del fuelle para resistir la presión. Para altas presiones se utiliza un resorte externo para obtener una fuerza resistente adicional contra la presión.

La extensión del fuelle ocasionada por la presión mueve un rodillo, el cual está conectado a un transductor de posición- que convierte el desplazamiento en una señal eléctrica. Dependiendo

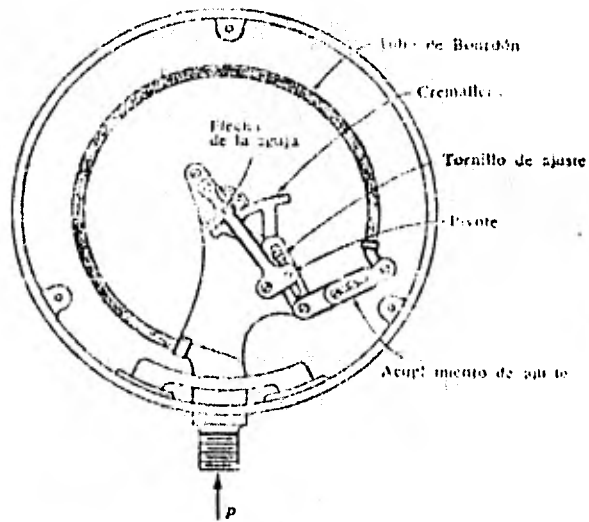
del diseño del fuelle y el resorte, se pueden medir presiones relativas y absolutas. Es sensible a las vibraciones por lo que no se puede usar para medir transitorios.

5.7.- Medidor tipo Bourdon.

Este aparato tiene gran variedad de aplicaciones, -- esencialmente en aquellos casos donde se desea una medición barata de presión estática. Se ofrecen comercialmente en muchos tamaños y exactitudes. Existea de diseño especial para laboratorio.

Como se muestra en la figura número 23, generalmente el tubo de Bourdon es plano y hueco que se curva en forma de C. Cuando se introduce un fluido bajo presión dentro de él, el tubo trata de enderezarse. La magnitud del enderezamiento es proporcional a la presión. Duesto que la salida del tubo es un desplazamiento mecánico el extremo del tubo se puede conectar a un transductor eléctrico ó a un mecanismo de relojería, que convierta este desplazamiento en una señal eléctrica ó en una rotación angular que se detecta mediante -- una aguja.

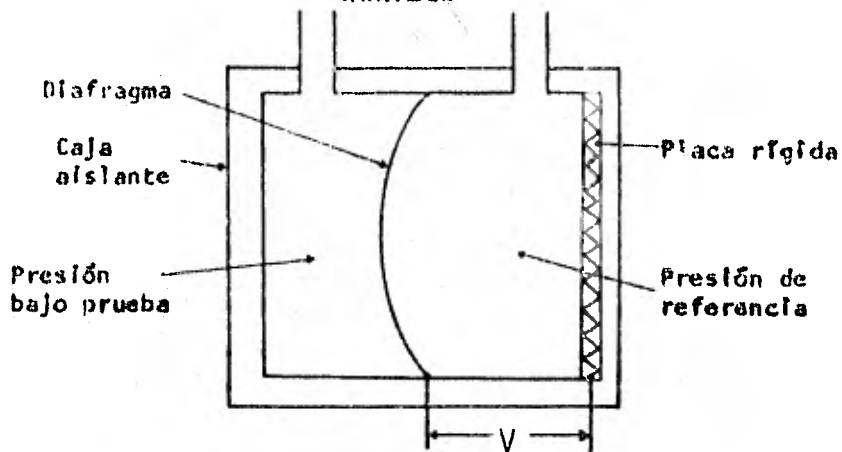
Figura No.23 TUBO DE BOURDON



5.8.- Medidor de Diafragma.

En la figura número 24. se muestra un medidor de diafragma de capacitancia variable.

Figura No.24 MEDIDOR DE DIAFRAGMA DE CAPACITANCIA VARIABLE



La presión de referencia del transductor de este caso puede ser la presión atmosférica (para una medición de presión relativa), el vacío (para medición absoluta) ó un fluido con una segunda presión (para una medición diferencial de presión).

Un diafragma retórico dentro del transductor se acerca y se aleja de una placa rígida y por lo tanto origina un cambio en la capacitancia de la estructura.

Si la capacitancia forma parte de un circuito oscila-

dor, la frecuencia de éste cambiará a medida que varía la capacitancia, el cambio de frecuencia se puede registrar para indicar la variación de presión. Este transductor es de los más resistentes y exactos para la medición de presiones. Se pueden construir para que responda a un amplio rango de valores de presión, midiéndola a alta o baja frecuencia.

5.9.- Rotámetro.

Es uno de los aparatos usados para la medición del gasto, el cual se muestra en la figura número 25.

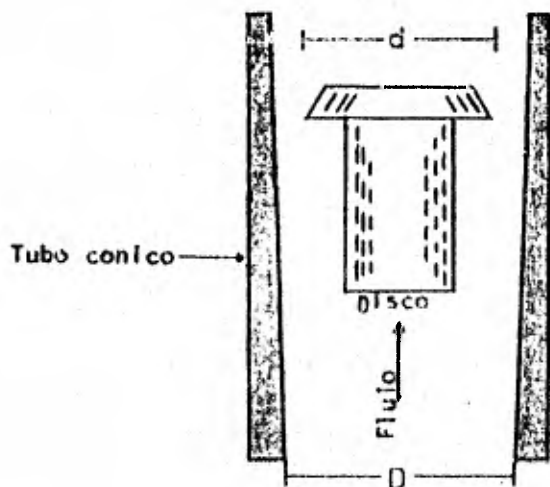


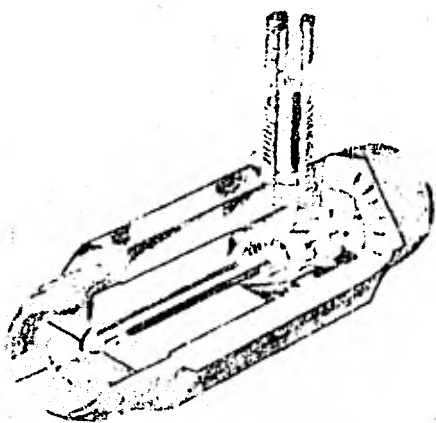
Figura No. 25
ROTAMETRO

En este aparato el fluido entra por la parte inferior del tubo vertical cónico, lo cual origina que el disco ó flotador se desplace hacia arriba, el desplazamiento cesará en el punto en que la fuerza de arrastre iguale la magnitud de la fuerza de flotación y el peso del disco. En estas condiciones la posición del disco dentro del tubo será una indicación del gasto. La medición puede hacerse por medio de un transductor de desplazamiento acoplado al disco.

5.10.- Medidor de Flujo de Turbina.

Este medidor es el aparato más común. Suministra un método directo para medir el gasto tanto en los líquidos como en los gases. Son particularmente útiles para el registro remoto y en las aplicaciones aeronáuticas.

Figura No.26 MEDIDOR DE FLUJO DE TURBINA



Como lo indica la figura número 26 consiste de un --- rotor montado dentro de un tubo a través del cual fluye el líquido. El flujo del líquido hace girar el rotor. A mayor gasto, mayor es la velocidad de rotación. Las aletas del rotor son metálicas y un captador o transductor magnético montado en la pared del tubo sensa el paso de cada aleta como un pulso eléctrico. La frecuencia de los pulsos es proporcional a la velocidad a la cual gira el rotor y por consiguiente al gasto del líquido. Existen medidores para un gasto de - 0.01 galones por min. hasta más de 350,000 galones por min.

5.11.- Medidor Magnético de Flujo.

Se usa para medir el gasto de fluidos conductores de electricidad. Tiene la ventaja que no presenta ninguna clase de obstrucción al paso del fluido durante la medición. Este aparato se basa en el principio de un voltaje se induce en un conductor cuando éste se mueve en un campo magnético. Como el voltaje depende de la velocidad en la cual se mueve un conductor a través de un campo magnético, la intensidad del voltaje inducido se puede utilizar como ---- una indicación del gasto del líquido. Hay aparatos para medir el pasto de líquidos de alta y baja conductividad.

5.12.- Anemómetro de Alambre Caliente.

