



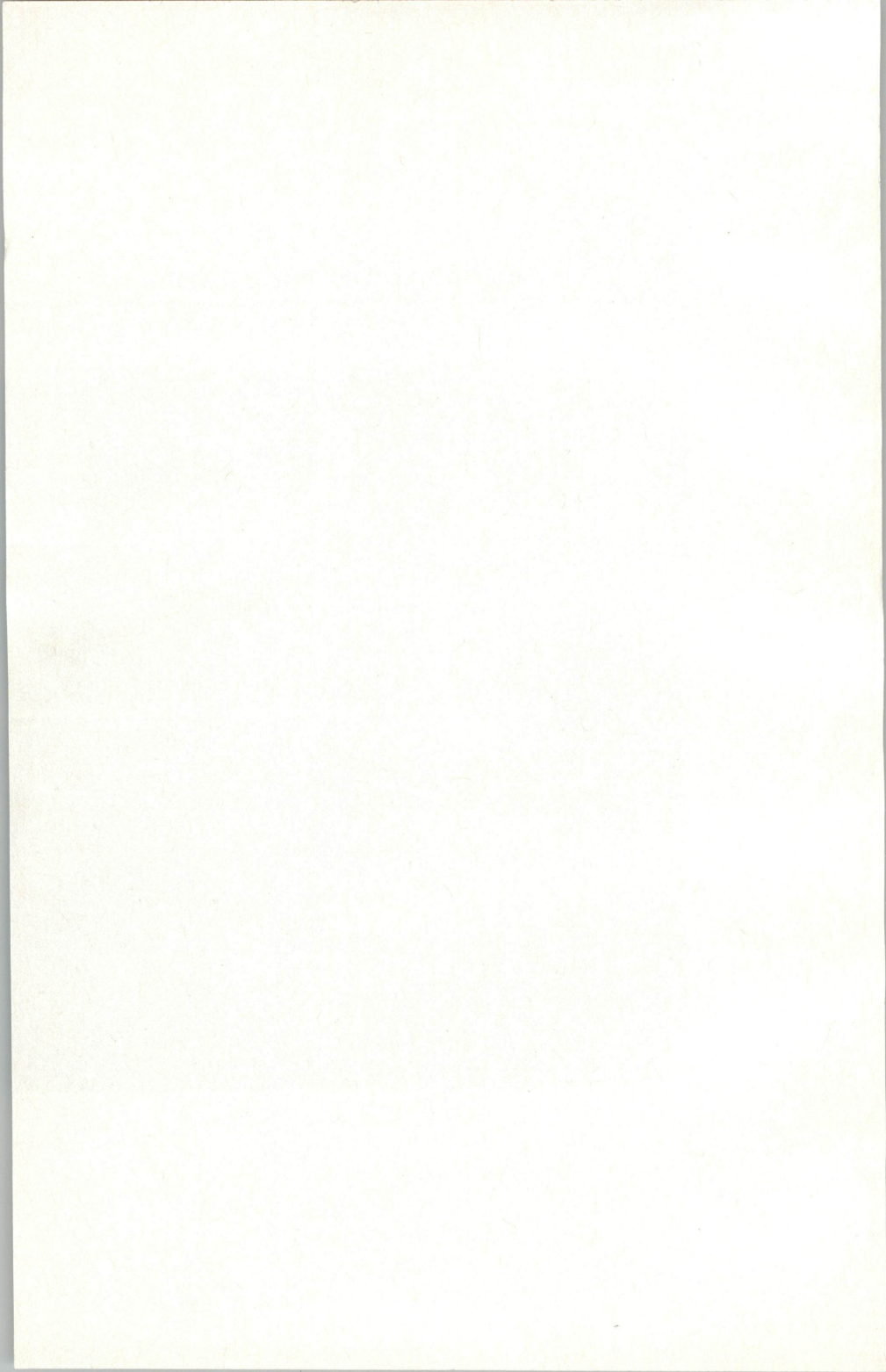
FACULTAD DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



GLORIA MATA HERNANDEZ

**PRACTICAS DE
LABORATORIO DE
MEDICION E
INSTRUMENTACION**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA**

**PRACTICAS DE
LABORATORIO DE MEDICION
E INSTRUMENTACION**

GLORIA MATA HERNANDEZ

**DIVISION DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE CONTROL**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

TRABAJO DE
LABORATORIO DE MEDICIÓN
E INSTRUMENTACIÓN

GLORIA ALTA HERNÁNDEZ

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE TERMOFLUIDOS

La práctica No. 9 corresponde al análisis de puentes balanceados de cd y ca , también está dividida en dos partes: la primera corresponde al principio de funcionamiento y operación de puentes de cd ; la segunda parte se refiere al diseño y construcción de varios puentes de ca . El tiempo estimado para la primera parte es de 1:15 horas y para la segunda es de 2:30, por lo que se sugiere realizar las dos partes en dos clases o 4 horas.

En la práctica No. 10 se presentan los conceptos relativos al puente desbalanceado, aplicándolos a un transductor de resistencia-voltaje. Esta práctica se puede realizar en una clase de 2 horas.

La práctica No. 11 presenta la determinación de las curvas de transferencia de varios transductores a fin de implementar un instrumento medidor de pequeños desplazamientos haciendo uso de los siguientes módulos: de desplazamiento-capacitancia, de un oscilador, un discriminador de frecuencias y de un amplificador diferencial. El tiempo estimado para cubrir esta práctica es de 2 clases o 4 horas.

El apéndice A presenta la tabla de valores normalizados de la curva gaussiana. El apéndice B los resultados obtenidos con el programa listado en la práctica No. 3 utilizando el miniprosesor. El apéndice C corresponde a la teoría de funcionamiento del osciloscopio, el cual se recomienda se estudie antes de realizar la práctica No. 8 a fin comprender mejor los conceptos planteados en dicha práctica.

Este manual se elaboró con base a la edición anterior. Las prácticas No. 1, 7 y 10 básicamente no tuvieron cambios, sin embargo, la No. 4, 5, 8 y 9 si fueron modificadas y ampliadas; las prácticas No. 2, 3, 6, y 11 son nuevas.

Para la elaboración de este manual y para la construcción de los prototipos utilizados en las prácticas, colaboraron las siguientes personas: José Juan Pliego Silva, Luis A. Orozco Peralta y Ma. del Rosario González Aguirre, cuya ayuda fue de gran importancia para la realización y conclusión del mismo.

Finalmente, se agradecerán todas las sugerencias que se pudieran derivar del presente manual, a fin de mejorar futuras ediciones en provecho de los alumnos.

GLORIA MATA HERNANDEZ

PROLOGO

El presente manual de prácticas de laboratorio de Medición e Instrumentación tiene como objetivo proporcionar a los alumnos los conocimientos generales teórico-prácticos sobre la teoría de errores, técnicas de medición y diseño y construcción de instrumentos básicos de medición, con el fin de complementar las bases teóricas proporcionadas en la correspondiente materia.

El manual se compone de 11 prácticas y 3 apéndices cuyo contenido general es el siguiente:

En la práctica No. 1 se presenta el análisis de errores tanto sistemáticos como aleatorios, involucrados en los procesos e instrumentos de medición. El tiempo estimado para realizarla es de 2 horas en una sola sesión de clase.

La práctica No. 2 presenta el análisis de datos experimentales mediante la obtención de las curvas características de transductores eléctricos así como la determinación de la exactitud del elemento en estudio. El tiempo para realizar esta práctica es de 2 horas.

La práctica No. 3 presenta el análisis estadístico de datos experimentales, haciendo uso del calibrador vernier y el micrómetro, tanto en su versión manual como en la digital, en cuyo caso también se utilizará un miniprosesor para el análisis automatizado de los datos. El tiempo estimado para cubrir la práctica es de 2 horas.

En la práctica No. 4 se analizan y determinan los parámetros del galvanómetro con movimiento D'Arsonval bajo condiciones de respuesta estable. El tiempo estimado para la realización de esta práctica es de 1:15 horas.

En la práctica No. 5 se diseña y construye un multímetro analógico con base a los datos obtenidos en la práctica anterior, obteniéndose la clase exactitud del mismo. Esta práctica requiere de 2:30 horas para su realización, y dado que se utilizan los datos de la anterior, se sugiere iniciarla una vez terminada la No. 4.

En la práctica No. 6 se presentan las técnicas principales de conversión A/D y D/A así como las bases para la construcción de un multímetro digital. El tiempo estimado para realizarla es de 2 horas.

La práctica No. 7 está enfocada al estudio, aplicación e interpretación de datos del wattímetro monofásico; utilizando diversas cargas. Esta práctica se realiza en 1:30 horas.

La práctica No. 8 está dedicada al osciloscopio, está dividida en dos partes: en la primera se estudia el principio de funcionamiento, operación y características principales del instrumento, haciendo uso de un osciloscopio modular didáctico; en la segunda se presentan las técnicas de medición de las características de las señales eléctricas además de los diversos usos y aplicaciones que se le puede dar a este instrumento. El tiempo estimado para cubrir las dos partes es de 2 clases o 4 horas.

INDICE

PRACTICA No. 1 ANALISIS DE DATOS EXPERIMENTALES	1
PRACTICA No. 2 DETERMINACION DEL MODELO MATEMATICO DEL TERMOMETRO DE RESISTENCIA Y EL TERMISTOR	15
PRACTICA No. 3 MEDICIONES LINEALES	21
PRACTICA No. 4 CARACTERISTICAS ESTATICAS DEL GALVANOMETRO	33
PRACTICA No. 5 MULTIMETRO ANALOGICO DE CD	39
PRACTICA No. 6 MULTIMETRO DIGITAL	49
PRACTICA No. 7 MEDICION DE POTENCIA ELECTRICA	63
PRACTICA No. 8 (Primera parte) EL OSCILOSCOPIO	73
PRACTICA No. 8 (Segunda parte) APLICACIONES DEL OSCILOSCOPIO	77
PRACTICA No. 9 (Primera parte) PUENTES EN EQUILIBRIO DE CD	93
PRACTICA No. 9 (Segunda parte) PUENTES EN EQUILIBRIO DE CA	103
PRACTICA No. 10 EL PUENTE COMO TRANSDUCTOR	111
PRACTICA No. 11 TRANSDUCTOR DESPLAZAMIENTO - VOLTAJE	121
APENDICE A AREAS BAJO LA CURVA NORMAL ESTANDAR	A1
APENDICE B RESULTADOS Y GRAFICAS DE LAS MEDICIONES UTILIZANDO MICROMETRO Y MICROPROCESADOR	B1
APENDICE C EL OSCILOSCOPIO	C1

ANALISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

INTRODUCCION

Todo proceso de medición involucra de una u otra forma un instrumento como un medio físico para determinar la magnitud de una cantidad o una variable.

La exactitud de una medición depende de diversos factores tales como la habilidad del experimentador, las características del instrumento de medición, las condiciones ambientales, etc. Cada uno de estos factores influye de manera distinta y cambiante sobre los procesos de medición, de manera que siempre se observará discrepancia entre dos medidas del mismo valor de la variable aún cuando se hayan tomado sucesivamente.

Dicha discrepancia entre el valor obtenido y el valor real de la variable (error de medida) obedece a diversas causas que es conveniente identificar para conocer su efecto y definir las acciones que puedan contrarrestarlo.

El proceso de medición emplea una serie de términos los cuales se definirán algunos de ellos.

Instrumento: Es un dispositivo para medir el valor o magnitud de una cantidad o variable.

Exactitud: Es la cercanía con la cual la lectura de un instrumento se aproxima al valor verdadero de la variable que está siendo medida.

Precisión: Es una medida de la repetibilidad de las mediciones, esto es, es una medida del grado con el cual mediciones sucesivas difieren unas de otras.

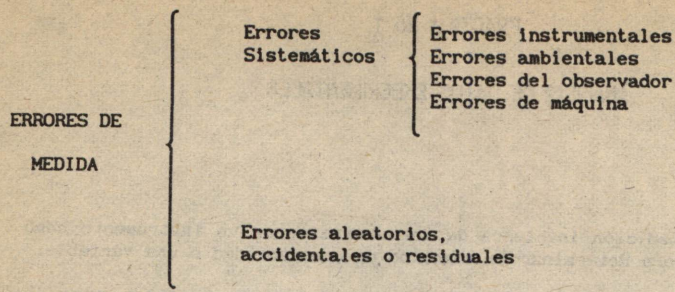
Sensibilidad: Es la relación de la señal de salida o respuesta del instrumento con respecto al cambio de entrada o variable medida.

Resolución: Es el cambio mínimo del valor medido al cual el instrumento responde.

Error: Es la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero de la variable.

CLASIFICACION DE LOS ERRORES DE MEDIDA

Los errores de medida pueden clasificarse en dos grupos principales según se muestra en el cuadro siguiente:



Errores sistemáticos

Los *errores instrumentales* son propios del instrumento y se presentan debido a su construcción, calibración o su operación. Por ejemplo, un mal diseño o construcción puede ocasionar variaciones en el entrehierro o una irregular tensión en el resorte, y en instrumentos con movimiento D'Arsonval son comunes este tipo de errores. Los errores de calibración dan como resultado una lectura mayor o menor al valor real debido a la incorrecta posición de la aguja en cero. Estos errores se pueden corregir mediante la correcta calibración del instrumento.

Los *errores ambientales* son debidos a condiciones externas, estas podrían ser los efectos de temperatura, presión barométrica, campos magnéticos, campos electrostáticos, humedad, suciedad, vibraciones y otras condiciones similares. Los métodos correctivos utilizados para eliminarlos, incluyen aire acondicionado, aislamiento, sellado hermético, etc, del sitio donde se realicen las mediciones.

Los *errores del observador* son errores que se registran cuando los datos son mal leídos por un observador e incluyen paralaje, divisiones anchas de la escala, etc.

La mayoría de los datos actuales son tomados por sistemas automáticos de lectura. Los errores que se involucran son llamados *errores de máquina*. Estos errores se deben a la incorrecta calibración y ajuste del sistema.

Los errores producidos por el equipo de reducción de datos son errores instrumentales si éstos son debidos a la construcción y calibración del instrumento; y serán ambientales si los errores son producidos como una reacción a condiciones externas cambiantes.

Errores aleatorios

Los *errores aleatorios* son debidos a causas desconocidas y existen aún cuando todos los medios conocidos de corrección han sido aplicados.

Para ilustrar mejor este tipo de errores supongamos que una corriente de 15 A se aplica a un instrumento y éste es leído a intervalos horarios. Se encuentra que las lecturas varían de hora a hora aunque la fuente de corriente es invariable y se sabe que es correcta, además de que el

instrumento es operado bajo las mejores condiciones ambientales. Esta variación no puede ser corregida por calibración. Dichos errores no pueden ser previstos y evitados. Las variaciones de estas lecturas deben ser analizadas por métodos estadísticos para obtener la mejor aproximación de la magnitud verdadera de la cantidad que está siendo medida.

Antes de enunciar el procedimiento estadístico que se aplica a los datos experimentales, conviene mencionar algunas de las definiciones y conceptos básicos.

Media aritmética

La mejor aproximación que puede hacerse de una cantidad a partir de un conjunto de lecturas es la media aritmética de los datos y el valor más probable se podría obtener a partir de un conjunto infinito de los mismos, esto es:

$$\bar{X} = \sum \frac{x_i}{N}$$

Desviación

Esta es la variación de la lectura observada con respecto a la media aritmética del grupo de datos.

$$d = x_i - \bar{X}$$

La suma algebraica de las desviaciones es cero.

Desviación promedio

Se define como la suma de los valores absolutos de la desviación dividida por el número de lecturas.

$$D = \sum \frac{|d|}{N}$$

Esta cantidad es una indicación de la precisión del instrumento.

Desviación Estándar

Otro término fundamental en el análisis de errores aleatorios es la desviación estándar dada por la siguiente relación:

$$S' = \sqrt{\frac{\sum d^2}{N - 1}}$$

Teoría Elemental de Muestreo

Esta teoría es el estudio de la relación existente entre una población y las muestras obtenidas de ésta.

A las cantidades de la población se les llama parámetros (μ , σ) y a las

cantidades de la muestra se les llama estadísticos (X , S).