Es una resistencia de alambre fino que se calienta por medio de una corriente que pasa a través de ella. Si un fluido más frío pasa a través de ella, produce un enfriamiento al transferirse calor del alambre hacia el fluido. La velocidad de transferencia de calor varía con el tipo de fluido pero también depende de la velocidad a la cual el fluido pasa por el alambre. Si se mantiene constante la corriente en el alambre, el cambio de la resistencia por el enfriamiento proporciona una señal de voltaje. Puesto que el diámetro del alambre se puede hacer muy pequeño, el dispositivo se puede fabricar muy sensible y que responda a cambios de alta frecuencia en la velocidad del flujo. Uno de sus principales usos es en las investigaciones aerodinámicas con aplicaciones al estudio del flujo en condiciones variables.

CAPITULO VI

TRANSDUCTORES LUMINOSOS Y DE RADIACION.

6.1.- Descripción.

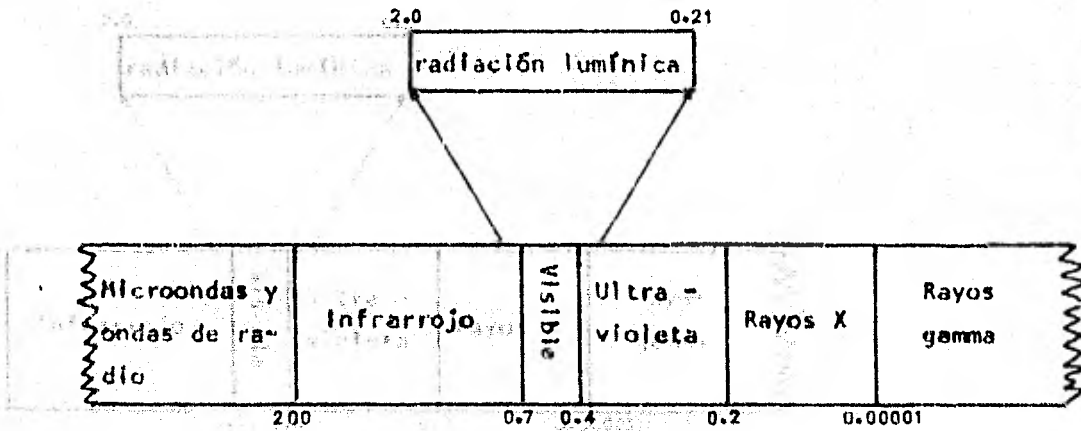
El espectro de las radiaciones electromagnéticas se extiende desde las ondas de radio (menos de 10 Hz) hasta los rayos gamma (10^{+20} Hz ó más). Las ondas de radio de muy baja frecuencia tienen las mayores longitudes de onda, los rayos gamma las más cortas. Entre estos dos extremos se encuentran todas las otras categorías de radiaciones electromagnéticas, incluyendo la luz. Para nuestros propósitos de clasificación, se define que la luz incluye las radiaciones más allá del infrarrojo, luz visible y porciones ultravioletas del espectro electromagnético.

A continuación, describimos los transductores de sonido, de vibraciones y además aquellos transductores que pueden sensar las radiaciones de luz y convertirlas en una forma eléctrica. La clase general de transductores luminosos y de radiación también se conoce como fototransductores y se usan para detectar la presencia e intensidad de la luz en diferentes circunstancias. En efecto, muchos fototransductores se pueden hacer mucho más sensibles a las radiacio-

nes de la luz que el ojo humano. Los tres tipos principales de transductor de luz a energía eléctrica son: Dispositivos fotoemisores, dispositivos fotoconductores, dispositivos fotovoltaicos.

Cada uno de estos tipos posee ventajas especiales sobre los otros.

Figura No.27 EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO



Las longitudes de onda están dadas en micrones (Un micron = 10^{-6} m.)

6.2.- Transductores de Sonido.

Dado que el sonido puede existir como una vibración de sólidos, líquidos y del aire, los transductores que convierten energía sonora a energía eléctrica pueden operar de muchos medios diferentes. El transductor de presión de aire a voltaje usado para convertir el sonido en el aire se llama micrófono.

Los tipos de micrófonos más comunes son los siguientes:

- a) Micrófono de condensador.
- b) Micrófono dinámico.
- c) Micrófono de carbón.

En seguida se describe cada uno de ellos.

a) Micrófonos de condensador, tal como se muestra en la figura número 28. realizan la conversión más exacta de las vibraciones del sonido en el aire a señales eléctricas. De esta forma, se utilizan como patrones para mediciones acústicas precisas. El principio de operación se basa en el hecho que la capacitancia entre dos --

conductores cambia si la distancia de separación entre ellos varía. El micrófono de condensador, emplea un diafragma metálico como una de las placas del condensador. Una placa rígida de metal hace las veces de la otra placa del condensador. Las variaciones de la presión del aire por la onda de sonido que golpea el diafragma hace que se mueva hacia dentro y hacia afuera. La separación variable entre las dos placas del condensador cambia el valor de la capacitancia. Un voltaje de cd fijo se aplica entre las placas y el cambio de voltaje debido al sonido inciden y existe como una componente de ca superpuesta al nivel de cd. La componente de ca posteriormente se amplifica y se entrega al instrumento de medición.

Puesto que un condensador aparece como una fuente de alta impedancia, la salida de este dispositivo se debe conectar a un instrumento con una impedancia de entrada muy alta (para reducir los errores por efecto de carga).

b) El micrófono dinámico reacciona a las vibraciones de sonido en el aire moviendo una bobina de alambre en un campo magnético. El movimiento de la bobina dentro del campo establece un voltaje cambiante en la bobina. Esta señal se puede amplificar y medir. El

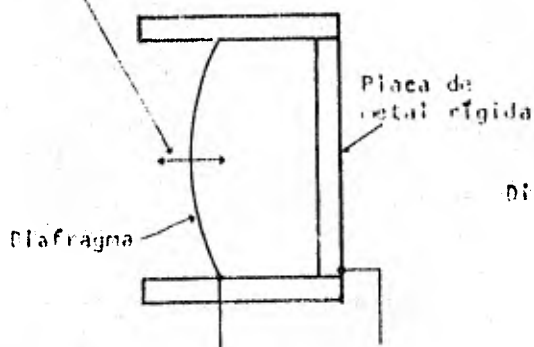
micrófono dinámico también se puede utilizar al revés, produciendo un sonido al aplicar un voltaje cambiante a la bobina. Este es el principio en el cual se basan los parlantes.

c) Micrófono de carbón, detecta el sonido por medio de la variación de la resistencia de gránulos de carbón. La variación de la resistencia ocurre cuando los gránulos de carbón cambian debido a la presión de las ondas incidentes de sonido. Un diafragma en el frente del micrófono de carbón se mueve en respuesta a la presión del sonido y comprime los gránulos de carbón dentro de un compartimiento. Una corriente de cd. se pasa a través del micrófono y la modulación de la corriente debida a los cambios en la resistencia de los gránulos de carbón se superpone como una señal de ca a este nivel de cd. Como en el micrófono de condensador, la señal de ca. se separa después del nivel de cd. y se amplifica antes de entregarla al dispositivo de lectura.

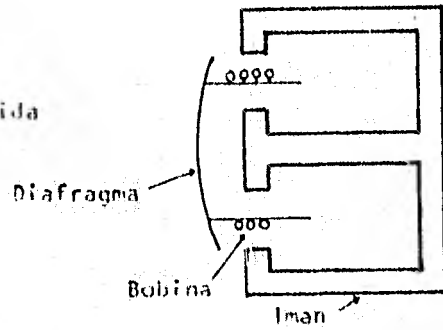
El micrófono de carbón casi nunca se utiliza para hacer mediciones exactas del sonido. La no linealidad de la variación de la resistencia del carbón evita que la señal sea una réplica fiel de las vibraciones del sonido. Sin embargo, el dispositivo es perfec-

Figura No.28 DIFERENTES TIPOS DE MICROFONOS

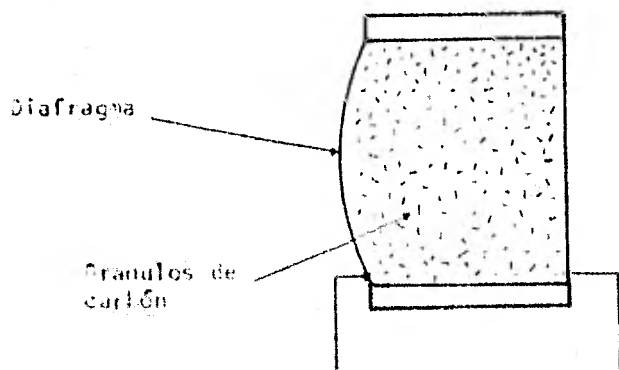
Dirección del movimiento del diafragma metálico



Micrófono de condensador (a)



Micrófono dinámico (b)



Micrófono de carbón (c)

tamente adecuado para la transmisión de la voz y se usa como micrófono en casi todos los teléfonos. El hecho que son baratos altamente confiables y muy fuertes hace a los micrófonos de carbón muy convenientes para este tipo de aplicaciones.