A las muestras de tamaño N tomadas de una población se les calculan los estadísticos con el propósito de obtener la distribución de cada estadístico. Estas distribuciones se conocen como *distribuciones muestrales*: distribución muestral de medias, distribución muestral de desviaciones típicas, de varianzas, etc.

De acuerdo a lo anterior, para la distribución de medias se tiene los estadísticos muestrales:

μ_x - Media de la distribución de medias

σ_x - Desviación estándar de la distribución de medias

y para la distribución de desviaciones:

μ_s - Media de la distribución de desviaciones

σ_s - Desviación estándar de la distribución de desviaciones

A partir de las distribuciones muestrales y sus estadísticos es posible estimar los parámetros de la población dentro de un cierto intervalo de confianza.

En el campo de medición e instrumentación, interesa tomar medidas exactas con la mayor precisión posible, es decir, lecturas de instrumentos más próximas al valor verdadero de la variable dentro del menor intervalo de imprecisión; en otras palabras, lecturas que nos permitan estimar la media poblacional μ (el valor verdadero de la variable) dentro del menor intervalo de valores con un alto nivel de confianza. Lo anterior puede ilustrarse de acuerdo a las gráficas de la figura 1.

La figura 1(a) corresponde a las lecturas de un medidor exacto ya que el promedio de ellas \bar{X} es cercano a μ ; pero es impreciso dado que el intervalo de confianza es amplio, lo que significa que son frecuentes las medidas diferentes de μ .

La figura 1(b) se refiere a un medidor inexacto pero preciso. Inexacto porque el promedio de lecturas \bar{X} difiere mucho de μ , preciso porque el intervalo de confianza es estrecho, lo que determina que las medidas se centren alrededor de \bar{X} . Un medidor con estas características es de buena calidad y bastará con que se calibre cuidadosamente para remover el sesgo y aproximar \bar{X} a μ .

El medidor cuya distribución de lecturas aparece en 1(c) además de mostrar descalibración es impreciso.

Finalmente la distribución de lecturas en 1(d) es representativa de las características de exactitud y precisión deseables en todo medidor; el promedio de todas las lecturas \bar{X} es muy próximo a μ , con la posibilidad de estimarlo con un alto nivel de confianza en un pequeño intervalo de valores, dado que la dispersión es pequeña.

De esta forma, para determinar el valor verdadero de una variable se debe disponer de un conjunto de muestras de tamaño N y definir para ellas la

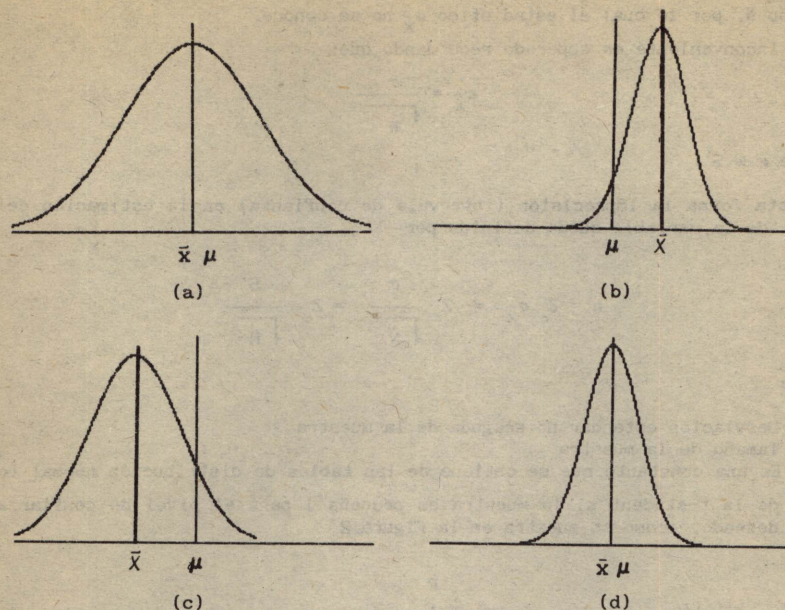


Figura 1

distribución muestral de las medias y sus estadísticos muestrales $\mu_{\bar{x}}$ y $\sigma_{\bar{x}}$. A partir de estos estadísticos se estima la media de la población en un cierto intervalo de confianza, esto es:

$$\bar{X} - Z_c \sigma_{\bar{x}} < \mu < \bar{X} + Z_c \sigma_{\bar{x}}$$

El intervalo de confianza se define de acuerdo al nivel de confianza deseado en la estimación. Así, por ejemplo, si se desea una estimación del 95% o 99% de confianza o probabilidad de certidumbre, los intervalos de confianza serán:

$$\bar{X} - 1.96 \sigma_{\bar{x}} < \mu < \bar{X} + 1.96 \sigma_{\bar{x}} \quad (1-\alpha) = 0.95$$

$$\bar{X} - 2.58 \sigma_{\bar{x}} < \mu < \bar{X} + 2.58 \sigma_{\bar{x}} \quad (1-\alpha) = 0.99$$

Al producto $Z_c \sigma_{\bar{x}}$ se le llama error probable o imprecisión y se denota por 'h'.

Por otro lado, con frecuencia nos encontramos con el hecho de que para estimar el valor de la variable disponemos solamente de una muestra de

tamaño N , por lo cual el estadístico $\sigma_{\bar{x}}$ no se conoce.
 Este inconveniente es superado recordando que:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

y que $\sigma \approx S'$.

De esta forma la imprecisión (intervalo de confianza) en la estimación del valor de la variable queda definida por

$$h = Z_c \sigma_{\bar{x}} = Z_c \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = Z_c \frac{S'}{\sqrt{N}}$$

donde

S' - Desviación estándar no sesgada de la muestra

N - Tamaño de la muestra

Z_c - Es una constante que se obtiene de las tablas de distribución normal (o de la t-student si la muestra es pequeña) para el nivel de confianza deseado, como se muestra en la figura 2¹

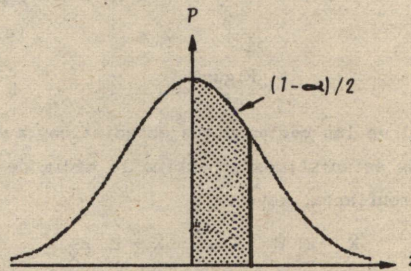


Figura 2.

Para determinar 'h' con otro nivel de confianza a partir de uno conocido h_1 se aplica la siguiente relación:

$$h' = \frac{Z_c'}{Z_c} h_1$$

Error Límite

En la mayoría de los instrumentos indicadores, la imprecisión está garantizada para ser menor en un cierto porcentaje del valor de la escala máxima. Los componentes de un circuito, tales como inductancias,

¹ En el Apéndice A se presenta la tabla de probabilidad de la función normal.

capacitancias y resistencias están garantizadas para estar dentro de un cierto porcentaje del valor especificado. Los límites de estas desviaciones a partir del valor especificado son definidos como *Error Límite*.

El error límite q_e es un error máximo y de magnitud conocida

$$q = q_1 \pm q_e$$

siendo q_1 el valor medido en el instrumento.

En la mayoría de componentes el error límite es el especificado por la tolerancia.

Cálculo del Error Límite en por ciento

El error límite expresado en % es llamado clase exactitud del instrumento, es especificado con respecto al valor máximo de la escala y es garantía del fabricante que las mediciones están dentro de ese rango:

$$\% q_e = \frac{(x_1 - \bar{X})_{\max}}{\text{ESCALA}} \cdot 100 \quad (1)$$

Esta relación también es utilizada para determinar el error en por ciento de cualquier lectura.

$$\% q_e = \frac{e}{q_1} \times 100 \quad (2)$$

donde e es el error máximo medido y ' q_1 ' es el valor medido.

Ejemplo. Un voltmetro con escala de 0 a 150 V tiene una exactitud garantizada de 1% a plena escala ¿Cuál será el error límite en % que se comete al leer 83 V en el medidor?

De (1)

$$(x_1 - \bar{X}) = \frac{\text{Esc}(\% q_e)}{100} = \frac{150 (1)}{100} = 1.5 \text{ V}$$

De (2)

$$\% q_e |_{83 \text{ V}} = \frac{1.5}{83} \times 100 = 1.81 \%$$

Para una lectura de 75 V y 37.5 V el $\% q_e$ corresponde a

$$\% q_e |_{75 \text{ V}} = 2 \% \quad \text{y} \quad \% q_e |_{37.5 \text{ V}} = 4 \%$$

El error límite en % aumenta en mediciones de voltaje más pequeño ya que el cálculo del error máximo está basado precisamente en el valor máximo de la escala.

Cálculo del Error Límite por combinación de componentes en la medición de la cantidad V

Siempre que $|\Delta U_i|_{\max} < 1$, $i = 1, 2, \dots, n$ se recomienda el siguiente método aproximado para calcular el error límite que se comete al evaluar V. Si V es una función conocida de las n variables independientes U_1, U_2, \dots, U_n , esto es $V = f(U_1, U_2, \dots, U_n)$ y $|\Delta U_1|_{\max}, |\Delta U_2|_{\max}, \dots, |\Delta U_n|_{\max}$ son los límites absolutos para los errores en la medición de U_1, U_2, \dots, U_n , respectivamente, la función V puede desarrollarse en una serie de Taylor.

$$\Delta V = \frac{\partial V}{\partial U_1} \Delta U_1 + \frac{\partial V}{\partial U_2} \Delta U_2 + \dots + \frac{\partial V}{\partial U_n} \Delta U_n + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial U_1^2} \Delta U_1^2 + \dots$$

Si $|\Delta U_i| \ll 1$, $i = 1, 2, \dots, n$ pueden omitirse los términos de segundo orden o superior, y para que ΔV sea el máximo dentro de los valores que puede tomar, se evalúa la diferencial total usando el máximo valor absoluto de cada término, esto es:

$$|\Delta V_{\max}| \approx \left| \frac{\partial V}{\partial U_1} \Delta U_{1\max} \right| + \left| \frac{\partial V}{\partial U_2} \Delta U_{2\max} \right| + \dots + \left| \frac{\partial V}{\partial U_n} \Delta U_{n\max} \right|$$

donde las parciales se evalúan con los valores nominales de las mediciones U_1, U_2, \dots, U_n .

Finalmente

$$V = V \pm |\Delta V_{\max}|$$

Cálculo del Error Probable de una medición por combinación de Componentes

El error probable (imprecisión) no es un error máximo, es una cantidad obtenida a partir del análisis estadístico y probabilístico y es la mejor aproximación que puede hacerse. En el cálculo, el error probable se considera que las variaciones de cada medición tienen distribución normal. Considere la función F y las variables V_1, V_2 a V_n

$$F = f(V_1, V_2, \dots, V_n)$$

y $\Delta V_1, \Delta V_2, \dots, \Delta V_n$ son los errores probables de V_1, V_2, \dots, V_n .

Entonces el error probable ΔF_1 de F debido al error de V_1 es:

$$\Delta F_1 = \Delta V_1 \frac{\partial F}{\partial V_1} \quad (3)$$

y el error probable ΔF_2 de F debido al error en V_2 es

$$\Delta F_2 = \Delta V_2 \frac{\partial F}{\partial V_2} \quad (4)$$

Entonces el error probable ΔF debido al error de todos los componentes es:

$$\Delta F = \sqrt{(\Delta F_1)^2 + (\Delta F_2)^2 + \dots + (\Delta F_n)^2} \quad (5)$$

Cada una de las variaciones ΔV puede calcularse con la relación de imprecisión 'h' dada anteriormente para un determinado nivel de confianza. Finalmente la cantidad F estará dada por:

$$F = F_{\text{nom}} \pm \Delta F$$

o bien

$$F = F_{\text{nom}} \pm h$$

OBJETIVOS

- Reconocer los diferentes tipos de errores de medición.
- Analizar los errores aleatorios por métodos estadísticos, de un conjunto de datos obtenidos experimentalmente.
- Verificar y/o determinar la clase exactitud de un instrumento de medición.
- Determinar la imprecisión en la medición de una variable eléctrica.

EQUIPO Y MATERIAL

Fuente de alimentación
Vóltmetro analógico
Multímetro
30 Resistencia o más del mismo valor, misma tolerancia
1 Resistencia de 1 K Ω
1 Resistencia de 2.2 K Ω

DESARROLLO

EXPERIMENTO I ANALISIS DEL ERROR POR METODOS ESTADISTICOS

- a) Mida cada una de las 30 resistencias del mismo valor y registre en la tabla 1.
- Seleccione 8 resistencias aleatoriamente del total, mida y registre los valores en la tabla 1 (Muestra 1).
 - Mezcle todas las resistencias y seleccione aleatoriamente 12 elementos. La selección puede o no incluir resistencias de la muestra anterior. Mida y registre los valores en la tabla 1 (Muestra 2).
 - Vuelva a mezclar todas las resistencias y tome aleatoriamente 16 elementos; mida y registre su valor en la tabla 1 (Muestra).

TABLA 1

TOTAL DE RESISTENCIAS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			

NOTA

Entre mas grandes sean las muestras, se obtendran mejores resultados.

EXPERIMENTO II DETERMINACION DEL ERROR LIMITE DE UN VOLTMETRO ANALOGICO

a) Realice la conexi3n de la figura 3.

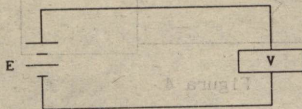


Figura 3

- Mida diferentes valores de voltaje de acuerdo a la tabla 2.

TABLA 2

VOLTAJE APLICADO	ESCALAS			
	0 - 3 V	0 - 15 V	0 - 30 V	0 - 40 V
3				
15				
30				
40				

- Registre el valor de la clase exactitud indicada en el v3ltsmetro.

EXPERIMENTO III CALCULO DEL ERROR PROBABLE DE UNA MEDICION

- a) Arme el circuito divisor de voltaje de la figura 4
- Ajuste el voltaje de entrada exactamente a 10 V.
- Conecte el v3ltsmetro a trav3s del potenc3i3metro R_p y mida el voltaje para tres posiciones del cursor: inicial, central y final.
- Registre el voltaje de salida para los tres casos.

$E_0 = \underline{\hspace{2cm}}$

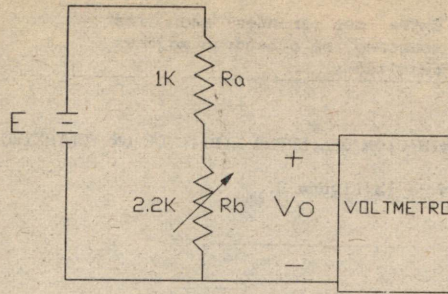


Figura 4

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- Dibuje una gráfica de barras o histograma considerando los 30 elementos.
- 2.- Dibuje el histograma para cada una de las muestras. Una los puntos máximos en cada histograma para formar la curva envolvente.
- 3.- ¿Qué curva se formó en cada histograma? ¿Si hay irregularidades a que se deben?
- 4.- Con base en los datos de la tabla 1, determine la media \bar{X} y la desviación estándar S' para el total de los elementos así como para cada una de las muestras.
- 5.- Determine el intervalo de confianza del valor medio de las resistencias para los cuatro conjuntos con el 50%, 95% y 99% de confianza. Complete la tabla 3.

TABLA 3

NIVEL DE CONFIANZA	TOTAL	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
50%				
95%				
99%				

LIMITES DE 'R' : _____ < R < _____

- 6.- Apartir de la imprecisión calculada en el punto anterior, cual de los conjuntos está dentro de la tolerancia especificada por el fabricante.

7.- Con base a los datos de la tabla 2, determine el error límite experimental, a partir de la ecuación (1), para cada una de las lecturas y complete la tabla 4.

TABLA 4

ESCALAS		0 - 3 V	0 - 15 V	0 - 30 V	0 - 40 V
VOLTAJE APLICADO	3				
	15				
	30				
	40				

VALOR MEDIDO	
% q_e	TEORICO
% q_e	EXPERIMENTAL

8.- A partir de los valores obtenidos, ¿Qué concluye?.

9.- ¿De qué depende que el valor de las lecturas sean más exactas?.

10.-Determine teóricamente el valor de E_o del circuito de la figura 4, para las tres posiciones del potenciómetro, mediante la ecuación siguiente:

$$E_o = E_{in} \frac{R_b}{R_a + R_b}$$

11.-Compárelos con los valores medidos.

12.-Calcule el error ΔE_o producido por la tolerancia de los componentes y la exactitud de los instrumentos utilizados mediante la ecuación (5). Considere 0.5% la exactitud de la fuente y 0.2 % la del multímetro.

13.-Especifique para cada una de las mediciones

$$E_o = E_{nom} + \Delta E_o$$

14.-¿Se encuentran dentro del rango, los valores de voltaje medidos ?

7. Con base a los datos de la tabla 2, determine el error relativo experimental, a partir de la ecuación (1), para cada una de las lecturas y complete la tabla 4.

TABLA 4

VOLTAJE MEDIDO	ESCALAS		
	0 - 5 V	0 - 15 V	0 - 30 V
10			
20			
30			
40			
50			

VALOR MEDIDO	
Nº	TEORICO
Nº	EXPERIMENTAL

8. A partir de los valores obtenidos, ¿qué concluye?
9. ¿De qué depende que el valor de las lecturas sean más exactas?
10. Determine teóricamente el valor de E del circuito de la figura 4 para las tres posiciones del potenciómetro, mediante la ecuación siguiente:

$$E_a = E \frac{R_p}{R_a + R_p}$$

11. Compare con los valores medidos.
12. Calcule el error de producción por la tolerancia de los componentes y la exactitud de los instrumentos utilizados mediante la ecuación (2). Considere 0.2% la exactitud de la fuente y 0.2% la del multímetro.
13. Especifique para cada una de las mediciones

$$E_0 = E_{nom} + \Delta E_0$$

14. ¿Se encuentran dentro del rango, los valores de voltaje medidos?

DETERMINACION DEL MODELO MATEMATICO DEL TERMOMETRO DE RESISTENCIA Y EL TERMISTOR

INTRODUCCION

Una de las partes principales en los sistemas de procesos es la que contiene los elementos primarios de medición, siendo éstos los sensores o detectores de las variables físicas de interés en el proceso.

Si no se cuenta con elementos confiables, es decir, de alta exactitud, de los cuales se conozca el comportamiento en todo su rango de operación, todo el proceso en sí presentaría errores; esto es, gran parte de la exactitud de todo un proceso radica en la exactitud del elemento primario de medición.

Muchos de los elementos primarios de medición son transductores los cuales convierten una variable física como temperatura, presión, etc en otra que puede ser eléctrica, mecánica, neumática, etc y que es fácilmente manipulable.

Al utilizar un transductor es necesario conocer las características propias del elemento tal como: exactitud, rango de operación, linealidad, etc, a fin de saber si será el adecuado para un proceso específico.

El termómetro de resistencia (RTD) es un transductor ampliamente utilizado para las mediciones de temperatura. Consiste de un alambre enrollado sobre un núcleo cerámico y empacado en forma de probeta.

En muchos conductores metálicos la resistencia se incrementa con la temperatura, de tal forma que un cambio en la resistencia será una indicación de la temperatura. El modelo matemático de este elemento es prácticamente lineal para un rango limitado y esta dado por la relación:

$$R = R_0 (1 + \alpha (T - T_0)) \quad (1)$$

en donde

R - Resistencia a la temperatura T

R₀ - Resistencia a la temperatura de referencia T₀

α - Coeficiente de variación de resistencia-temperatura y depende del material

El termistor es otro elemento para medición de temperatura. Este se construye con material semiconductor intrínseco en el cual la resistencia del semiconductor disminuye conforme se incrementa la temperatura a la que está expuesto.

La relación funcional de resistencia-temperatura para este elemento es no lineal y esta dada por:

$$R = R_0 e^{\beta(1/T - 1/T_0)} \quad (2)$$

en donde

R - Resistencia a la temperatura T

R₀ - Resistencia a la temperatura de referencia T₀

β - Constante que depende de las características del material

A partir de datos experimentales se puede obtener la curva característica del elemento mediante el método de ajuste de curvas llamado *Mínimos Cuadrados*.

Este método consiste en minimizar la suma de los cuadrados de las desviaciones de un conjunto de datos con respecto al valor verdadero o al valor promedio de la variable.

La forma más sencilla de aproximar un conjunto de puntos o datos es mediante una línea recta, cuya ecuación está dada por:

$$Y = aX + b \quad (3)$$

y la suma de las desviaciones está dada por:

$$D = \sum (Y - (aX + b))^2 \quad (4)$$

Para minimizar esta cantidad se deriva D con respecto a cada una de las constantes y las ecuaciones derivadas obtenidas se igualan a cero; resultando las siguientes ecuaciones simultáneas:

$$\sum Y = b N + a \sum X \quad (5)$$

$$\sum X Y = b \sum X + a \sum X^2 \quad (6)$$

Las constantes a y b son determinadas resolviendo las ecuaciones (5) y (6).

$$a = \frac{N \sum X Y - (\sum X)(\sum Y)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(\sum X^2)(\sum Y) - (\sum X)(\sum X Y)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

RELACIONES NO LINEALES

Cuando se tienen ecuaciones no lineales se puede desarrollar un método similar al de la línea recta, o bien, algunas veces es posible modificar la

ecuación no lineal a una lineal mediante la transformación adecuada de las variables. Algunas de ellas son las siguientes:

Hipérbola

$$Y = \frac{1}{aX + b} \longrightarrow \frac{1}{Y} = aX + b$$

Curva exponencial

$$Y = a b^X \longrightarrow \log Y = \log a + (\log b) X$$

Curva geométrica

$$Y = a X^b \longrightarrow \log Y = \log a + b \log X$$

ANÁLISIS GRAFICO

Cuando no se requiere una alta exactitud para obtener la función a partir de un conjunto de datos, se puede utilizar el método gráfico.

Al igual que en el análisis analítico, la forma mas sencilla de obtener una función es cuando se aproximan los datos a una línea recta. De tal forma que si se tiene idea del comportamiento general que sigue el elemento en estudio, se pueden graficar los datos con las escalas apropiadas y determinar la relación funcional específica.

La tabla 1 muestra diferentes ecuaciones no lineales así como el método para obtener gráficamente la aproximación a la línea recta en el papel adecuado.

TABLA 1

Relación funcional	Método para graficar	Gráfica y parámetros
$y = ax + b$	y contra x en papel lineal	

TABLA 1 (cont)

Relación funcional	Método para graficar	Gráfica y parámetros
$y = a x^b$	log y contra log x en papel log-log	
$y = a e^{bx}$	log y contra x en papel semilog	
$y = \frac{x}{a + bx}$	$\frac{1}{y}$ contra $\frac{1}{x}$ en papel lineal	
$y = a + bx + cx^2$	$\frac{y-y_1}{x-x_1}$ contra x en papel lineal	
$y = \frac{x}{a + bx} + c$	$\frac{x-x_1}{y-y_1}$ contra x en papel lineal	

OBJETIVOS

- Introducir al alumno con el concepto de transductores eléctricos.
- Determinar gráfica y analíticamente la curva característica de un termómetro de resistencia y de un termistor.
- Determinar la exactitud del elemento en el rango de medición.

EQUIPO Y MATERIAL

- Un termistor
- Un termómetro de resistencia
- Una barra de calentamiento
- Termómetro de mercurio
- Ohmetro

Figura 1

DESARROLLO

EXPERIMENTO I MEDICION DE RESISTENCIA Y TEMPERATURA

- a) Colocar el equipo como se indican en la figura 1.
- Conectar la barra de calentamiento y esperar 10 minutos aproximadamente para que se establezca la temperatura.
 - Llenar el depósito de agua y colocarlo en la primera ranura de la barra de calentamiento.
 - Colocar el termómetro de resistencia y el termómetro de vidrio en el depósito de agua.
 - Conectar las terminales del RTD a un óhmetro.
 - Registra los datos en la tabla 2.
- b) Repita los pasos anteriores para el termistor.

TABLA 2

Ranura de calentamiento	Resistencia Ohms	Temperatura °C

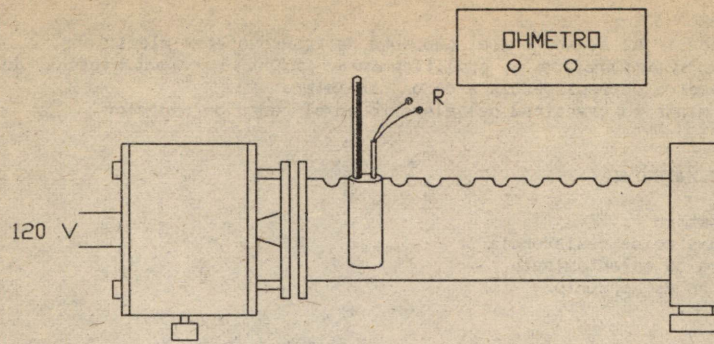


Figura 1

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- Con los datos obtenidos Y anotados en la tabla 2, determine el modelo del termómetro de resistencia con el método de mínimos cuadrados.
- 2.- Repita el punto anterior para el termistor.
- 3.- Determine gráficamente el modelo de los dos elementos primarios.
- 4.- Compare los resultados analíticos y gráficos.
- 5.- Especifique el rango de operación para el cual es válida la ecuación obtenida.
- 6.- Para una medición específica dentro del rango medido, ¿Cómo determinaría el error en la medición ?
- 7.- ¿Que procedimiento realizaría para obtener un modelo matemático mas exacto?
- 8.- Con el valor de α y β encontrados, investigue de que material son los elementos utilizados.
- 9.- Investigue el comportamiento de otros elementos a los cuales se pueda hacer un análisis similar.
- 10.- Realice un análisis similar al de línea recta para determinar las constantes para una curva cuadrática o parábola.

PRACTICA No 3

MEDICIONES LINEALES

INTRODUCCION

Los instrumentos básicos para medición de longitudes pueden clasificarse en tres grupos:

I Barras, Reglas y Cintas

II Calibrador Vernier

III Micrómetro

Barras, Reglas y Cintas.- La medición con estos instrumentos se basa en la comparación directa de la longitud a ser medida con una longitud conocida o patrón; generalmente tienen graduaciones grabadas en subdivisiones a partir de la unidad básica.

Las mediciones por comparación directa tienen limitaciones inherentes, tales como: deflexión, planitud, paralelismo (debidas al material de fabricación), ancho de las graduaciones de la escala y exactitud en las mismas, sensibilidad del instrumento; al ser considerados cada uno de estos factores en el diseño del instrumento, aumenta su exactitud y la de las mediciones que con él se realizan.

Calibrador Vernier.- Este instrumento es una variante o modificación de una regla metálica.

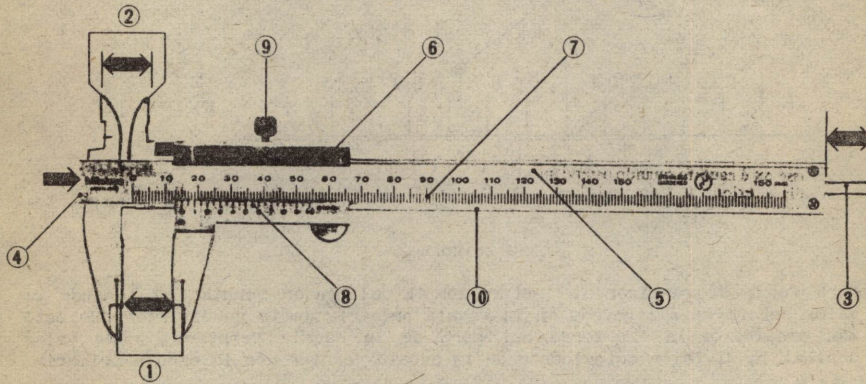


Figura 1

Las partes principales indicadas en la figura 1 son las siguientes:

- 1 - Superficies para medición de exteriores
- 2 - Superficies para medición de interiores
- 3 - Varilla de profundidad
- 4 - Superficie para medición de escalones
- 5 - Regla
- 6 - Cursor
- 7 - Escala primaria
- 8 - Escala vernier o nonio
- 9 - Tornillo de fijación
- 10- Superficie de referencia

La longitud de la escala vernier puede estar graduada en alguna de las tres formas siguientes:

- 9 milímetros y dividida en 10 partes iguales, con una discriminación de 1/10 mm.
- 19 milímetros y dividida en 20 partes iguales, con una discriminación de 1/20 mm.
- 49 milímetros y dividida en 50 partes iguales, con una discriminación de 1/50 mm.

Los calibradores con que cuenta el laboratorio son de los primeros (discriminación 0.1 mm).

La lectura de cualquier medición será igual al valor de la escala primaria cuya marca esté alineada con la de la escala de vernier, menos el valor coincidente de la escala vernier con la escala primaria, multiplicando este último por 9/10 milímetros que es el valor de cada una de las divisiones de la escala vernier. En la figura 2 se indica esta medición.

$$L = 8 - 5 \left(\frac{9}{10} \right) = 8 - 4.5 = 3.5 \text{ mm}$$

Marcas coincidentes

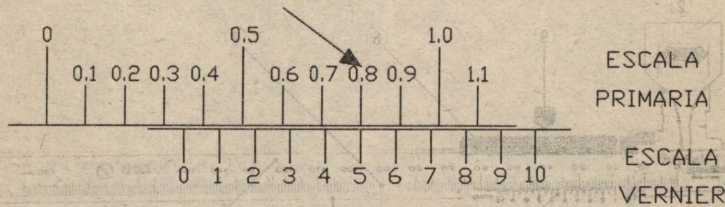


Figura 2

Otra forma de realizar la lectura en el calibrador vernier es tomando el valor entero en milímetros en la escala primaria de la subdivisión que esté más próxima a la izquierda del cero de la escala vernier y como valor decimal la división coincidente de la escala vernier con la escala primaria.

Para el ejemplo de la figura 2, el entero más cercano a la izquierda del cero de la escala vernier es 3 y el valor coincidente de la escala vernier con la escala primaria es 5; por lo tanto el valor de la lectura es 3.5.

El mismo procedimiento se realiza cuando se tienen escalas graduadas en

pulgadas.

Existen además, calibradores digitales los cuales tienen acoplado a la quijada móvil un circuito electrónico para detectar la medición, la figura 3 muestra un calibrador digital.

Las partes principales y botones de control son los que se listan a continuación:

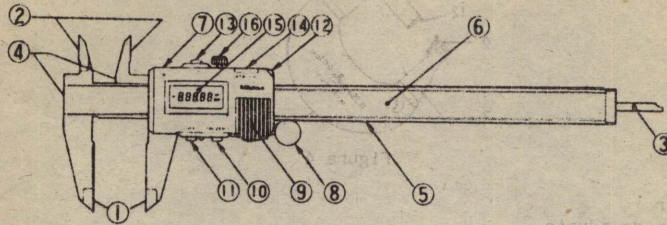


Figura 3

- 1 - Superficies para medición de exteriores
- 2 - Superficies para medición de interiores
- 3 - Varilla de profundidad
- 4 - Medición de alturas
- 5 - Regla
- 6 - Escala primaria
- 7 - Deslizador
- 8 - Botón de desplazamiento
- 9 - Tapa de batería
- 10 - Cero
- 11 - Interruptor ON/OFF
- 12 - Botón HOLD/DATA
- 13 - MM / pulgadas
- 14 - Conector salida de datos
- 15 - Tornillo de anclaje

Micrómetro. - Es un instrumento para medir generalmente pequeñas longitudes y es más exacto que el calibrador vernier. Utiliza un tornillo de avance controlado para medir directamente el avance axial del husillo mediante marcas grabadas en un cilindro graduado y una escala circular con marcas grabadas que indican la parte fraccional de las divisiones de la escala primaria del cilindro. La presión sobre la pieza a medir debe ser uniforme. Esto se logra por medio de un mecanismo de trinquete localizado en el mango para obtener una medición confiable. La figura 4 muestra un micrómetro y sus partes principales son las siguientes:

- 1 - Arco
- 2 - Tope
- 3 - Husillo
- 4 - Cilindro

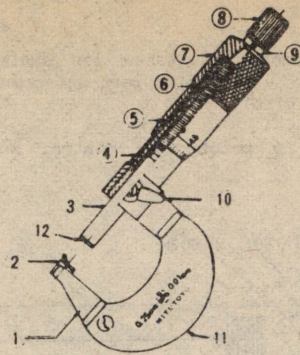


Figura 4

- 5 - Tambor
- 6 - Tuerca de ajuste
- 7 - Cubierta exterior
- 8 - Matraca
- 9 - Tornillo de ajuste
- 10- Freno
- 11- Puente aislante
- 12- Punta de metal duro

La parte roscada del husillo, que es un tornillo graduado tiene 20 hilos por centímetro (ó 40 hilos por pulgada), la separación entre crestas continuas es llamada paso de la rosca y tiene una longitud de 1/20 centímetros, es decir 0.05 centímetros y corresponden a las divisiones del cilindro graduado.