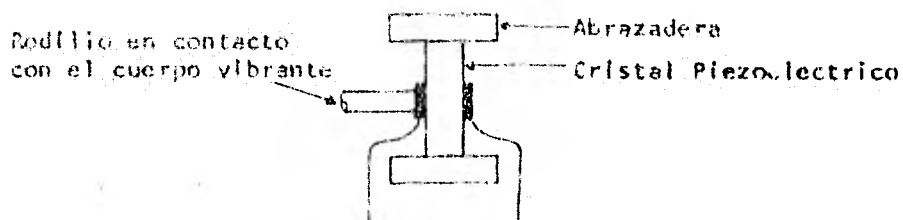
6.3.- Transductores de Vibraciones.

Para detectar las vibraciones, casi siempre se utilizan transductores piezoeléctricos.

Efecto piezoeléctrico: los cristales piezoeléctricos son materiales cristalinos que desarrollan un voltaje a través de ellos cuando son deformados. (la deformación necesita ser únicamente del orden de los micrómetros para producir este efecto). Como se muestra en la figura número 29. se coloca un cristal piezoeléctrico entre dos placas que hacen las veces de electrodos. Cuando se aplica una fuerza a las placas se produce un esfuerzo y, por lo tanto una deformación. En ciertos cristales como son el cuarzo, sal de Rochelle fosfato dihidrogenado de amonio y cerámicas de titanato de bario producirá una diferencia de potencial en su superficie.

El voltaje de salida depende de la dirección en la cual se realiza el corte del cristal con respecto a los ejes del mismo (XYZ).

Figura No. 29. CAPTADOR DE VIBRACIONES TIPO PIEZOELECTRICO



Los transductores de cristal que emplean el efecto piezoeléctrico se usan para detectar vibraciones acústicas en los sólidos. Los cristales utilizados para construir captadores de ca - normalmente se hacen de cristales de cuarzo o de sal de Rochelle. - El primero es más exacto pero también más costoso que el segundo;-- sin embargo, los cristales de Rochelle se ven en desventaja por el hecho que se derriten a 65° y están limitados en condiciones de alta humedad. Los micrófonos de cristal con un diafragma hacen este tipo de transductor sensible a las vibraciones del sonido.

6.4.- Sensores de Luz Fotoemisores.

Los sensores de luz fotoemisores deben su nombre a - que contienen materiales cuya superficie emite electrones cuando soportan una radiación luminosa. Los electrones se emiten cuando los fotones de la luz incidente son capaces de transferir suficiente energía a los electrones para liberarlos de sus enlaces y fuerzas atómicas que existen en la red del material. Los materiales en los cuales este fenómeno toma lugar fácilmente y producen muchos electrones -- cuando soportan una radiación luminosa se llaman materiales fotoemisores. Debido a que el material fotoemisor normalmente está encapsulado dentro de un tubo de vidrio, los dispositivos fotoemisores también se conocen a menudo como fototubos. En la figura número 30. se muestra el principio básico de la operación de los fototubos.

La superficie de un cátodo de forma especial se cubre de una material fotoemisor (tal como cesio-antimonio). El -- cátodo (llamado ahora un fotocátodo) se coloca en un tubo sellado de vidrio junto con otro electrodo llamado el ánodo. Se crea un voltaje entre el fotocátodo y el ánodo (con el ánodo a un nivel posi-

tivo de voltaje). Cuando la luz golpea el fotocátodo, los electrones emitidos desde la superficie son atraídos y recogidos por el ánodo. Más electrones se emiten entre mayor sea la intensidad de la luz incidente en el fotocátodo. Por consiguiente, la magnitud de la corriente que fluye en el circuito conectado a los electrodos del tubo es directamente proporcional a la intensidad de la luz en el fotocátodo.

En la actualidad la técnica de los fototubos ha sido desplazada por la técnica de los fototransistores debido a que producen el mismo efecto fotoeléctrico, pero con mayores ventajas y -- eficiencia.

No es difícil imaginar porque el fototransistor ha sido inventado. Si en la unión base-emisor se forma una corriente de unos pocos microamperes cuando la unión es herida por la luz, en la unión base-colector de un transistor se produce una corriente de miliamperes, esta corriente es grande debido al efecto amplificador del transistor.

Figura No.30 PRINCIPIO DE OPERACION DE LOS FOTOTUBOS

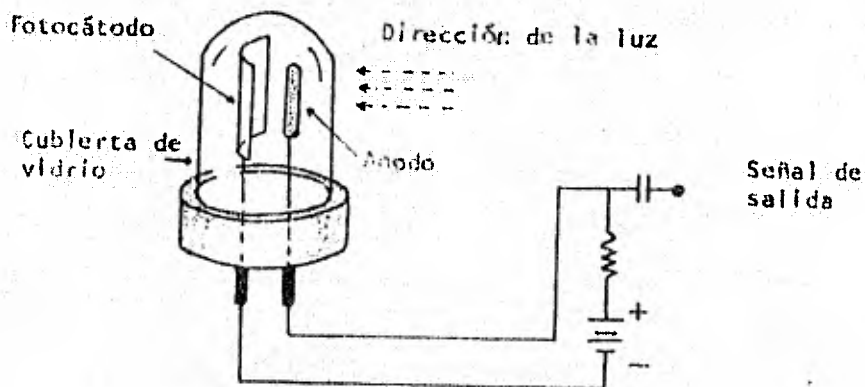
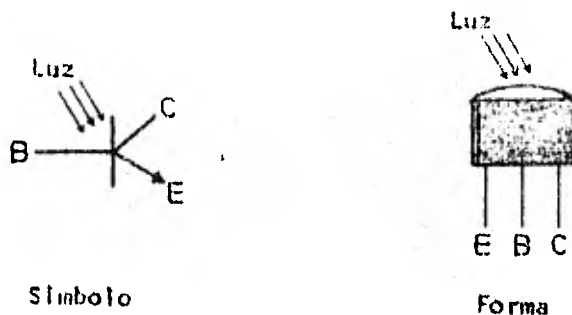


Figura No.31 FOTOTRANSISTOR



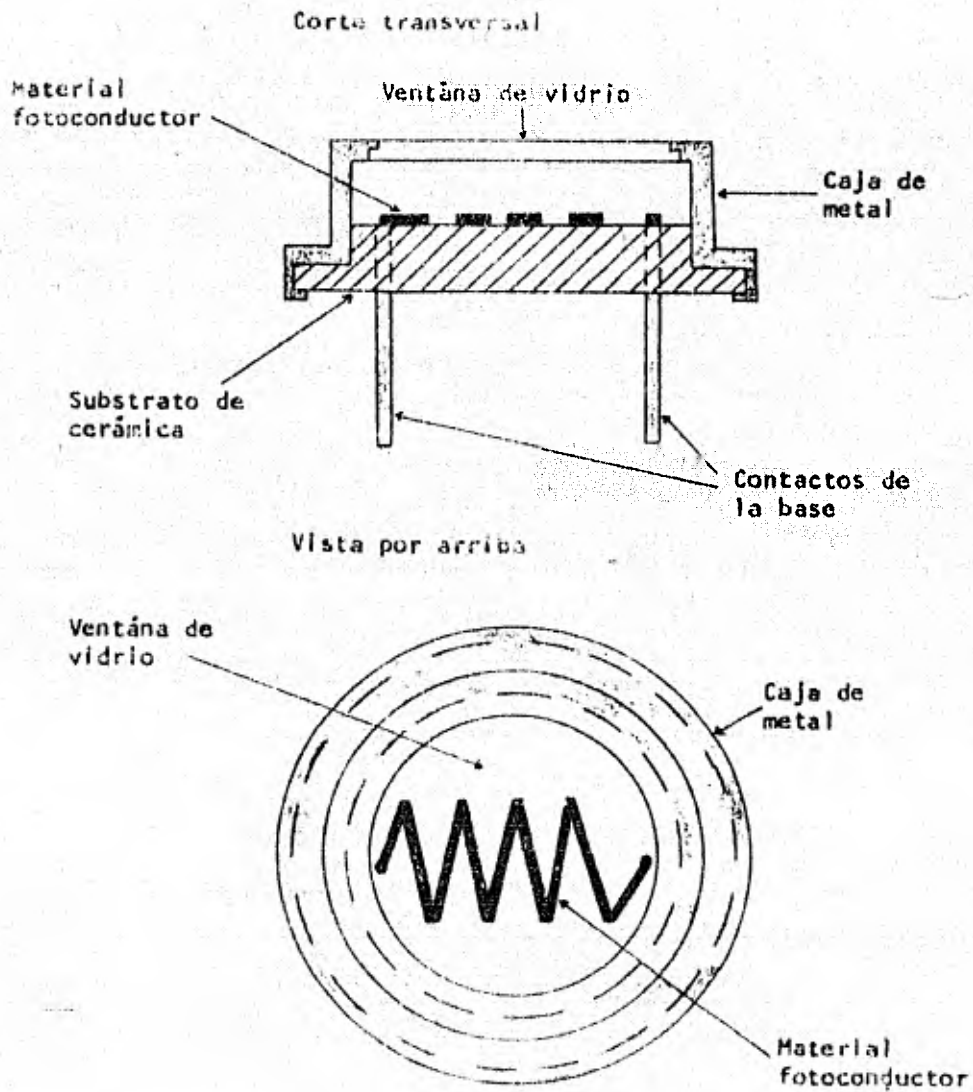
Escala 3:1

6.5.- Sensores de Luz Fotoconductores.