El tambor graduado tiene 50 divisiones marcadas en forma circunferencial (25 divisiones para el sistema inglés) y por cada giro completo del tambor se avanza una división del cilindro, por lo que cada división del tambor corresponderá a una longitud de $1/50 \times 1/20$, es decir, 1/1000 cm.

Si el tambor gira 10 vueltas completas, la barra de medición habrá avanzado 10 pasos, es decir 0.5 centímetros.

De lo anterior se obtiene la relación llamada factor de equivalencia que para el cilindro es de 0.05 cm/Div y para el tambor es de 0.001 cm/Div.

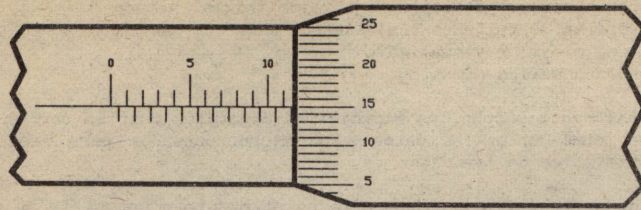
La medición será de acuerdo a la siguiente relación:

$$L = 0.05 \frac{\text{cm}}{\text{div}} * \text{No div cilindro} + 0.001 \frac{\text{cm}}{\text{div}} * \text{No div tambor}$$

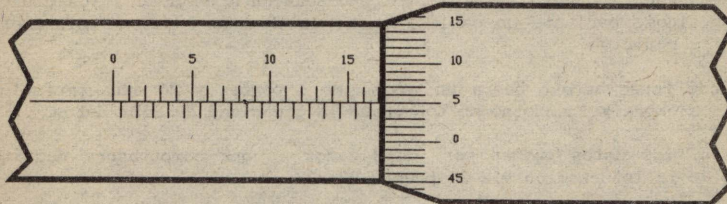
o bien:

$$L = 0.5 \frac{\text{mm}}{\text{div}} * \text{No div cilindro} + 0.01 \frac{\text{mm}}{\text{div}} * \text{No div tambor}$$

En la figura 5 se muestran 2 ejemplos de medición.



a) $L_1 = 0.05 * 23 + 0.001 * 15 = 1.165 \text{ cm}$



b) $L_2 = 0.5 * 34 + 0.01 * 5 = 17.05 \text{ mm}$

Figura 5

El mismo procedimiento se realiza cuando se tienen escalas graduadas en pulgadas.

También se cuenta con micrómetros digitales cuyo circuito electrónico es acoplado al puente. La figura 6 muestra el control digital de este instrumento.

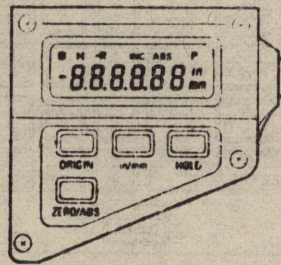


Figura 6

Los botones de control son los siguientes:

- ORIGEN - Fija un valor a partir de la medición con barra estandar
- CERO/ABS - Con cualquier medición fija valor inicial a cero
- IN/MM - Conversión de pulgadas a milímetros
- HOLD - Mantiene el valor visualizado
- DATA - Botón para salida de datos

Tanto los calibradores como los micrómetros digitales cuentan con un puerto de salida el cual envía los datos a un microprocesador para realizar el análisis estadístico de los datos.

Definición de parte (pieza).- Una parte es un objeto o una serie de objetos de la misma forma a los cuales se harán las mediciones.

Características.- Son las diferentes formas geométricas y sus respectivos tamaños que en su conjunto constituyen un parte.

Miniprocesador.- Es un sistema para procesamiento de datos, los cuales son transmitidos, mediante un cable, por el calibrador o por el micrómetro al hacer la medición.

Se puede tener acceso hasta un máximo de 5 partes y 20 características en total, siempre y cuando no se sobrepasé la capacidad de 2497 datos.

También, los datos pueden ser analizados en una computadora mediante el envío de la información vía el puerto RS-232.

Algunos de los cálculos y gráficas realizados por el miniprocesador son los siguientes:

Mediciones de datos, número de subgrupos, rango de subgrupos, promedios, desviación estandar de datos y de parámetros, cartas de control medias vs rangos, medias vs desviaciones estandar, histogramas, etc.

En la figura 7 se muestra el diagrama esquemático de miniprocesador.

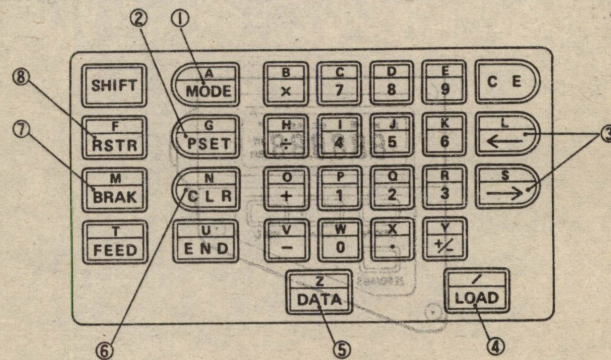


Figura 7

Las teclas de control y sus funciones son las siguientes:

- 1 - MODO. Al presionar la tecla se entra al menu principal.
- 2 - PSET. Presionar esta tecla cuando se quiera fijar un determinado valor para los medidores.
- 3 - CURSOR. Se mueve a las respuestas YES/NO.
- 4 - CARGA. Almacena las entradas seleccionadas con YES/NO y los datos ingresados mediante el teclado.
- 5 - DATA. Presionar para entrada de datos de los medidores.
- 6 - CLR. Presionar para limpiar datos.
- 7 - BRAK. Esta tecla se usa con dos propósitos: uno es el de interrumpir la operación de impresión y el otro es de retornar al menu previo cuando termina el modo de operación que ejecuta.
- 8 - RSTR. Presionar si hay error.

A continuación se presenta la forma de programar el miniprosesor, mediante un ejemplo de medición de una parte, una característica y cinco subgrupos de 5 muestras cada uno. En el apéndice B se presentan los resultados y gráficas obtenidos a fin de que sirvan de guía de resultados en la práctica.

Un procedimiento similar se seguirá cuando se quiera analizar mayor número de piezas y mas características.

PANTALLA	OPRIMIR TECLEAR	QUE HACE
WHAT TO DO? [MODE. PSET. CLR] [CLEAR ALL]	CLR ← LOAD	Selecciona modo de operación. Borra todos los datos y programa anteriores.
CLEAR ALL SETTING] OK? Y/N	← LOAD	Confirma la operación.
CLEARED]	LOAD	Termina operación de borrado.
WHAT TO DO? [MODE. SET. CLR]	MODE	Selecciona modo de operación.
[SET] Y/N	← LOAD	Inicia programación.
INITIALIZE Y/N	← LOAD	Confirma operación.
CLEAR ALL DATA OK Y/N	← LOAD	Limpia todos los datos en caso de que haya.
PART NUMBER SET (1-5)	1 LOAD	Selecciona una pieza a medir.
CHR. NUMBER OF PART 1 (1-20)	1 LOAD	Selecciona 1 característica de la pieza.
ADD TIME TO DATA? Y/N	LOAD	No se ingresa la fecha y hora para no ocupar memoria.
2497 DATA/1CHR OK? Y/N	← LOAD	Se tiene un espacio en memoria para 2497 medidas de la característica.

IMPRIME DATOS DE LA PARTE, CARACTERISTICA Y EL CODIGO

```

1 0 1
|
|
|----- 1 característica.
|----- 1 parte.

```


CHART OR PART 1 ? X̄ - R ? Y/N	←	LOAD	Selecciona gráfica Valor Medio vs Rango.
SAMPLE SIZE (2-25) 5		LOAD	Selecciona tamaño de la muestra de la característica 1.
INITIAL STUDY Y/N	←	LOAD	Inicia estudio.
MAX 499 SUBGROUP: Y/N	←	LOAD	Se pueden tomar hasta 499 muestras de 5 datos c/u.
SET CHAR. ? PRESS		LOAD	Detalles de las características.
SET CHAR. 101 Y/N	←	LOAD	Detalles de característica 101.
UNIT (12 DIGIT)	SHF	MM LOAD	Fija unidades en milímetros (INCH - Pulgadas).
D. POINT (0 - 6)		3 LOAD	Fija 3 decimales.
UPPER LIMIT		10.15 LOAD	Solicita límite máx-sup aceptable.
LOWER LIMIT		9.85 LOAD	Solicita límite máx-inf aceptable.
SET FORMULA? Y/N		LOAD	No se quiere tener acceso a la fórmula del programa.
INITIAL OVER]			
PRESS LOAD		LOAD	Termina programa inicial.
SET PART. CHR. NAME Y/N		LOAD	No se da nombre a la parte y característica (ya que no queda impreso).
SET INPUT METHOD? Y/N	←	LOAD	Define método de ingresar los datos.
INPUT FROM GAGE? Y/N	←	LOAD	Ingreso de datos mediante instrumento.
GAGE NUMBER (1-20)		1 LOAD	Selecciona puerto 1.
INPUT ORDER?			
PRESS LOAD]		LOAD	Fija secuencia de datos.
SET CHR. CODE]			
FINISH: END 1:		101 LOAD	Iniciará ingreso de datos en la característica 101.
SET CHR. CODE]			
FINISH: END 2:		END	La característica 101 es la primera y última.
CALCULATION WHIT			
CONSTAN? Y/N		LOAD	No se ingresa constante para el cálculo.
GO/NG JUDGE? Y/N	←	LOAD	Interroga sobre aceptación o no de datos fuera de control.
DELETE NG DATA?		LOAD	No borra datos fuera de control.
PRINT OUT? Y/N	←	LOAD	Se imprimen datos de medición.
SETTING OVER]			
PRESS LOAD		LOAD	Termina programación.
		LOAD	Presionar 3 veces.
		LOAD	Carga información.
		LOAD	
EXIT Y/N	←	LOAD	Sale de rutina de programa.
[INPUT DATA] Y/N	←	LOAD	Inicia ingreso de datos.
OPERATOR 1	SHIFT	GMH LOAD	Nombre operador: GMH.
OPERATOR 2	SHIF	CILINDRO LOAD	Como no se utiliza el 2° medidor, se identifica la pieza de medición.
INPUT METHOD? PROGRAM			
Y/N	←	LOAD	Ya está programado el método.
CONNECT GAGE Y/N	←	LOAD	Ya está conectado el medidor.

Imprime datos de OPERADOR 1
OPERADOR 2

START DATA INPUT
PRESS LOAD

LOAD Inicia ingreso de datos.

Imprime datos de subgrupo
INICIA

101 1 10.1 DATA Se ingresa el primer dato con el
medidor y se repite 5

101 5 9.981 DATA Hasta escuchar la señal.
END Termina 1^{er} subgrupo (muestra).

IMPRIME PARAMETROS

Se repite el proceso 5 veces (5 muestras)

CONTINUE TO MEASURE?
Y/N ← LOAD

CONTINUE TO MEASURE?
Y/N LOAD Termina el muestreo.

[INPUT DATA] Y/N LOAD No se ingresan más datos.

STAT.OPERAT Y/N ← LOAD Se inicia operación estadística.

PRINT OUT Y/N ← LOAD Se imprime.

DATA OF CHR 101 Y/N ← LOAD Da la característica 101.

SUBGROUP (1-5) 1 LOAD 5 LOAD Las 5 muestras.

CHART Y/N ← LOAD Imprime carta de control (CHR 101).

CHART Y/N LOAD Termina impresión muestra 1.

RESULT Y/N ← LOAD Imprime datos numéricos.

RESULT Y/N LOAD Termina la impresión de la muestra.

HISTOGRAM? Y/N ← LOAD Inicia histograma.

CREATION METHOD SPEL
LMT Y/N LOAD Sin límites especiales.

CREATION METHOD DATA
Y/N LOAD Imprime histograma.

HISTOGRAM? Y/N LOAD Termina histograma muestra 1.

EXIT? Y/N ← LOAD Termina proceso.

STAT OPERAT Y/N LOAD Termina proceso estadístico.

END BREAK Aborta operación y termina.

OBJETIVO

- Dar al alumno los conocimientos teórico-prácticos para el uso y operación del calibrador vernier y micrómetro tanto manual como digital.
- Familiarizar al alumno con un sistema basado en microprocesador para el análisis estadístico de datos.

EQUIPO Y MATERIAL

Calibrador vernier manual
Micrómetro manual
Calibrador vernier digital
Micrómetro digital
Miniprocesador
Piezas para medición

DESARROLLO

EXPERIMENTO I USO DEL CALIBRADOR VERNIER

- a) Tomar el calibrador de tal manera que el dedo pulgar quede presionando el tornillo de ajuste.
 - Introducir la pieza entre las superficies de medición del calibrador.
 - Guiar el tornillo de ajuste hasta que la pieza quede presionada por las superficies del calibrador (sin forzar en ningún momento).
 - Realizar y registrar la lectura.
 - Realice un muestreo de 5 lecturas, tomando una por persona.
- b) Repita el inciso a) para la medición de interiores y profundidades.

EXPERIMENTO II USO DEL MICROMETRO

- a) Girar el tornillo regulador hasta que el husillo y el tope presionen la pieza que se va a medir (Por ningún motivo se debe presionar la pieza con el tambor, ya que se puede dañar la rosca del tornillo).
 - Realizar y registrar la lectura.
 - Realice un muestreo de 5 lecturas, tomando una por persona.

EXPERIMENTO III USO DE LOS MEDIDORES CON EL MINIPROCESADOR

- a) Programe el miniprocesador para obtener el análisis estadístico para una parte y una característica.
- b) Programe el miniprocesador para obtener el análisis estadístico utilizando dos medidores, dos partes con una característica cada uno.

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- ¿Cuales son los errores que se pueden cometer al hacer lecturas con el calibrador.
- 2.- ¿Cual es la exactitud del calibrador.
- 3.- Con los datos obtenidos determine los parámetros básicos: Media, desviación estándar, error máximo.
- 4.- Repita las preguntas 1, 2 y 3 para el micrómetro.
- 5.- Para los dos casos de experimento III, presente los datos estadísticos obtenidos con el miniprosesador y analice los resultados.
- 6.- ¿Qué ventajas o desventajas encuentra en el análisis del punto anterior?

El primer punto a considerar es el carácter de la revolución social. Esta se ha convertido en un fenómeno mundial, que trasciende las fronteras nacionales y se manifiesta en todas las partes del mundo. El objetivo principal de esta revolución es la eliminación de las desigualdades sociales y económicas, y la creación de una sociedad más justa y equitativa. Para lograr esto, es necesario que los gobiernos adopten medidas que permitan a todos los ciudadanos acceder a los recursos y oportunidades de manera equitativa. Además, es fundamental que se fomente la participación activa de la ciudadanía en los procesos de toma de decisiones, para garantizar que las políticas públicas respondan a las necesidades reales de la población.

CARACTERISTICAS ESTATICAS DEL GALVANOMETRO

INTRODUCCION

El galvanómetro es un dispositivo electromecánico que produce un efecto mecánico (deflexión angular) a partir de una variable eléctrica: pequeñas corrientes y tensiones de cd.

En la figura 1 se muestra un galvanómetro de D'Arsonval indicando sus componentes principales. Este medidor es del tipo de bobina móvil e imán permanente y sus características lo hacen el de mayor uso práctico.