Los detectores de luz fotoconductores son básicamente resistencias sensibles a la luz. Se construyen de materiales cuya resistencia decrece cuando son iluminados. El decrecimiento de la resistencia ocurre porque la luz incidente en el material fotoconductor rompe los enlaces entre los átomos de material y sus electrones. Estos electrones quedan disponibles como portadores de cargas libres. Estos portadores extras permiten incrementar el flujo de corriente para un valor de voltaje.

Un material que se utiliza comúnmente para construir

Figura No.32 VISTA DE UNA CELDA FOTOCONDUCTORA



los detectores fotoconductores sensibles a la luz visible es el sulfuro de cadmio. Cuando este material se conserva en la oscuridad el valor de su resistencia es del orden de muchos megohmios. Cuando la celda, se ilumina, su resistencia cae hasta un valor mucho más bajo (varios cientos de ohmios).

Las celdas fotoconductoras se utilizan a menudo en los relés fotoeléctricos, como elementos fotosensibles ó también en los controles automáticos de intensidad de la luz de las cámaras ó de las luminarias empleadas en la iluminación de las calles.

6.6. - Sensores de Luz Fotovoltaicos.

Los sensores fotovoltaicos son dispositivos a través de los cuales aparece un voltaje cuando son iluminados. Este voltaje surge debido a las propiedades eléctricas del material empleado para construir este dispositivo. La celda solar es uno de los tipos de sensores fotovoltaicos. En efecto, las celdas solares convierten la energía lumínica en energía eléctrica de tal intensidad que la celda puede actuar como una fuente de potencia eléctrica.

Las celdas solares de silicón se usan de esta forma para suministrar potencia eléctrica a los satélites espaciales.

Las celdas solares de selenio se usan en los medidores fotográficos de exposición.

Los sensores fotovoltaicos son los únicos fotodetectores que no requieren una fuente externa de potencia. Sin embargo, también poseen la desventaja que su salida es extremadamente no lineal en relación con la intensidad de la luz incidente.

6.7.- Transductores de Radiación Nuclear y Rayos X.

Los sensores de radiación nuclear utilizan algunos de los mismo principios de operación de los sensores a la radiación de la luz. Por ejemplo, un tipo de sensor de rayos X es como un dispositivo fotoconductor, mientras otro se construye con un material que emite luz visible cuando es golpeado por los rayos X. La intensidad de la luz visible emitida en este último tipo es proporcional a la intensidad de los rayos X incidente. La intensidad del resplandor se mide posteriormente por medio de un fototubo. Los sensores de rayos X se usan para controlar el espesor de los materiales que-

se fabrican en forma de láminas. También se usan para localizar fallas en las estructuras de metal y en la determinación de niveles de líquidos en tanques sellados. Los sensores de radiación nuclear más comunes son los tubos de Giger-Muller y los contadores de centelleo. El tubo de Geiger-Muller es un tubo sellado y lleno de un gas inerte (tal como el argón). Dentro del tubo existe un cátodo con la forma de un cilindro largo y un ánodo, alambre colocado a lo largo del eje central del cilindro. En uno de los extremos del tubo existe una ventana extremadamente pequeña, a través de la cual puede entrar la radiación al tubo. Si un voltaje alto (± 900 V) --- existe, el ánodo y el cátodo, cada paquete de radiaciones nucleares (en la forma de partículas beta ó rayos gamma) que entre en el tubo ionizará algunos de los átomos de argón. Las partículas ionizadas se dirigen hacia los electrodos del tubo. Durante su viaje los electrones y los iones son acelerados y colisionan con otros átomos de argón que estén en turno para ser ionizados. Cuando el paquete de iones llega a los electrodos, un pulso de corriente se origina en el circuito al cual está conectado el tubo.

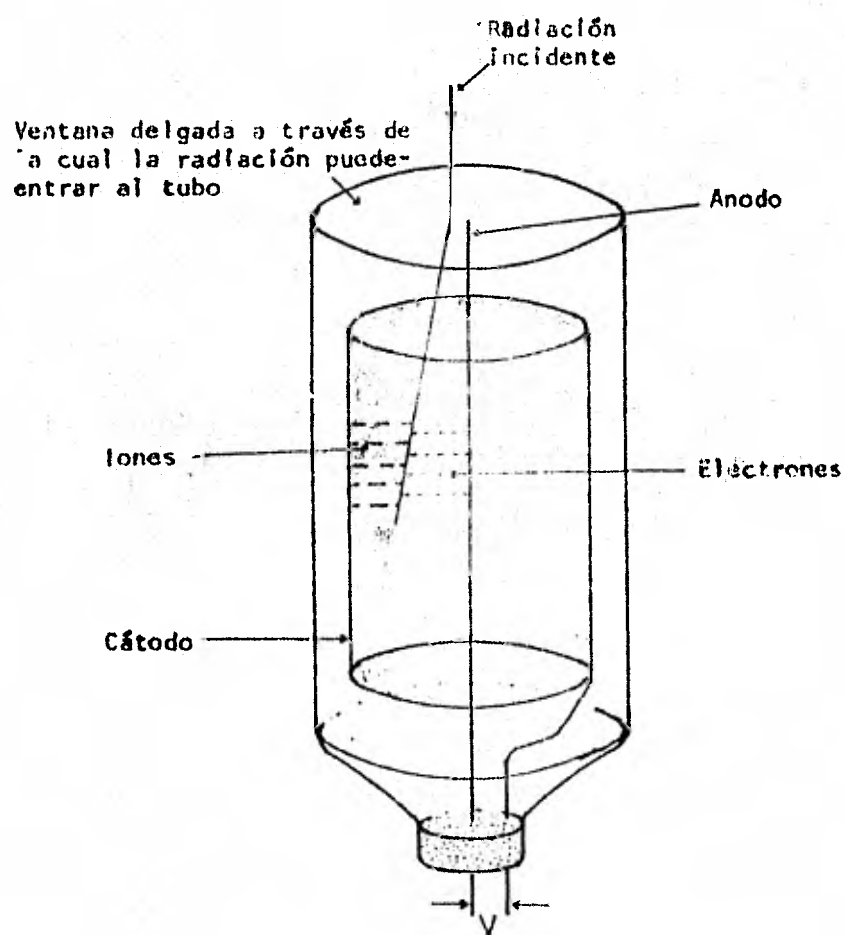
A medida que la corriente pasa a través del circuito de conexión, el voltaje entre el ánodo y el cátodo cae por debajo -

del valor que originó la ionización por colisión. El gas en el tubo retorna a su estado de desionización y la corriente en el circuito cesa. Entonces el voltaje entre el cátodo y el ánodo aumenta de nuevo y el tubo está listo para sensar la próxima radiación. El " tiempo muerto " entre cada ondanada de radiación es de cerca de 100-200 MS,

El número de pulsos que ocurren en un tiempo dado es una medida de la intensidad de la radiación en la región cercana al tubo. Los pulsos se pueden usar para producir sonidos audibles en un parlante o se pueden contar por medio de un contador electrónico que da el valor acumulado sobre un tiempo específico. Los medidores GM típicos pueden detectar hasta 15.000 eventos por minuto.