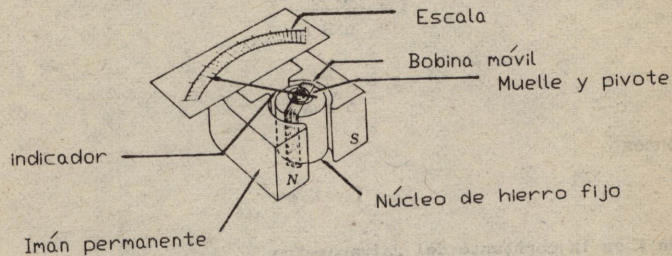


Figura 1

Cuando se aplica una corriente a las espiras de la bobina, interactúa con el campo magnético estacionario para inducir un par de giro sobre la misma bobina y el indicador. El giro es contrarrestado y limitado por un par recuperador, producido mecánicamente por muelles que sujetan las partes móviles y tienden a llevarlas a la posición de excitación nula. El par recuperador es lineal y proporcional al giro.

En estado estático el ángulo de giro está determinado por el equilibrio de las únicas fuerzas que actúan en el sistema: el par T debido a la corriente de excitación:

$$T = n B A I \cos \phi \quad (1)$$

y el par recuperador T_r

$$T_r = K_o \phi \quad (2)$$

donde

- n - número de espiras de la bobina
- B - densidad de flujo magnético
- A - área de la espira

K_0 - constante de elasticidad del muelle
 ϕ - ángulo de giro
 i - corriente aplicada

De la ecuación (1) y (2) se observa que la respuesta del medidor (la deflexión angular) es proporcional a la corriente aplicada para deflexiones pequeñas, esto es, $\cos \phi$ es aproximado a la unidad.

$$n B A I = K_0 \phi$$

despejando ϕ

$$\phi = \frac{n B A}{K_0} I \quad (3)$$

o bien

$$I = \frac{K_0 \phi}{n B A} \quad (4)$$

Si

$$K = \frac{K_0}{n B A}$$

entonces

$$I = K \phi \quad (5)$$

donde K es la constante del galvanómetro.

El diagrama esquemático mecánico y el circuito elemental de funcionamiento del galvanómetro en estado estable se presenta en la figura 2. El voltaje aplicado V determina la corriente I_g de la malla y ésta la deflexión angular ϕ . La resistencia R_g representa la resistencia interna del galvanómetro y R_s la de la fuente.

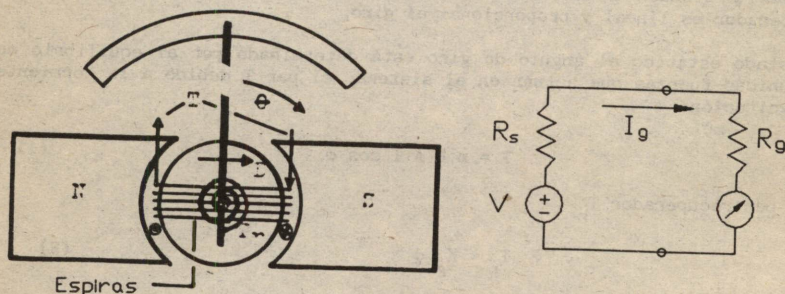


Figura 2

Los parámetros más significativos con respecto al comportamiento estático

del galvanómetro son los siguientes:

Resistencia interna R_g .

Corriente máxima del galvanómetro I_g . Es el valor de la corriente que determina la deflexión máxima, es decir, la indicación del 100 % de la escala.

Constante del galvanómetro K . Es la relación de las variaciones de la entrada con respecto a las variaciones de salida, esto es:

$$K = \frac{\Delta I}{\Delta \phi}$$

Sensibilidad S . Es la relación de las variaciones de la respuesta con respecto a las variaciones de la entrada, esto es:

$$S = \frac{1}{K} = \frac{\Delta \phi}{\Delta I}$$

OBJETIVO

- Proporcionar al alumno los conocimientos teórico-prácticos relativos al funcionamiento del galvanómetro D'Arsonval en su respuesta estable.
- Determinar los parámetros estáticos del galvanómetro.

EQUIPO Y MATERIAL

Galvanómetro
Fuente de alimentación
Multímetro
1 potenciómetro 1 K Ω lineal

DESARROLLO

Experimento I : OBTENCION DE LOS PARAMETROS DEL GALVANOMETRO.

- a) Arme el circuito de la figura 3.

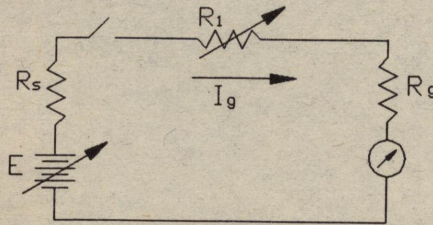


Figura 3

- Antes de conectar la alimentación, verifique que la fuente esté en 0 V y que el potenciómetro esté a su máximo valor (1 K Ω).
- Aumente poco a poco el voltaje de la fuente y disminuya el valor del potenciómetro, hasta que el galvanómetro marque la corriente a plena escala.
- Anote la corriente indicada en el ampermetro.

$$I = I_g = \text{-----}$$

- Anote el voltaje de la fuente y mida el valor del potenciómetro.

$$V = \text{-----}$$

$$R = \text{-----}$$

- b) Mantenga el valor del potenciómetro y fije a cero la fuente.
- Incremente desde cero el valor de la fuente y complete la tabla 1

TABLA 1

Escala	No divisiones	Lec del amperm.
25 %		
50 %		
75 %		
100 %		

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- ¿Cuáles son las características estáticas principales del galvanómetro?
- 2.- ¿Cuál es la corriente máxima que circula por el galvanómetro?
- 3.- Determine el valor de la resistencia R_g .
- 4.- Con base en los datos de la tabla 1, complete la tabla 2

TABLA 2

Escala	K_I [mA/div]	S_I [div/mA]
25 %		
50 %		
75 %		
100 %		

- 5.- ¿Qué concluye de la tabla anterior?
- 6.- ¿Qué utilidad práctica tiene la constante K_I .
- 7.- ¿Qué utilidad tiene la S_I del galvanómetro.
- 8.- ¿Cuáles son las características que deben tomarse en cuenta para saber si un galvanómetro es de buena calidad?
- 9.- Mencione algunas aplicaciones o usos que se le da al galvanómetro.
- 10.- ¿Investigue si existen otros medidores analógicos de corriente directa y cuáles son las ventajas o desventajas que presentan con respecto al de bobina móvil e imán permanente ?

ANALYSIS OF DATA

The following table shows the results of the analysis of the data obtained from the experiments. The values are given in the columns headed by the names of the variables. The values in the rows are the means of the observations for each variable.

TABLE I

Variable	Mean	Standard Deviation
...
...
...
...

The results of the analysis show that there is a significant difference between the two groups. The values of the variables are significantly higher in the first group than in the second group. This difference is statistically significant at the 5% level. The results are consistent with the hypothesis that the first group is more effective than the second group.

PRACTICA No 5

MULTIMETRO ANALOGICO DE CD

INTRODUCCION

El multímetro analógico de cd es un instrumento para la medición de voltajes, corrientes y resistencias. El elemento principal del multímetro es el galvanómetro del cual es necesario conocer su corriente máxima así como la resistencia interna.

VOLTMETRO

La construcción de un voltmetro analógico de una sola escala se realiza conectando una resistencia en serie con el galvanómetro como se muestra en el circuito de la figura 1. El voltaje a través de las terminales a y b será el producto de la corriente por la resistencia total del circuito, esto es:

$$V = I_g (R_1 + R_g)$$

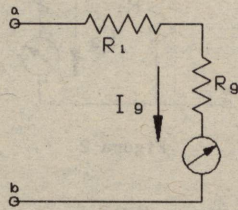


Figura 1

Resolviendo para el valor de R_1 se tiene:

$$R_1 = \frac{V}{I_g} - R_g \quad (1)$$

Por otro lado, la constante del voltmetro es la relación de la variaciones de entrada con respecto a las variaciones de salida, para este caso está dada por:

$$K_v = \frac{\text{Voltaje máximo de la escala}}{\text{No Divisiones}} \quad (2)$$

y la sensibilidad es el recíproco de la constante, esto es:

$$S_v = \frac{\text{No Divisiones}}{\text{Voltaje máximo de la escala}} \quad (3)$$

Otro término importante es la eficiencia de un voltmetro la cual se expresa en *ohms por volt*. Esta cantidad es la relación de la resistencia interna del voltmetro y la lectura de voltaje a plena escala, esto es,

$$\text{Ohms por volt} = \frac{R_v}{V_{\text{max}}} \quad (4)$$

Esta cantidad es una indicación de la calidad del instrumento.

AMPERMETRO

El galvanómetro es un medidor de corriente, sin embargo, generalmente mide muy pequeñas corrientes. Para medir corrientes mayores a I_g , parte de la corriente a medir es derivada a través de una resistencia, como se muestra en la figura 2.

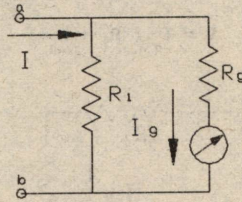


Figura 2

en donde

- I = corriente de carga a ser medida
- I_g = corriente máxima del galvanómetro
- I_1 = corriente en la rama de derivación
- R_g = resistencia del galvanómetro
- R_1 = resistencia de derivación

Igualando las caídas de voltaje en el galvanómetro y en la resistencia derivadora, se tiene:

$$I_g R_g = (I - I_g) R_1$$

resolviendo para R_1

$$R_1 = \frac{I_g R_g}{I - I_g} \quad (5)$$

Por otro lado, la constante del ampérmetro es la relación de las variaciones de entrada (corriente) con respecto a las variaciones de salida (deflexión angular), para este caso está dada por:

$$K_I = \frac{\text{Corriente máxima de la escala}}{\text{No Divisiones}} \quad (6)$$

y la sensibilidad será el recíproco de la constante, esto es:

$$S_I = \frac{\text{No Divisiones}}{\text{Corriente máxima de la escala}} \quad (7)$$

OHMETRO

El circuito básico de un óhmetro tipo serie para un rango es el que se muestra en la figura 3.

El óhmetro es un instrumento medidor de resistencia que utiliza en este caso un método de deflexión y mide resistencia en función de la corriente que circula por la misma.

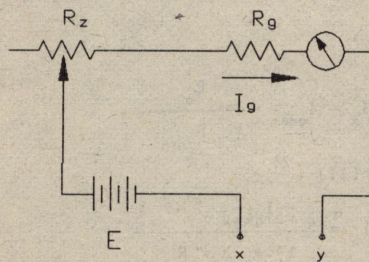


Figura 3

El conectar las terminales x y y es equivalente a cortocircuitar las puntas de prueba. Si la parte variable de R_z se ajusta para obtener la máxima deflexión, entonces el óhmetro marcará exactamente cero resistencia. Contrariamente, si los puntos x y y quedan abiertos, no circulará corriente por el circuito y el indicador del óhmetro estará en la posición de resistencia infinita.

Del circuito de la figura 3, la corriente que circula cuando se conecta una resistencia X está dada por:

$$I_x = \frac{E_o}{R_1 + R_g + R_z + X} \quad (8)$$

y debe cumplirse que $I_x = I_{gmax}$ cuando $X = 0$.

Para que se cumpla es necesario que R_z sea igual a:

$$R_z = \frac{E_o}{I_{gmax}} - (R_1 + R_g) \quad (9)$$

Haciendo la siguiente igualdad:

$$R = R_1 + R_z + R_g \quad (10)$$

y sustituyendo (10) en (8)

$$I_x = \frac{E_o}{R + X}$$

o bien

$$I_x = \frac{E_o/R}{1 + X/R} \quad (11)$$

y cuando $X = 0$

$$I_x = I_{gmax} = \frac{E_o}{R} \quad (12)$$

sustituyendo (12) en (11)

$$I_x = \frac{I_{gmax}}{1 + X/R} \quad (13)$$

De tal forma que:

$$\frac{e_x}{e_{gmax}} = \frac{I_x}{I_{gmax}} = \frac{1}{1 + X/R} \quad (14)$$

ya que $I \cong K e$

De la ecuación (14), se hace notar que:

$$X = 0 \quad \theta_x = \theta_{\max}$$

$$X \longrightarrow \infty \quad \theta_x \longrightarrow 0$$

Si se hacen las siguientes igualdades

$$P = \frac{I_x}{I_{g\max}} \quad \text{y} \quad \rho = \frac{X}{R}$$

Entonces la ecuación (14) queda:

$$P = \frac{1}{1 + \rho} \quad (15)$$

Donde las cantidades P , ρ son adimensionales y son de gran utilidad para hacer la escala del óhmetro.

Cuando $\rho = 1$, $I = I_g/2$, es decir, la deflexión es la mitad de la escala y $X = R$, donde R es la resistencia interna del óhmetro.

OBJETIVOS

- Dar las bases para el diseño y construcción de un multímetro analógico de corriente directa.

EQUIPO Y MATERIAL

Galvanómetro
Fuente de alimentación
Multímetro
1 Potenciómetro lineal de $1 \text{ K}\Omega$
1 Potenciómetro lineal de 100Ω
10 Resistencias de $1 \text{ K}\Omega$
10 Resistencias menores a 20Ω

DESARROLLO

EXPERIMENTO I : DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN VOLTIMETRO

- a) Calcule los valores de R_1 , R_2 y R_3 con la expresión (1) para los rangos de medición de $E_1 = 3 \text{ V}$, $E_2 = 5 \text{ V}$ y $E_3 = 10 \text{ V}^1$.
- Con los valores calculados, arme el circuito de la figura 4.

¹ Para poder calcular las resistencias, es necesario conocer la corriente y resistencia interna del galvanómetro.

- b) A partir de cero, incremente poco a poco el valor de la fuente hasta que el voltmetro patrón indique el valor de E_1 ; en ese momento el voltmetro bajo prueba indicará plena escala. De no ser así, calibrelo haciendo pequeñas variaciones en R_1 de tal forma que la aguja marque máxima escala. Registre el valor de R_1 .
- c) Determine la constante K_v y la sensibilidad S_v del voltmetro con las expresiones (2) y (3) respectivamente.
- d) Verifique la operación del voltmetro diseñado para distintos valores medidos, como se indica en la tabla 1.

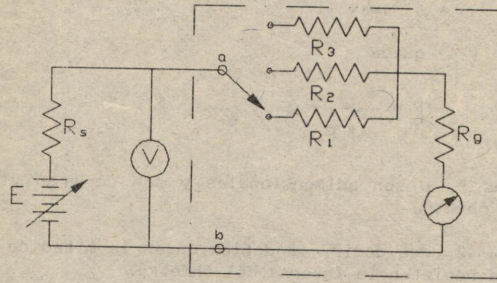


Figura 4

TABLA 1

LECTURA	No DIVISIONES	VOLTAJE PATRON
1		
2		
3		
4		
5		

- e) Repita desde el inciso c) para las escalas E_2 y E_3

EXPERIMENTO II : DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN AMPERMETRO

- a) Calcule los valores de R_1 , R_2 y R_3 con la expresión (5) para los rangos de medición de $I_1 = 20 \text{ mA}$, $I_2 = 50 \text{ mA}$ y $I_3 = 100 \text{ mA}$.
- Con los valores calculados, arme el circuito de la figura 5.
- b) A partir de cero, incremente poco a poco el valor de la fuente hasta que el ampermetro patrón indique el valor de I_1 ; en ese momento el ampermetro bajo prueba indicará plena escala. De no ser así, calibrelo haciendo pequeñas variaciones en R_1 de tal forma que la aguja marque máxima

escala. Registre el valor de calibración.

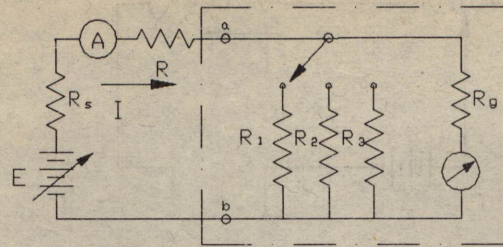


Figura 5

- c) Determine la constante K_I y la sensibilidad S_I del ampérmetro con las expresiones (6) y (7) respectivamente.
- d) Verifique la operación del ampérmetro diseñado para distintos valores medidos, como se indica en la tabla 2.

TABLA 2

LECTURA	No DIVISIONES	CORRIENTE PATRON
1		
2		
3		
4		
5		

- e) Repita desde el inciso c) para las escalas I_2 e I_3

EXPERIMENTO III : DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN OHMETRO

- a) Arme el circuito de la figura 6.

- b) Ponga en corto las terminales x y y .

Ajuste y anote el valor de R_z para que el óhmetro marque exactamente el 100 % de la escala, esto es, máxima deflexión ².

- c) Conecte un potenciómetro de 1 K Ω en las terminales x - y , y fíjelo en la

² La configuración de este óhmetro es similar a la del voltmetro, por lo que debe tomar el valor de R_z y E igual al de una de las escalas, por ejemplo R_1 y E_1 respectivamente.

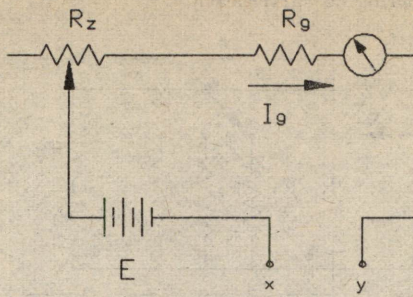


Figura 6

- posición de máximo valor. Lentamente disminuya la resistencia hasta que el medidor detecte movimiento.
- Mida y registre el valor de la resistencia del potenciómetro. Este valor será la máxima resistencia que se podrá medir.
- d) Determine la resistencia interna del óhmetro, conectando el potenciómetro entre los puntos x y y , varíe el valor hasta que la corriente sea del 50 % . Mida y registre el valor de la resistencia.
- e) Determine la escala del óhmetro con las ecuaciones (14) ó (15) de acuerdo a la tabla 3. Tome como referencia los valores de resistencia máxima e interna medidas en los puntos c) y d) respectivamente.

TABLA 3

X Ω	R Ω	P * 100 % de Corriente
0		100
R		50
Rmax		≈ 0

- f) Verifique la exactitud del óhmetro para diferentes valores de resistencias y registre las en la tabla 4.

TABLA 4

R medida Ω	R real Ω

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- Con base a los datos de la tabla 1 complete la tabla 5 para cada uno de los rangos.

TABLA 5

LECTURA	VOLTAJE MEDIDO $K_v \cdot \text{No Div}$	VOLTAJE PATRON	ERROR %
1			
2			
3			
4			
5			

- 2.- Determine la clase exactitud del voltmetro.
- 3.- ¿Qué utilidad tiene la constante K_v ?
- 4.- ¿Qué utilidad tiene la sensibilidad S_v ?
- 5.- Determine la relación ohms por volt para cada uno de los rangos.
- 6.- ¿Cual es la impedancia del voltmetro ?
- 7.- Con base a las respuestas anteriores, dé algunos comentarios acerca de la calidad de su voltmetro.
- 8.- ¿De que depende la exactitud de las mediciones del voltmetro ?
- 9.- Repita los puntos anteriores para el ampermetro, excepto el No 5.
- 10.- Con base al análisis y diseño del voltmetro y ampermetro, ¿Como se caracteriza un galvanómetro de calidad ?

- 11.-Al variar el valor de R_i en el voltmetro y el ampermetro para calibrarlos (correspondiente a los experimentos I b) y II b), determine el porcentaje el error de R_i y diga a que se puede deber.
- 12.-¿Cual es el rango de valores de resistencia que mide el óhmetro?
- 13.-¿Como se podrian implementar otras escalas de resistencia ?.
- 14.-Explique y dibuje el circuito.
- 15.-¿Qué importancia tiene la resistencia interna del óhmetro ?
- 16.-Con base a los datos de la tabla 4 complete la tabla 6.
- 17.-Haga un dibujo de la carátula del óhmetro.
- 18.-Grafique la ecuación (15) y haga comentarios.
- 19.-Dibuje el circuito completo de multímetro analógico.

TABLA 6

R medida Ω	R real Ω	Error %

PRACTICA No 6
MULTIMETRO DIGITAL

INTRODUCCION TEORICA

Muchas de las señales eléctricas que se presentan cotidianamente son lineales sobre un rango de valores, algunas de ellas son obtenidas de transductores tales como de temperatura, presión, desplazamiento, etc, los cuales generan señales voltaje o corriente de valores continuos en el tiempo (señales analógicas) y éstas pueden ser convertidas en señales digitales (continuas en el tiempo pero discontinuas en amplitud) para aplicaciones que van desde el simple monitoreo de las señales a través de visualisadores (LCD), en procesos industriales como entrada a sistemas controladores sofisticados cuya función principal es la mantener a la variable de control en un valor fijo, hasta para el análisis y procesamiento de las señales de interés en sistemas de cómputo.

Es por esto que los procesos de conversión digital a analógico (D/A) y analógico a digital (A/D) se hacen cada día más indispensables.

Conversión Digital a Analógico (D/A)

Esta conversión consiste en transformar una señal digital a una analógica que guarde proporción directa con la primera. El circuito básico de conversión es el que se muestra en la figura 1:

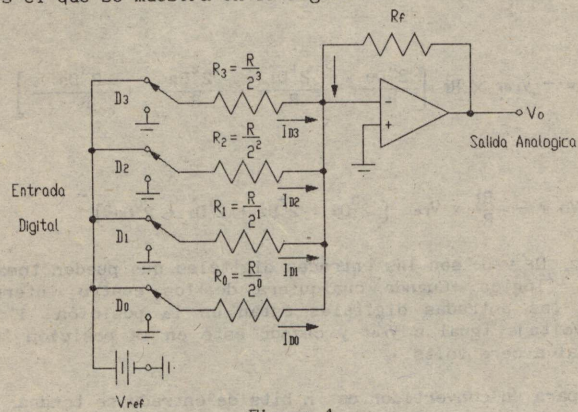


Figura 1

Donde D0 es el bit menos significativo y D3 es el más significativo y cada uno de ellos puede tener valores de '1' o '0' lógico, en donde al primero le corresponde un voltaje de 5 V generalmente y al segundo de 0 V. La función de transferencia del circuito se obtiene determinando la corriente en cada rama, esto es:

$$I_f = \frac{V_o}{R_f} \quad (1)$$

$$I_{D0} = \frac{V_{ref} \times D_0}{R} \quad (2)$$

$$I_{D1} = \frac{V_{ref} \times D_1}{R / 2} \quad (3)$$

$$I_{D2} = \frac{V_{ref} \times D_2}{R / 4} \quad (4)$$

$$I_{D3} = \frac{V_{ref} \times D_3}{R / 8} \quad (5)$$

$$I_f = - (I_{D0} + I_{D1} + I_{D2} + I_{D3}) \quad (6)$$

Sustituyendo las ecuaciones (1) a (5) en la ecuación (6), se obtiene:

$$\frac{V_o}{R_f} = - \left[\frac{V_{ref} \times D_0}{R / 2^0} + \frac{V_{ref} \times D_1}{R / 2^1} + \frac{V_{ref} \times D_2}{R / 2^2} + \frac{V_{ref} \times D_3}{R / 2^3} \right]$$

$$V_o = - V_{ref} \times R_f \left[\frac{2^0 D_0}{R} + \frac{2^1 D_1}{R} + \frac{2^2 D_2}{R} + \frac{2^3 D_3}{R} \right]$$

Ordenando

$$V_o = - \frac{R_f}{R} \times V_{ref} \left[2^3 D_3 + 2^2 D_2 + 2^1 D_1 + 2^0 D_0 \right] \quad (7)$$

Donde D_3 , D_2 , D_1 y D_0 son las entradas digitales que pueden tomar valores de '1' ó '0' lógico. Cuando cualquiera de los cuatro interruptores que representan las entradas digitales están en la posición '1', la entrada tendrá un voltaje igual a V_{ref} y cuando esté en la posición '0' tendrá un voltaje igual a cero volts.

En general para un convertidor de n bits de entrada se tendrá:

$$V_o = - \frac{R_f}{R} \times V_{ref} \left[2^{n-1} D_{n-1} + 2^{n-2} D_{n-2} \dots \dots + 2^1 D_1 + 2^0 D_0 \right]$$

Ejemplo: Para el circuito de la figura 1 obtener V_o para cuando las entradas digitales son:

$D_3 = 0$, $D_2 = 0$, $D_1 = 1$, $D_0 = 0$ y se tienen valores de:

$$\begin{aligned} V_{ref} &= 5V \\ R_f &= 1.6 \text{ K}\Omega \\ R &= 8 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de entrada dados en la ecuación (7) o en la ecuación general con $n = 4$ se obtiene:

$$V_o = - \frac{1600 \times 5}{8000} \left[2^3 \times 0 + 2^2 \times 0 + 2^1 \times 1 + 2^0 \times 0 \right]$$

$$V_o = - 1 \times (0 + 0 + 1 + 0)$$

$$V_o = - 2V$$

Nótese que la salida analógica es proporcional a la entrada digital, en este caso el factor de proporcionalidad es igual - 1.

Otro método con el cual se logra la conversión D/A es conocido como método de escalera $R - 2R$ cuyo circuito básico se muestra en la figura 2.

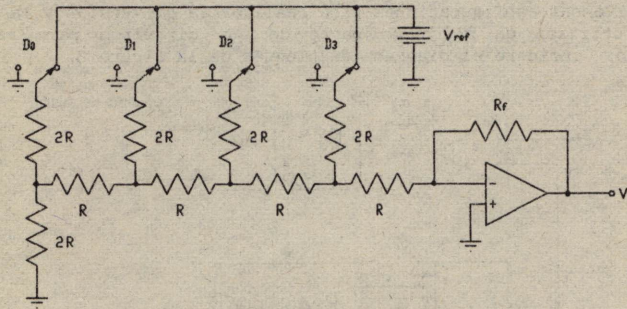


Figura 2

Para obtener la función de transferencia se aplica el teorema de superposición, el cual establece en términos generales que la respuesta de un circuito debido a varias fuentes de excitación actuando simultáneamente, es igual a la suma de las respuestas debidas a cada excitación actuando por separado.

El voltaje de salida para el circuito de la figura 2 es:

$$V_o = - \frac{R_f \times V_{ref}}{4R \times R} \left[2^3 D_3 + 2^2 D_2 + 2^1 D_1 + 2^0 D_0 \right]$$

Parámetros Principales de los Convertidores D/A (DAC)

Resolución : Se define como la menor variación que puede ocurrir en la salida analógica como resultado de un cambio en la entrada digital.

$$(\%) \text{ Resolución} = \frac{\text{Mínima variación de voltaje}}{\text{Voltaje de escala total}} \times 100$$

Por lo general los fabricantes especifican la resolución de un DAC como el número de bits que tiene, ya que a mayor número de bits se tiene menor discriminación de voltaje y por lo tanto mayor resolución.

Error de escala completa: Es la máxima desviación de la salida del DAC con respecto al valor teórico estimado y se expresa en por ciento.

Tiempo de respuesta: Es la velocidad de operación para un DAC especificada por el fabricante y se define como el tiempo requerido para que la salida analógica pase de su mínimo valor al de escala completa cuando la entrada binaria cambia de todos ceros a todos unos.

Convertidor Analógico a Digital (ADC)

Un convertidor A/D es un dispositivo que tiene como entrada un voltaje analógico y en las salidas se tiene el número binario correspondiente.

Existen diversas configuraciones para realizar la conversión y la mayoría de los ADC utilizan un DAC como parte de sus circuitos para realizar la conversión. Considere el diagrama de bloques de la figura 3.

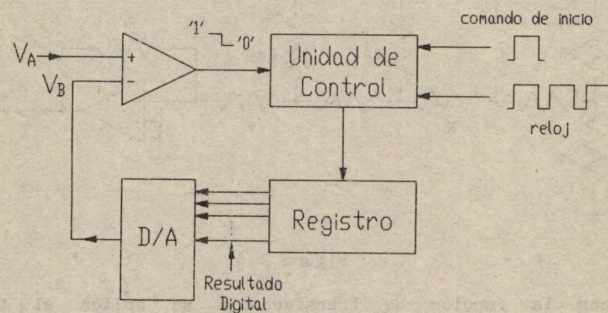


Figura 3

Cuando la señal de comando de inicio pasa a alto, se inicia el proceso de conversión. A una razón constante determinada por la frecuencia del reloj, la unidad de control modifica continuamente el número binario que está almacenado en el registro, éste número binario se convierte a un voltaje V_B por el convertidor D/A.

El comparador, compara V_B con V_A (entrada analógica), mientras V_A es mayor que V_B la salida del comparador será alta y la unidad de control seguirá incrementando el número que tiene en su registro hasta que la conversión de éste número dé un valor $V_B \geq V_A$ y es en ese momento cuando se detiene el proceso y se da la conversión.

El número binario que está presente en el registro cuando se detiene la conversión es el número digital que corresponde a la entrada analógica V_A .

Si el voltaje de entrada V_A es mayor que el máximo valor de conversión del convertidor D/A interno del ADC el voltaje V_B nunca llegará a ser mayor o igual a V_A y por lo tanto el proceso de conversión A/D no se puede realizar.

Convertidor A/D con Rampa Digital

Esta es una de las versiones más simples del convertidor A/D, en la cual se hace uso de un contador binario de 'n' bits como registro que incrementa un paso con cada pulso de la señal de reloj hasta lograr que $V_B \geq V_A$, es entonces cuando en las salidas del contador se tiene representado digitalmente el voltaje V_A . En la figura 4 se muestra el circuito general.

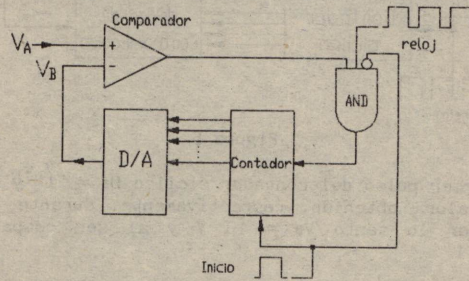


Figura 4

El contador incrementa su cuenta de 1 en 1 con cada pulso de reloj, lo que significa que el convertidor necesita n pulsos de reloj para que la entrada analógica V_A sea $\leq V_B$ razón por la cual este tipo de convertidor es relativamente lento en comparación con otros tipos de ADC.

Convertidor A/D de Aproximaciones Sucesivas

La figura 5 muestra el diagrama de bloques de este convertidor. Si $V_A = 10V$, los pasos del ciclo de conversión son los siguientes:

- El convertidor D/A, el registro y el contador cíclico se encuentran en estado de reset durante el primer pulso del contador, la unidad de control lógico pone al bit más significativo (MSB) en '1' ($D_3=1$) y todos los restantes en cero ($D_2=D_3=D_0=0$) de esta forma la salida del DAC es $V_B = 8V$ y este valor es comparado con V_A , si $V_A \geq V_B$, el bit más significativo es dejado en '1' en caso contrario se pone en '0', para el ejemplo considerado $V_A = 10V$ el cual es mayor a $V_B = 8V$ por lo que $D_3=1$.
- Durante el segundo pulso del contador cíclico D_2 es puesto en '1' y D_1, D_0 permanecen en '0', D_3 tendrá el valor de '1' o '0' dependiendo del paso anterior, para este caso $D_3 = 1$, por lo tanto V_B será igual a $12V$ y este valor es comparado con V_A , de forma que si $V_A \geq V_B$ D_2 permanece en 1 en caso contrario $D_2 = 0$, para este caso $V_B \geq V_A$, por lo que $D_2 = 0$.

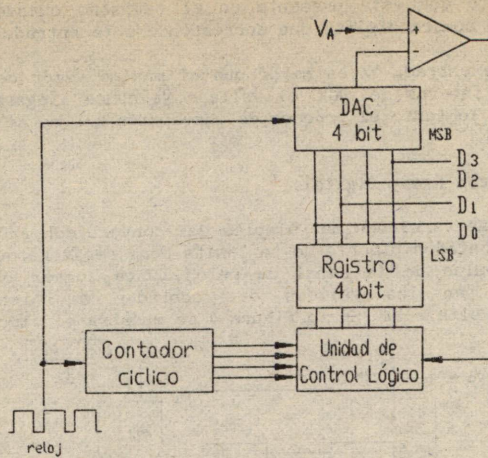


Figura 5

- Durante el tercer pulso del contador cíclico $D_1 = '1'$ y $D_0 = '0'$, D_3 y D_2 tienen el valor obtenido respectivamente durante los dos pasos anteriores, por lo tanto $V_B = 10$ V y al ser comparado con V_A , D_1 permanece en '1'
- $D_0 = '1'$, y al comparar V_A con V_B , D_0 es puesto en cero, terminando el ciclo y obteniendo el valor de V_A en las salidas convertidor.