El contador de centelleo es un dispositivo que utiliza un fototransistor para contar los centelleos de luz que producen ciertos cristales cuando son golpeados por una radiación nuclear. Estos cristales (tal como el sulfuro de zinc ó el yoduro de sodio) producen un breve centelleo cada vez que uno de tales eventos ocurre. Estos centelleos emitidos son reflejados y conducidos por -

Figura No.33 DETECTOR DE RADIACION DE GEIGER-MUELLER



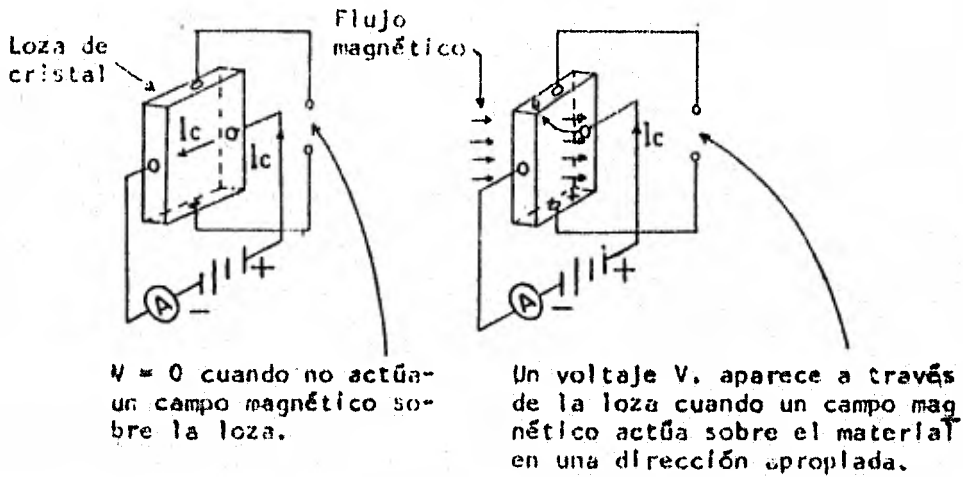
medio de espejos hasta el fototransistor a través de una fibra óptica ó tubería de luz . El fototransistor convierte y amplifica los débiles centelleos de luz que tienen suficiente magnitud para ser medidos. El número de pulsos que llegan al fototransistor y que este pone en la salida son una medida de la intensidad de la radiación nuclear.

Debido a la habilidad del fototransistor de amplificar, el contador de centelleo es mucho más sensible que el tubo de Geiger-Müller para la medición de radiaciones nucleares.

6.8.- Transductores por Efecto Hall.

Se utilizan para mediciones magnéticas. Su funcionamiento lo explicaremos con la ayuda de la figura número 34 .

Figura No.34 PRINCIPIO DE LOS MEDIDORES POR EFECTO HALL



Vemos que una pequeña loza de material conductor se conecta a una batería de tal forma que una corriente I_c . fluirá en la forma mostrada. (Los electrones que forman la corriente, puesto que estamos usando la descripción convencional de la corriente). Si el campo magnético se aplica de tal forma que las líneas magnéticas de fuerza ángulos rectos con la loza de material, entonces los electrones de la corriente estarán sujetos a una fuerza debida al campo magnético. La fuerza actúa en una dirección vertical y los electrones son forzados hacia el tope de la loza. Como resultado se tiene un exceso de electrones en el tope y una deficiencia de ellos cerca-

del extremo inferior. se crea de esta forma una diferencia de potencial entre los dos extremos (superior e inferior) de la loza. La magnitud del voltaje es proporcional a la intensidad del campo magnético (en Wb/m^2). Por consiguiente, cuando una corriente de valor conocido se pasa a través del material la lectura de voltaje a través del dispositivo se puede calibrar para que de la intensidad del campo magnético directamente. Los transductores por efecto Hall se pueden construir de tal forma que sean lo suficiente sensibles para detectar campos magnéticos muy pequeños.

Los transductores comerciales por el efecto Hall -- se construyen de germanio y otros materiales semiconductores. Encuentran su aplicación en los instrumentos que miden campos magnéticos con pequeñas densidades de flujo. también se encuentran en algunas puntas de prueba que miden la intensidad de flujo . Existen algunas puntas de prueba que miden la intensidad de corriente por medio del campo magnético producido por ella.

6.9.- Transductores de Propiedades Químicas.

Los transductores eléctricos también son capaces de-

convertir algunas propiedades químicas en señales eléctricas. Esta habilidad es útil cuando es necesario controlar tales propiedades para lograr que un proceso químico continúe eficientemente. La conversión a una forma eléctrica permite registrar de una manera continua la cantidad química. Además, si la concentración química de varias soluciones ó gases se puede medir eléctricamente, se puede detectar rápida y seguramente concentraciones polulantes en la atmósfera.

Una propiedad química que se controla muy a menudo es el nivel de pH de una solución líquida. El pH de una solución es un índice de su acidez o alcalinidad. El valor del pH puede variar desde 0 (puramente ácido) hasta 14 (puramente alcalino). Cuando el pH es 7, la solución es neutra (como en el caso del agua pura) El pH de una solución se puede medir exactamente por medio de un medidor electrónico de pH. Este medidor consiste en parte de dos electrodos especiales los cuales se insertan en la solución bajo prueba. Uno de los electrodos se conserva a un nivel de voltaje constante y el otro electrodo desarrolla un potencial debido al pH de la solución que se mide. De esta forma la diferencia de potencial entre --

los electrodos depende del pH de la solución.

El electrodo de referencia contiene una solución de un electrólito y se permite que escape muy lentamente en la solución bajo prueba. Esto suministra una conexión eléctrica entre el electrodo de referencia y la solución. De esta forma se mantiene al mismo potencial del electrodo de referencia. Mientras tanto el electrodo de medición contiene un líquido separador (solución buffer) con un pH conocido y constante. Está contenido de un tubo de vidrio especial con una pared muy delgada que se sumerge en la solución bajo prueba. La diferencia de pH entre el líquido separador y la solución origina una diferencia de potencial entre ellas. Como resultado la diferencia de potencial entre el electrodo de referencia y el electrodo de medición es proporcional a la diferencia en pH entre el líquido separador conocido y la solución desconocida bajo prueba.

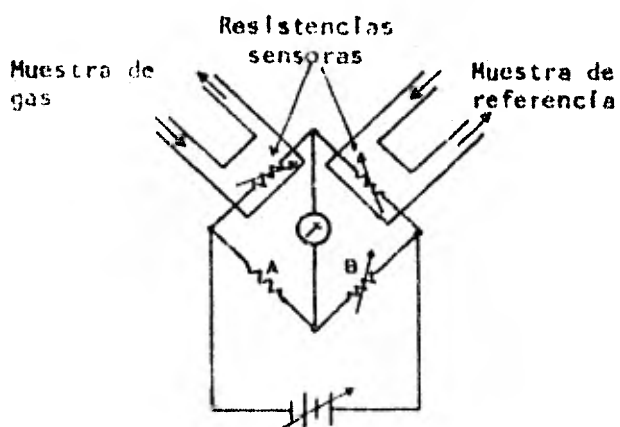
Puesto que la diferencia de potencial se mide a través de la pared del tubo de vidrio del electrodo de prueba y esta pared tiene una resistencia de cerca de 500M Ω se debe emplear un voltímetro especial de impedancia muy alta para obtener una medici-

ón exacta.

El segundo tipo de transductor de propiedades químicas es el elemento detector de la cromatografía de los gases. Este detector mide la pureza química de un gas detectando los cambios de su conductividad térmica. La medición es posible porque los diferentes gases tienen distintos valores de conductividad térmica. Se aprovecha este fenómeno para que el gas enfríe resistencias calientes que se encuentran en el circuito de un puente de Wheatstone.