Este convertidor necesita un número de pulsos de reloj igual al número de bits que maneje, y para cualquier voltaje de entrada $V_A \leq 15$ V se necesitarán solamente 4 pulsos de reloj.

Si se considera una frecuencia de reloj de 4 MHz, el tiempo de conversión sería $4 \times (1 / 4 \times 10^6) = 1 \mu s$ para cualquier valor de $V_A \leq 15$ V; mientras que si se utiliza el método de conversión anterior, con una entrada $V_A = 13$ V el tiempo de conversión sería $13 \times (1 / 4 \times 10^6) = 3.25 \mu s$.

Multímetro Digital.

El multímetro digital básicamente consta de dos secciones: una analógica y otra digital. La primera consiste principalmente de redes divisoras de voltaje, de corriente o una fuente de corriente, según se use como voltmetro, ampermetro u óhmetro y son utilizadas con el fin de que la señal de entrada tenga el nivel adecuado para poder realizar la conversión.

La sección digital consiste de un convertidor A/D y el despliegue para presentar el valor de la medición. El ADC requiere de un voltaje externo de referencia (V_{ref}), el cual determina el máximo valor de entrada al ADC, que es dos veces V_{ref} , esto es:

$$V_{max} = 2 V_{ref}$$

(8)

y el máximo V_{ref} que permite el convertidor es de 200 mV.

VOLTMETRO DIGITAL

La sección analógica del voltmetro digital corresponde a divisores de voltaje los cuales tienen la función de que no importando el voltaje que se aplique a su entrada, el voltaje máximo a la entrada del convertidor A/D siempre será un voltaje preestablecido, que en este caso es de 100 mV. La figura 6 muestra el circuito para una escala.

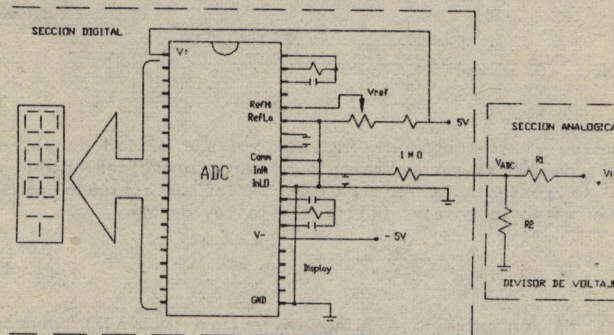


Figura 6

Los valores de R_1 y R_2 se determinan de acuerdo a la siguiente relación:

$$V_{ADC} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i \quad (9)$$

donde

V_{ADC} = Voltaje de entrada al ADC = 100 mV

V_i = Voltaje máximo de entrada al voltmetro digital, dependiendo de la escala

Puesto que el máximo voltaje de referencia para el ADC es de 200 mV, es recomendable seleccionar el valor medio, esto es, 100 mV, por lo que de acuerdo a la expresión (8), el voltaje máximo de entrada al ADC será de 200 mV, y las escalas se seleccionan en múltiplos de este valor, esto es: 0 - 200 mV, 0 - 2 V y 0 - 20 V

AMPERMETRO DIGITAL

La medición de corriente se realiza indirectamente, ya que lo que se mide realmente es el voltaje a través de una resistencia y la lectura es proporcional a la magnitud de corriente medida. La figura 7 muestra el circuito para una escala de corriente.

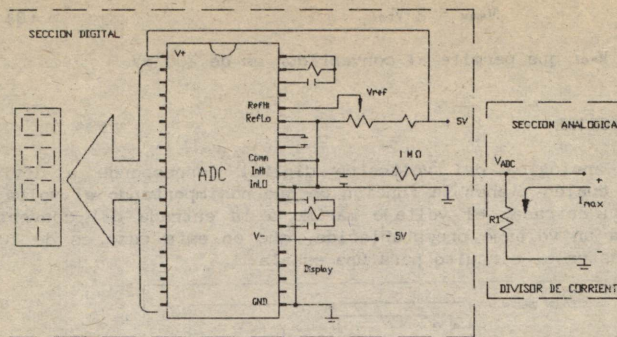


Figura 7

Al igual que en el voltmetro digital, el voltaje máximo de entrada al ADC $V_{max} = V_{ADC}$ es de 200 mV y este valor debe ser proporcional al de corriente, por lo que la resistencia R_1 tendrá el valor determinado por V_{max} y la corriente máxima de la escala. Utilizando la ley de Ohm:

$$R_1 = \frac{V_{max}}{I_{max}} \quad (10)$$

Si $I_{max} = 200$ mA, entonces $R_1 = 1 \Omega$ y la lectura (voltaje) corresponderá al de la corriente medida.

OHMETRO DIGITAL

Este instrumento requiere de una fuente de corriente de valor preciso, dicha corriente circula por la resistencia desconocida R_x , de forma que el voltaje a través de R_x será el medido y la lectura obtenida será proporcional al valor de R_x .

El circuito básico del óhmetro digital es el mostrado en la figura 8. El voltaje V_p se ajusta con el potenciómetro P_1 ; considerando que $V_n = V_p$ se tiene:

$$I_e = \frac{V_{cc} - V_n}{R_e} \quad (11)$$

Como $I_e = I_c$, el voltaje en la resistencia R_x será:

$$V_x = V_{ADC} = I_c R_x \quad (12)$$

Sustituyendo la ecuación (11) en (12), y evaluando para R_x se tiene:

$$R_x = \frac{V_x}{V_{cc} - V_n} R_e \quad (13)$$

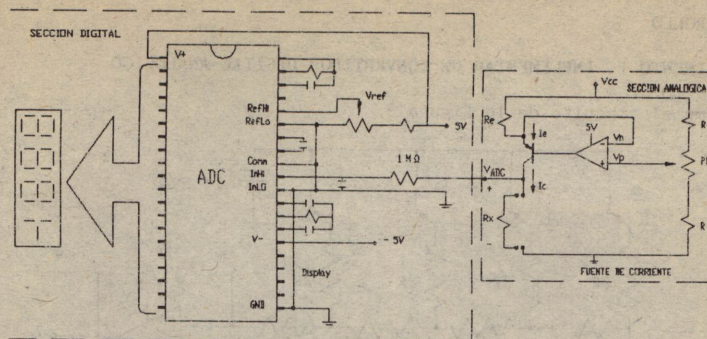


Figura 8

Si P_1 se ajusta de forma que $V_{cc} - V_n = 1 \text{ V}$, entonces R_x es proporcional al valor de la resistencia de escala R_e :

$$R_x = V_x R_e \quad (14)$$

OBJETIVOS

- Dar al alumno los conocimientos básicos acerca de los convertidores A/D y D/A.
- Presentar las bases teóricas-prácticas para construir un voltmetro, un ampermetro y un óhmetro digital.
- Calibrar un multímetro digital didáctico y obtener la clase exactitud del mismo.

EQUIPO Y MATERIAL

- 1 Multímetro
- 1 Fuente de alimentación
- 1 Convertidor AD
- 1 Multímetro digital didáctico
- 2 Resistencias 100Ω
- 5 Resistencias de valor menor a $1 \text{ k}\Omega$
- 15 Resistencias $1 \text{ k}\Omega$
- 2 Resistencia de $10 \text{ k}\Omega$
- 1 Resistencia de $47 \text{ k}\Omega$
- 1 Potenciómetro $1 \text{ k}\Omega$ lineal
- 1 Potenciómetro de $20 \text{ k}\Omega$
- 1 CI LF357 o equivalente
- 1 Transistor 2N3905 o equivalente

DESARROLLO

EXPERIMENTO I IMPLEMENTAR UN CONVERTIDOR DIGITAL-ANALOGICO

a) Arme el circuito de la figura 9.

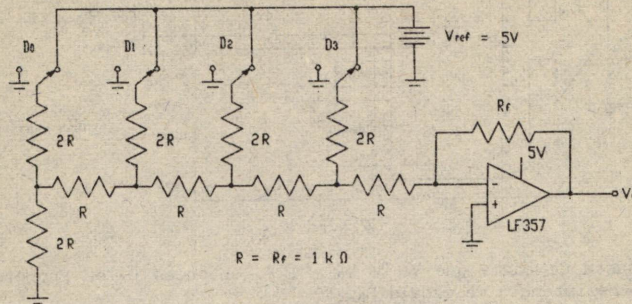


Figura 9

- Antes de conectar la polarización, verifique los voltajes de la fuente.
- Verifique para las diferentes entradas digitales, de 0000 a 1111 el correspondiente valor analógico y registre los datos en la tabla 1.

TABLA 1

ENTRADA DIGITAL	SALIDA DE VOLTAJE ANLG.

EXPERIMENTO II CONSTRUCCION DE UN VOLTMETRO DIGITAL

- En el ADC, verifique con un voltmetro que $V_{ref} = 100\text{ mV}$, en caso contrario ajústelo con el potenciómetro P_{ref} .
- A partir del divisor de voltaje de la figura 10, si el voltaje máximo de escala es $V_1 = 2\text{ V}$, calcule el valor de R_1 y R_2 , para que el voltaje de

entrada al ADC sea de $V_{ACD} = 200 \text{ mV}$.

- c) Arme el circuito de la figura 10 y conecte a la entrada una fuente de voltaje.

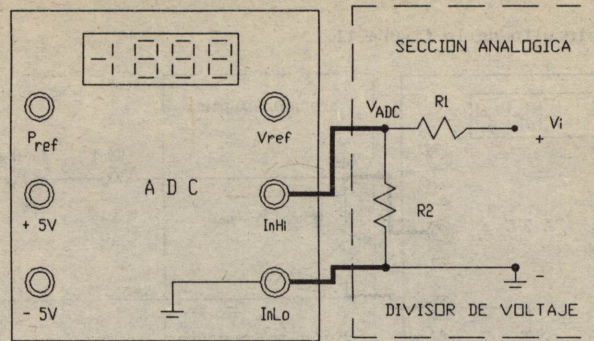


Figura 10

- Varie el voltaje de la fuente con los incrementos que se indican en la tabla 2 y registre los datos correspondientes.

TABLA 2

VOLTAJE FUENTE	VOLTAJE VOLTM. DIG.
0	
0.25	
0.50	
0.75	
1.00	
1.25	
1.50	
1.75	
2.00	

- Desconecte el divisor de voltaje.
- d) Con el potenciómetro P_{ref} , varíe el voltaje V_{ref} a 150 mV . Si $V_{max} = 3 \text{ V}$, calcule el valor de R_1 y R_2 para que $V_{ACD} = 300 \text{ mV}$.
- Repita el inciso c) con incrementos de 0.5 V .

EXPERIMENTO III CONSTRUCCION DE UN AMPERMETRO DIGITAL

- a) En el ADC, verifique con un voltmetro que $V_{ref} = 100 \text{ mV}$, en caso contrario

ajústelo con el potenciómetro P_{ref} .

- b) En relación con la figura 11, si $I_{max} = 20 \text{ mA}$, determine el valor de R_1 a fin de que el voltaje de entrada al convertidor sea igual a $V_{adc} = 200 \text{ mV}$.
- c) Arme el circuito de la figura 11.

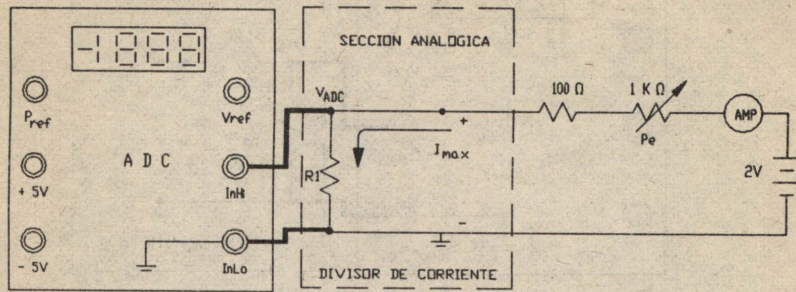


Figura 11

- Verie el potenciómetro P_e de acuerdo a los valores de corriente del ampermetro patrón indicados en la tabla 3.

TABLA 3

CORRIENTE AMP. PATRÓN	CORRIENTE AMP. DIC.
2 mA	
4 mA	
6 mA	
8 mA	
10 mA	
13 mA	
16 mA	
18 mA	
20 mA	

EXPERIMENTO IV CONSTRUCCION DE UN OHMETRO DIGITAL

- a) En el ADC, verifique con un voltmetro que $V_{ref} = 100 \text{ mV}$, en caso contrario ajústelo con el potenciómetro P_{ref} .
- b) En relación con el circuito de fuente de corriente de la figura 12, determine el valor de la resistencia de escala R_e a fin de que el óhmetro funcione en un rango de $0 - 2000 \Omega$.

c) Arme el circuito de la figura 12.

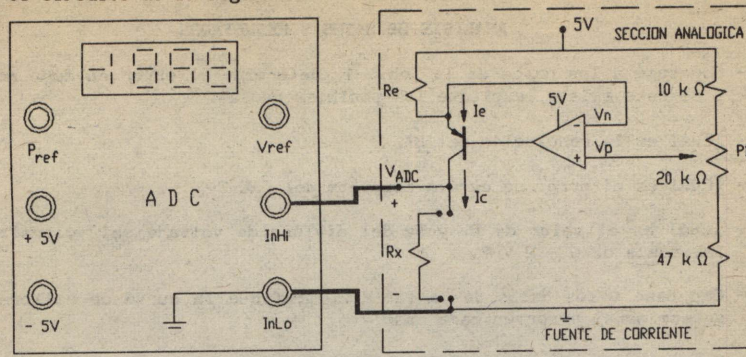


Figura 12

- Verifique y registre en la tabla 4, el valor de diferentes resistencias dentro del rango especificado.

TABLA 4

RESISTENCIA TEÓRICA	RESISTENCIA OHM. DIG.

EXPERIMENTO V CALIBRACION DEL MULTIMETRO DIGITAL

a) Con el multímetro digital didáctico verifique la operación del voltmetro, ampermetro y óhmetro en las diferentes escalas. Registre los datos en forma similar a los de las tablas 2, 3 y 4.

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- Con base a los datos de la tabla 1, determine el error en cada medición y si éste existe, explique las posibles causas.
- 2.- ¿Cuál es la resolución del DAC ?
- 3.- ¿Cuál es el error de escala completa del DAC ?
- 4.- ¿Cuál es el valor de R_1 y R_2 del divisor de voltaje del voltmetro para la escala de 0 - 2 V ?
- 5.- Con base a los datos de la tabla 2, grafique la curva de calibración y determine el error en cada caso.
- 6.- Determine la clase exactitud del voltmetro.
- 7.- ¿Cuál es la impedancia que presenta el voltmetro ?
- 8.- ¿Cuál es la función del voltaje de referencia V_{ref} ?
- 9.- Repita el punto 4 con los datos del experimento II d) y compare resultados.
- 10.- ¿Cuál es el valor de R_1 para el ampermetro con escala de 0 - 20 mA ?
- 11.- ¿Qué valores de resistencia R_1 se requieren para escalas mayores de corriente ?
- 12.- Con base a los datos de la tabla 3, grafique la curva de calibración y determine el error en cada caso.
- 13.- Determine la clase exactitud del ampermetro.
- 14.- ¿Cuál es el valor de la resistencia de escala R_e para que el óhmetro trabaje en el rango de 0 - 2000 Ω ?
- 15.- Con base a los datos de la tabla 4, grafique la curva de calibración y determine el error correspondiente.
- 16.- Con base a los datos del experimento V a), grafique las curvas de calibración en cada caso.
- 17.- Determine la clase exactitud del multímetro.
- 18.- Dibuje el circuito completo del multímetro con varias escalas.