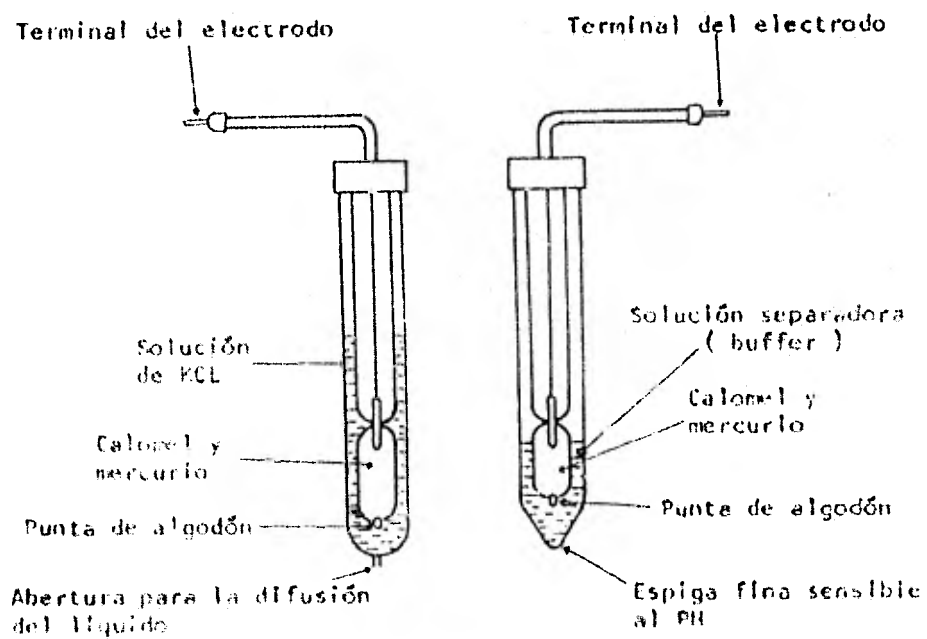
El puente se calibra primero permitiendo que el mismo gas rodee dos resistencias calientes de prueba.

Figura No.35
CIRCUITO BASICO DEL
ANALIZADOR DE LA --
CONDUCTIVIDAD TERMI
CA DE LOS GASES



Los valores de las resistencias se ajustan para queden una condición de balance en el puente. Luego uno de los gases se reemplaza por el gas bajo prueba, fluye bajo las mismas condiciones de presión y temperatura. Si el gas bajo prueba contiene elementos con conductividades térmicas diferentes al gas de referencia, las resistencias se enfriarán a un flujo diferente. Una diferencia en la variación de temperatura origina una variación de su resistencia. Los cambios de resistencia crean una condición de desbalance en el puente. De esta forma, la condición de desbalance actúa como un medidor que indica el cambio en la composición del gas y por consiguiente de su rareza.

Figura No.36 PRINCIPIO DE OPERACION DEL MEDIDOR DE PH



CAPÍTULO VII

EJEMPLO DE OPERACION Y CONSTRUCCION DE UN TRANSDUCTOR

Los fototransistores son elementos electrónicos altamente sensitivos a la iluminación. Por ser muy estables, reaccionan tanto a la luz visible como a la luz no perceptible al ojo humano como es el caso de las luces infrarojas y ultravioleta.

Existen fototransistores con base planar o circular, del tipo PN ó NP, de material y uso como el Silicio o Selenio y de aleaciones de Arsenico, Galio, Germanio, etc., lo que los hace tener buenas propiedades de operación como son mayor control, buena aplicación y direccionabilidad.

Los modelos más utilizados de foto transistores son:

Figura No.37

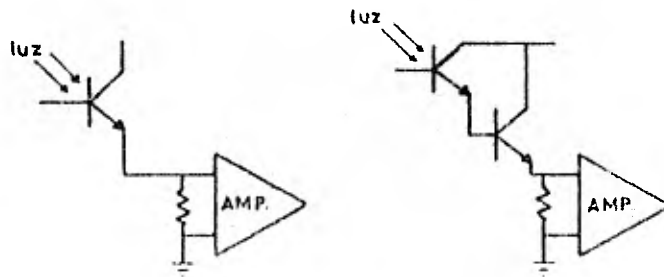


Foto-Transistor

Foto-Darlington

Objetivo: Construcción de un transductor sensible a la luz blanca.

1.- Elemento transductor: El fototransistor -----
FPT120 N/E/C.

a) Construcción: Silicio Nitrado, conectado como transistor NPN, encapsulado en un compuesto plástico-especial de resina transparente.

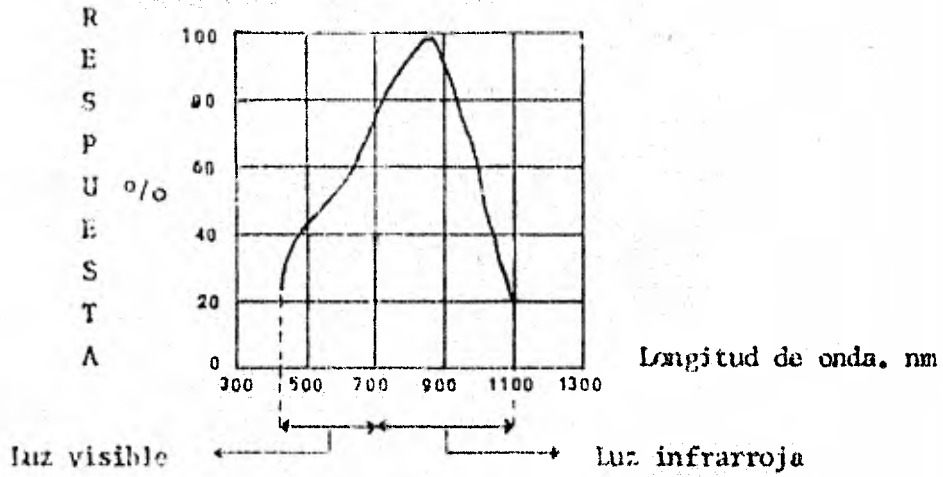
b) Características de operación: Temperatura de trabajo entre -55° y 85°C . Humedad Relativa a 65°C es de 85 % Disipación máxima de potencia 100 mW a 25°C Voltaje Colector-Emisor Máximo 20 volts. Corriente de Colector Máxima 24 mA.

Voltaje Colector-Emisor de Saturación 0.25 volts- a 20 mW/cm^2 y corriente de Colector de 1 mA.

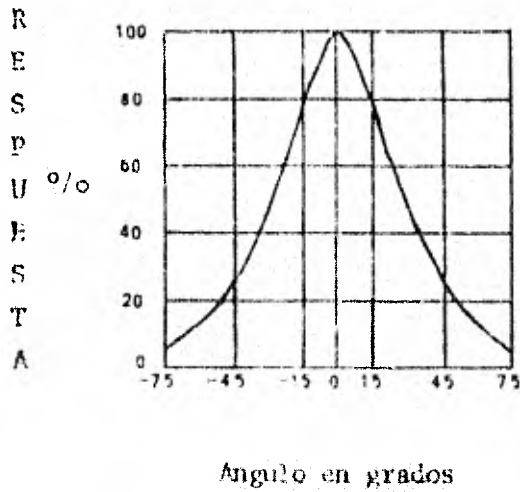
Corriente de Colector a Plena Oscuridad 10 nA a un voltaje colector-Emisor de 5 volts.

Curvas Tólicas.

Respuesta al Espectro Luminoso.

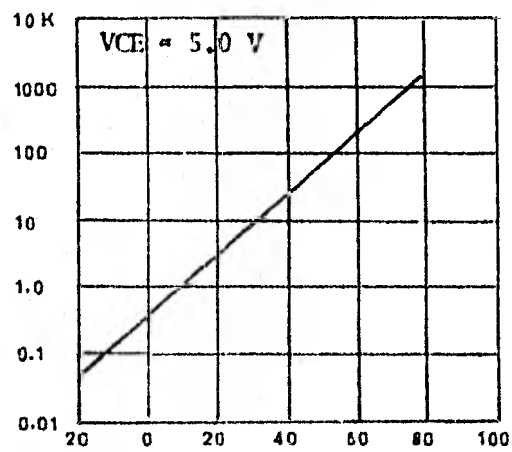


Respuesta centro óptico de incidencia.



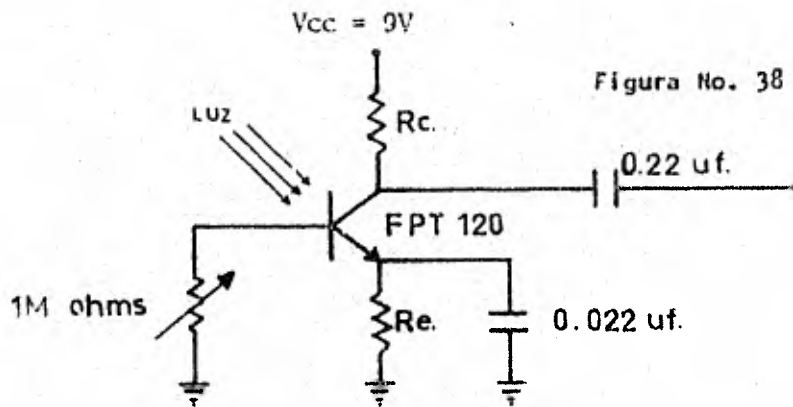
Variación de la Corriente de Colector a Plena Oscuridad con la
Temperatura

C
O
R
R
I
E
N
T
E
μ
A



TEMPERATURA °C

c) Polarización Universal.



CALCULOS

Datos: $V_{cc} = 9V$

$I_c = 10 \mu A$

$V_{ce} = 8.75 V$

$$V_{cc} = V_{ce} + I_c (R_c + R_e)$$

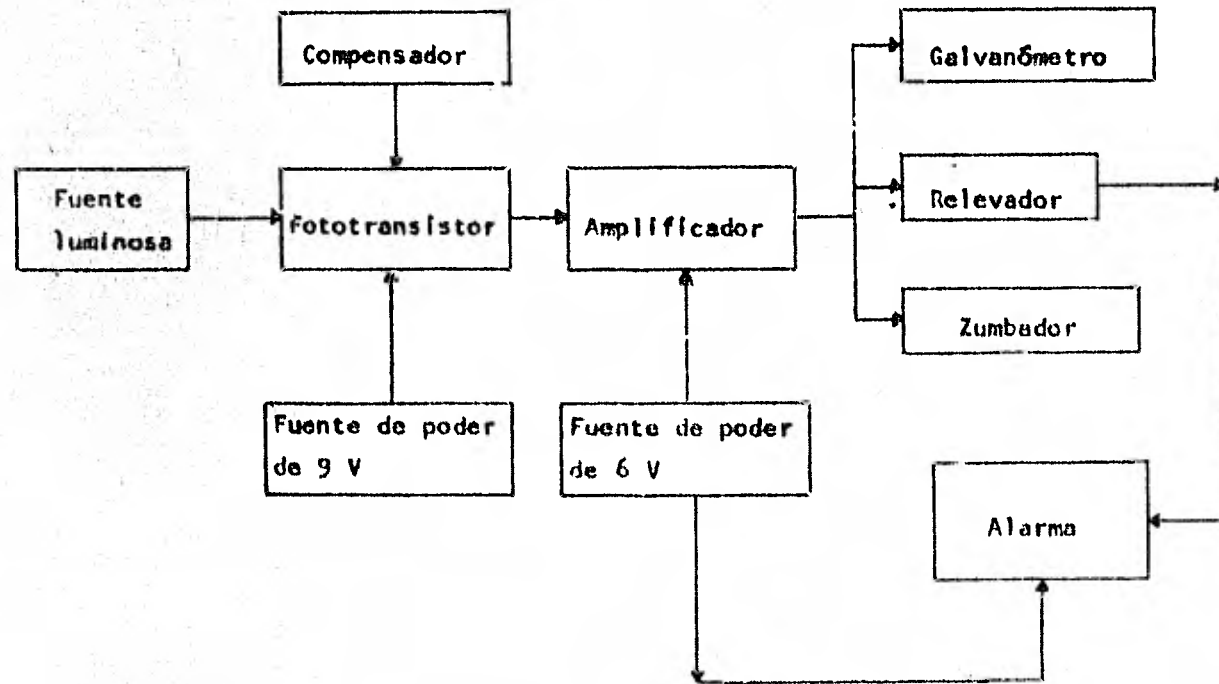
$$(R_c + R_e) = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{I_c} = \frac{9 - 8.75 V}{100 \times 10^{-7} A}$$

$$(R_c + R_e) = 25K \text{ ohms}$$

$$(22K \text{ ohms} + 2.2K \text{ ohms}) = 24.2K \text{ ohms} \quad 25K \text{ ohms.}$$

Los valores de los elementos se ajustarán a valores comerciales. El potenciómetro se conecta para compensar al circuito contra los cambios de voltaje, corriente y frecuencia ocasionado por la diferente intensidad de luz incidente a la base del transistor y así lograr una mayor estabilidad.

Figura No.39 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CIRCUITO



Breve descripción de cada bloque.

FUENTE LUMINOSA: Es una lámpara fluorescente ó un foco infrarrojo.

FOTOTRANSISTOR: Como se mencionó anteriormente.

COMPENSADOR: Es un potenciómetro de 1M ohms a 1W, - se utiliza para regular al circuito contra las variaciones de voltaje corriente y frecuencia ocasionadas por la diferente intensidad de la luz incidente a la base del transistor y así lograr una mayor estabilidad.

AMPLIFICADOR: Integrado TBA 820, amplificador de corriente, monolitico de Silicio principal característica bajos voltajes de alimentación.

Principales datos de fabricación.

Valores máximos de operación.

| | |
|-------------------------------|----------------|
| Voltaje de Alimentación | 16 volts. |
| Corriente de Salida | 1.5 Amps. |
| Potencia de Disipación a 50°C | 1 .25 Watts. |
| Ancho de Banda | 25-25000 Hertz |
| Ganancia de Voltaje | 75 Decibeles. |

Figura No. 40

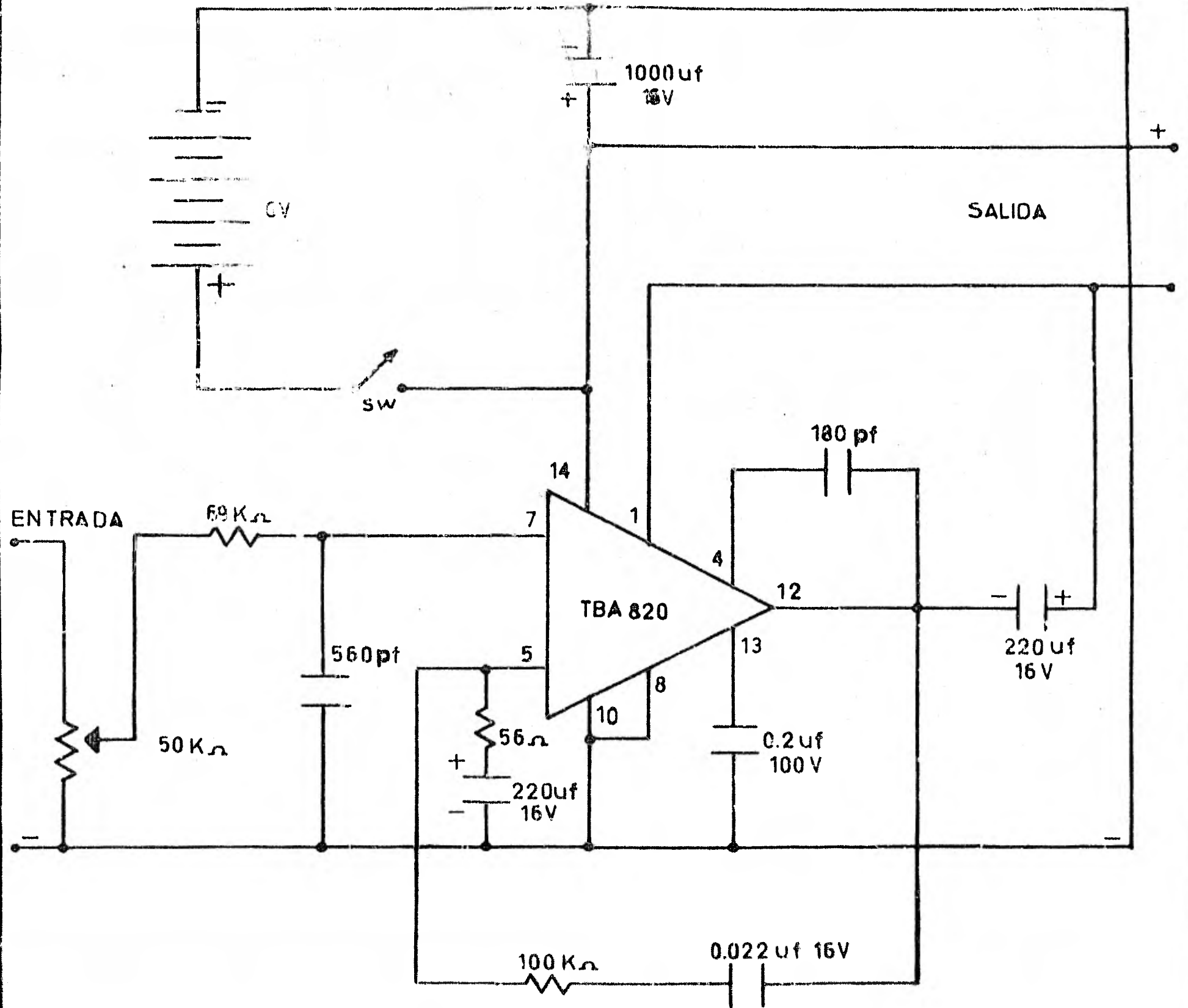


DIAGRAMA DEL AMPLIFICADOR TBA 820

La aplicación del TWA 820 en su circuito le da:

Gran versatilidad en su uso (el voltaje de alimentación va de 3 a 16 volts).

Alta eficiencia (70 % en la potencia de salida especificada)

Ausencia de distorsión (0,4 % para 500 mV).

Muy buen rechazo al rizo de la fuente.

Posibilidad de variar la sensibilidad de entrada para una potencia de salida dada.

Mínimo número de componentes externas.

Bajo consumo de corriente sin señal.

En la siguiente tabla se muestra la amplia gama de resistencia de salida que se obtiene al emplear este integrado.

| Voltaje de Alimentación (Volts) | Impedancia de Salida (Ohms) | Potencia de Salida (Watts) |
|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 12 | 8 | 2,0 |
| 9 | 8 | 1,2 |
| 6 | 8 | 1,0 |
| 3 | 8 | 0,25 |

Se escogió un voltaje de alimentación de 6 volts, - impedancia de salida de 4 ohms. y 0.75 watts de potencia de salida.

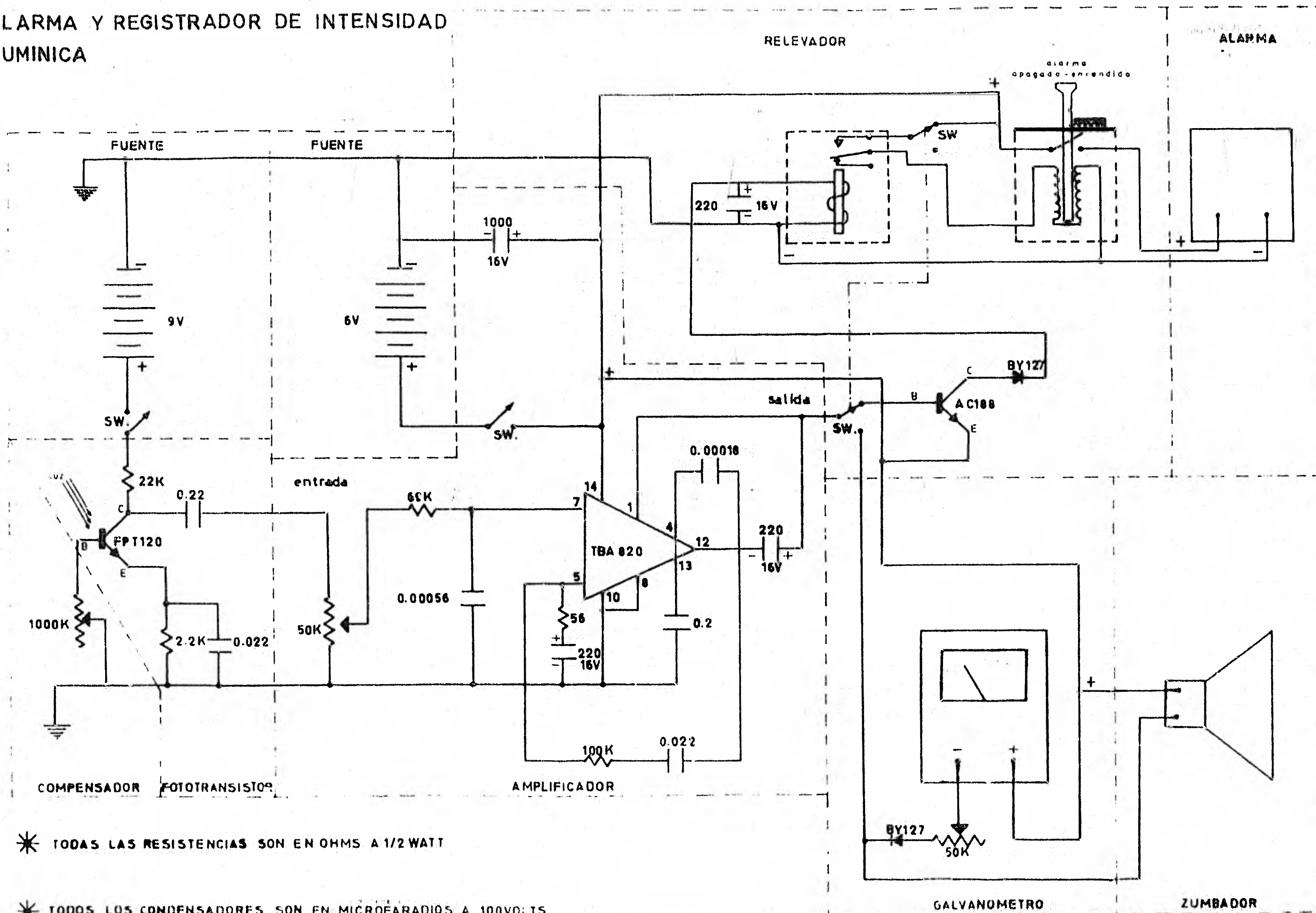
RELEVADOR: Es un electroiman que al paso de la corriente acciona un contacto en un sentido y al cortar la corriente se acciona el contacto en sentido opuesto. Trabaja con 600mA y 2 -- Volts. Relevador acoplado para accionar una alarma. Para accionar el relevador, se utilizó un transistor AC128 como interruptor, trabajando en sus regiones de corte y saturación.

ALARMA: Es un dispositivo que al recibir un flujo de corriente emite una señal sonora. Trabaja con 6 volts y consume -- 500 mA.

GALVANOMETRO: Es un dispositivo que al recibir un flujo de corriente acciona una aguja indicadora, la cual se mueve en proporción al flujo de corriente, para acoplarlo se utilizó un diodo para rectificar la corriente y un potenciómetro de prueba para graduar la escala del galvanómetro.

Se utiliza un potenciómetro de prueba debido a que en la salida resulta que el voltaje, la corriente y la frecuencia son variables. En la primera prueba se usó un potenciómetro de --- 1000 ohms y se observó que graduaba muy poco, después se usó uno - de 10,000 ohms resultando muy sensible, finalmente se colocó una-

CIRCUITO FOTOSENSOR ACTIVADOR DE ALARMA Y REGISTRADOR DE INTENSIDAD LUMINICA



* TODAS LAS RESISTENCIAS SON EN OHMS A 1/2 WATT

* TODOS LOS CONDENSADORES SON EN MICROFARADIOS A 100VOLTS

de 5000 ohms con resultados satisfactorios.

ZUMBADOR: Es una bobina que emite un sonido en proporción a la señal emitida por el fototransistor.

FUENTE DE PODER DE 9 VOLTS: Sirve para polarizar el fototransistor. Es una pila del tamaño 6F22.

FUENTE DE PODER DE 6 VOLTS: Se utiliza para alimentar el amplificador y la alarma. Es una pila del número 4 Fd.

CONCLUSIONES.

El transductor construido es sensible a la luz fluorescente y muy sensible a la luz infrarroja, capta señales hasta 10 mts de distancia, teniendo su mayor eficiencia a 4 mts de distancia de la fuente emisora de luz.

Sus aplicaciones pueden ser muchas, tales como: fotómetros de luz blanca, abridores de puertas ó ventanas, encendedores de luz, controlador de luminosidad, como elemento detector para contar el paso de personas, animales u objetos, etc. Su costo actual -- aproximado es de \$ 400.00.

BIPLIOGRAFIA

- 1.- A. ROSS, Douglas Optoelectronics Devices And Op-
tical Imaging Techniques The --
Mac Millan Press Ltd.
Gran Bretaña, 1979.
- 2.- CREUS, Antonio Instrumentación Industrial
Publicaciones Marcombo S.A.
México, 1977.
- 3.- F. COOMBS, Clyde Basic Electronic Instrument
Handbook. Mc Graw Hill Co.
U.S.A. 1972.
- 4.- HOLMAN, J.P. Metodos Experimentales Para
Ingenieros. Editorial Mc.
Graw Hill. México, 1977.
- 5.- P. TURNER, Rufus Solar Cells And Photocells
Howard W. Sams & Co., Inc
U.S.A. 1980
- 6.- WOLF, Stanley Guía para Mediciones Electro-
nicas y Practicas de Laborato-
rio. Prentice-Hall
Internacional, México, 1980.

7.-

Catalogo de Semiconductores
Fairchild, Fairchild Mexicana.

8.-

Linear Integrated Circuit.
Sgs-Ates Semiconductor Corporation, U.S.A.

9.-

Optoelectronics Data Book.
Fairchild Company, U.S.A.