PRACTICA No 7

MEDICION DE POTENCIA ELECTRICA

INTRODUCCION

La energía es la capacidad para realizar trabajo, o bien, es la potencia por unidad de tiempo. Algunas de sus unidades son el *joule*, el *erg* y el *kilowatt-hora*.

Un wathhorímetro es un instrumento que mide y registra la integral con respecto al tiempo de la potencia del circuito al cual esta conectado.

Los wathhorímetros son instrumentos totalizadores de potencia eléctrica; constan de pequeños motores cuya velocidad es proporcional a la potencia eléctrica del circuito, la figura 1 muestra esta simple configuración. Su elemento giratorio acciona un mecanismo de relojería que registra el consumo de energía.

Figura 1

Los wathhorímetros son clasificados en tres tipos de acuerdo al principio de operación.

Tipo mercurio.- Se utilizan para medir energía en un circuito de cd. En este medidor la parte en movimiento del rotor consiste de un disco de cobre ranurado radialmente, sumergido en mercurio. La corriente de carga fluye diametralmente hacia el disco interactuando con el flujo magnético producido por el electroimán de la línea de voltaje, lo cual provoca que el disco gire.

Estos medidores se utilizan con cargas de corriente altas; son usados con derivaciones de tal forma que únicamente una parte de la corriente de carga pase a través del medidor.

Tipo conmutador.- También se utiliza para medición de energía en un circuito de cd y puede usarse en circuitos de ca, si todos los devanados son construidos con núcleo de aire.

Este medidor es un motor tipo derivación. Las bobinas de campo que forman parte del estator producen un campo que es proporcional a la corriente de carga. La armadura esta montada en el rotor y es energizada por el voltaje de línea a través de un conmutador y escobillas, produciendo en el rotor un

par que es proporcional a la potencia del circuito.

Tipo inducción. - Este es el medidor más comúnmente utilizado en los hogares. Se usa para medición de energía en circuitos de ca.

Funciona bajo el principio de los motores de inducción. La figura 2 muestra un diagrama esquemático de este medidor.

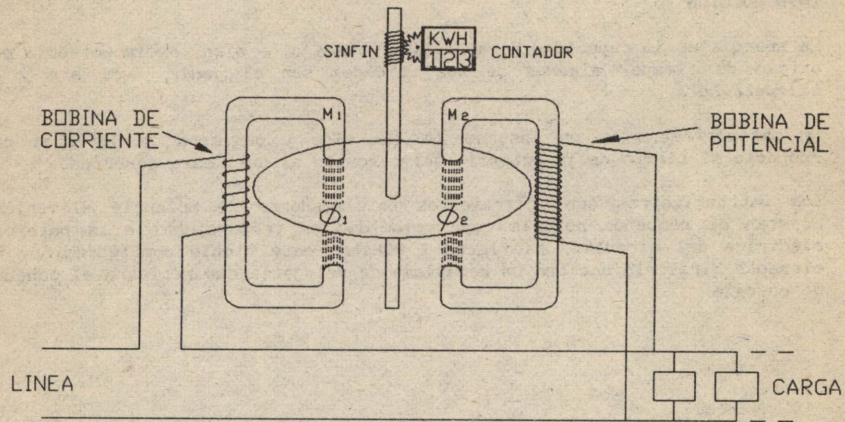


Figura 2

Tiene un disco de aluminio o cobre, el cual está entre los polos de los electroimanes M1 y M2 dispuestos en serie y en derivación respectivamente con la instalación.

Cuando en la instalación no se toma corriente alguna, el electroimán M1 queda inactivo, pero el M2 produce un flujo alterno ϕ_2 , el cual por inducción produce sobre el disco corrientes parásitas i_2 , simétricas respecto al radio que pasa por medio de ϕ_2 , la resultante de su acción es nula, y el disco queda inmóvil. Esto se muestra en la figura No 3.

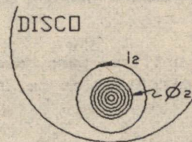


Figura 3

Al tomar corriente en la instalación del abonado, entra en acción el electroimán M_1 que produce el flujo ϕ_1 y las corrientes parásitas i_1 , las cuales son asimétricas con respecto al flujo ϕ_2 , siendo atraídas o repelidas por éste, lo cual provoca la rotación del disco en un sentido determinado. En forma semejante las corrientes i_2 son repelidas o atraídas por el flujo ϕ_1 provocando la rotación en un sentido determinado, como se muestra en la figura 4.

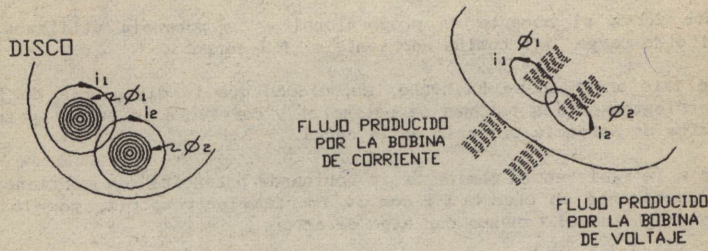


Figura 4

La bobina de tensión tiene muchas vueltas y es por tanto altamente inductiva, mientras que la bobina de corriente es prácticamente no inductiva, por lo que los flujos producidos por ambos están defasados casi 90°

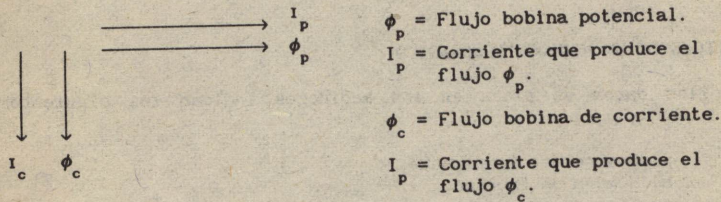


Figura No.5

Cada vector de flujo está en fase con la corriente que lo produce y la fem generada en el disco está en cuadratura con el flujo generado. Por lo tanto, si los flujos producidos por la bobina de potencial y la de corriente están en cuadratura como se muestra en la figura 5, las corrientes parásitas producidas por la bobina de potencial serán máximas al igual que será la fem producida por la de corriente y viceversa; esto será de acuerdo con las características físicas de las bobinas como son número de espiras, posición, etc, se intenta que siempre se logren al máximo las relaciones siguientes:

ϕ_2 máximo cuando i_1 máximo

ϕ_1 máximo cuando i_2 máximo

El efecto físico de lo anterior es que siempre existirá una rotación en el disco la cual aumentará en forma proporcional al producto instantáneo de las corrientes parásitas sobre el mismo.

De esta forma el momento es proporcional a la potencia utilizada en el circuito de carga (ϕ bobina corriente = $k I$ carga).

El análisis anterior se ha hecho, suponiendo que la diferencia de fase de las corrientes en las bobinas de potencial y corriente es de 90° y se tiene un factor de potencia unitario en la carga.

Debido a la resistencia óhmica de la bobina de potencial, la corriente nunca está exactamente en cuadratura con la fuerza electromotriz, por lo que el medidor registra el consumo con algo de error.

El error es tan pequeño que en la práctica puede considerarse despreciable cuando la carga tiene $f_p = 1$.

El error se hace más notable a medida que el f_p disminuye, por lo que en este tipo de medidores se utiliza una bobina de compensación para eliminarlo.

CARACTERISTICAS DE UN MEDIDOR MONOFASICO

Normalmente los datos de placa en los medidores indican las siguientes características

- a) Nombre del fabricante.
- b) Número de fábrica.
- c) Tipo de medidor.
- d) Clase de corriente, tensión.
- e) Constante del medidor.

De las cuales la mas importante de uso técnico es la constante del medidor, recibe el nombre de "constante de constraste" y es de gran importancia debido a que resulta del ajuste y calibración del instrumento específico, y absorbe todos los posibles errores involucrados en la medición, tales como soporte mecánico del disco, fricción, etc.

Es evidente que cada instrumento tendrá sus propias condiciones mecánicas por lo que habrá una constante K_h para cada wathorímetro.

Si se conectan dos wathorímetros a un a misma carga, los discos se moverán a distintas velocidades, es decir uno irá más rápido que el otro, entonces la constante K_h permite ajustar el mecanismo de relojería de tal forma que

al final de la medición ambos instrumentos totalicen la misma potencia.

Las unidades de la constante K_h son las siguientes:

$$K_h = \left[\frac{\text{Watts - hora}}{\text{revoluciones}} \right]$$

A partir de la constante K_h se pueden determinar las siguientes relaciones:

Energía

$$E = K_h n \quad [\text{Watt-hora}]$$

Potencia Totalizada:

$$P_t = \frac{3600 K_h n}{t} \quad [\text{watts}]$$

donde: t - es el tiempo y tiene unidades de segundos.
 n - es el número de revoluciones completas.

Por otra parte la tensión y la corriente efectivas demandadas por la carga, indican que el valor efectivo de la potencia es:

$$P_e = E_e I_e \quad [\text{watts}]$$

Siempre y cuando el factor de potencia sea unitario.

Entonces comparando la lectura del medidor con la potencia que se obtendría a través de un voltmetro y un ampermetro o bien directamente de un wattmetro, se puede establecer el error absoluto para una determinada carga:

$$e_a = P_t - P_e$$

En forma porcentual el error relativo estará dado por:

$$e \% = \frac{P_t - P_e}{P_e} \times 100$$

Si se quiere saber el valor por el cual hay que multiplicar la lectura para obtener la energía verdadera que debe registrar el medidor se usa el *Factor de corrección* definido como:

$$F_c = \frac{P_e}{P_t}$$

Este factor se aplica bajo la condición de que el voltmetro, el ampermetro y el wattmetro están calibrados.

OBJETIVO

- Introducir al alumno en el principio de funcionamiento y en el uso de los totalizadores de potencia (Waththorímetros) de corriente alterna.
- Obtención de los parámetros de un medidor por comparación con un patrón.

EQUIPO UTILIZADO

2 Waththorímetros monofásicos para C.A.
 1 Voltmetro 0-300 V C.A.
 1 Ampermetro 0-50 A C.A.
 1 Wattmetro 0-500 W.
 Cables de interconexión
 1 Cronómetro
 1 banco de focos

DESARROLLO

EXPERIMENTO I : MEDICION DE POTENCIA Y DETERMINACION DE PARAMETROS

- a) Alambrear el circuito de la figura 6 para una carga determinada.¹

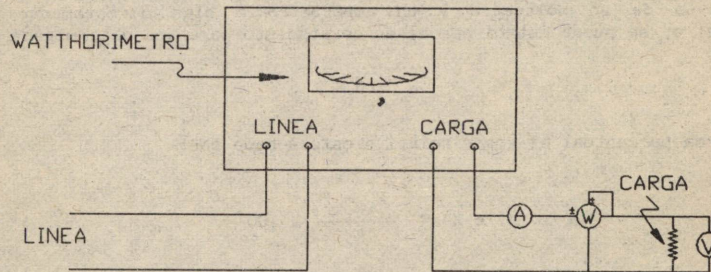


Figura 6

¹ Es muy importante que estos medidores se encuentren verticalmente, o bien con una inclinación no mayor al 5 % para evitar errores.

b) Observar las siguientes condiciones:

- Sentido de giro del disco correspondiente al marcado en la tapa del medidor.
- El medidor debe estar en posición vertical.
- Dejar trabajando el circuito aproximadamente 10 minutos antes de tomar las lecturas. (Los fabricantes recomiendan por lo menos media hora para estabilizar el circuito).

c) Utilizar un cronómetro para medir el tiempo.

- Para $t = 60$ seg. se procede a contar el número 'n' de vueltas que da el disco de aluminio, o bien, tomar el tiempo para un número entero de revoluciones, lo que se facilite más.
- Medir la tensión, la corriente de la carga y la potencia.

n = _____ t = _____

V_{alim} = _____

I_{alim} = _____

W = _____

d) Repita lo anterior para $t = 120$ seg, otras cargas y anote los datos en la tabla 1:

TABLA 1

carga [Ω]	K _h	n	t (seg)	Voltaje	Corriente

EXPERIMENTO II : DETERMINACION DE LA CONSTANTE DE CONTRASTE DE UN WATTHORIMETRO²

a) Arme el circuito de la figura 7.

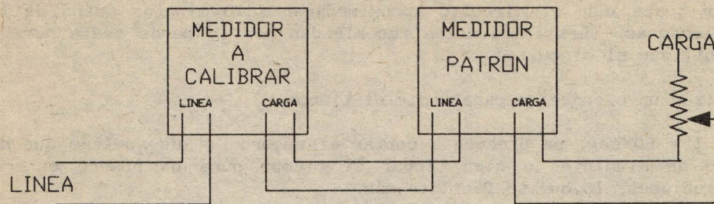


Figura 7

- b) Obtenga los parámetros para el medidor a calibrar y para el medidor patrón, cuando se mide la potencia sobre una misma carga.
- Suponga que el factor de corrección F_c del medidor patrón es igual a la unidad, y en ese caso compare los parámetros del medidor patrón.
 - calibre el medidor a ensayar.
- c) Realice mediciones en ambos medidores de tal forma que se obtenga las mismas lecturas del instrumento patrón.

En esta práctica se supone que se desconoce el valor de la constante de contraste del medidor a calibrar. El procedimiento que se describe se conoce como "Contraste de un Watthorímetro", de aquí el nombre de esta constante K_h .

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

1.- Con los datos de la tabla 1, determine y complete la tabla 2

TABLA 2

Carga [Ω]	Energia E	Pot Tot. Pt	Pot Ef. Pe	Error Abs. ea	Error Rel. e %

- 2.- Si se tuviera una carga capacitiva o inductiva, ¿Se podrían utilizar las mismas expresiones para la obtención de los parámetros ?
- 3.- Si se tuviera una carga capacitiva o inductiva, ¿Se podría utilizar el mismo equipo ?
- 4.- Con los parámetros obtenidos en el inciso a) del segundo experimento, determine el valor de la constante de contraste del medidor a calibrar. Si no es igual a la que especifica el fabricante, explique a que se debe la diferencia.
- 5.- Con los valores obtenidos en el inciso b) del segundo experimento, determine el error absoluto si lo hay y explique las posibles causas que lo ocasionan.

PRACTICA No 8

EL OSCILOSCOPIO (PRIMERA PARTE)

INTRODUCCION¹

El osciloscopio es un instrumento que se utiliza para la medición de las características principales de las señales alternas de corriente y voltaje, tales como: amplitud, frecuencia y fase, esta última con respecto a una referencia. También se utiliza para la medición de los niveles de tensión de cd, aunque su principal característica es que permite observar en su pantalla fluorescente, la forma de las señales variables o no en tiempo.

Por otro lado, para que un osciloscopio tenga una buena respuesta, no debe distorsionar las señales que se estén aplicando aun cuando la frecuencia sea alta.

Todos los instrumentos funcionan dentro de un rango de frecuencia especificado en el diseño, en cual deben operar correctamente. A este rango se le llama *Ancho de Banda* del instrumento.

El ancho de banda se define en términos generales como el rango de frecuencia en el cual la respuesta del instrumento no se atenúa más del 70 %

Un criterio práctico para medir el ancho de banda en el osciloscopio es que si se produce una buena onda cuadrada a 1 Khz, entonces la respuesta del instrumento es plana (lineal) para la respuesta a ondas senoidales a 10 KHz.

OBJETIVO

- Que el alumno conozca las partes principales que componen un osciloscopio en una configuración básica mediante módulos.
- Familiarizar al alumno con el funcionamiento, operación y características principales del instrumento.
- Dar a conocer al alumno el procedimiento para la correcta operación del osciloscopio; familiarizándolo con los procesos internos que se derivan de la manipulación de los controles.

¹ Es necesario que se estudie el Apéndice C antes de iniciar esta práctica

EQUIPO Y MATERIAL

Osciloscopio modular constituido por:
Unidad básica de Tubo de Rayos Catódicos
Amplificador de deflexión horizontal
Amplificador de deflexión vertical
Preamplificador
Generador de barrido
Generador de señales
Cables de conexión

DESARROLLO

EXPERIMENTO I INTEGRACION DE UN OSCILOSCOPIO BASICO

a) Coloque los módulos del osciloscopio como se muestra en la figura 1.

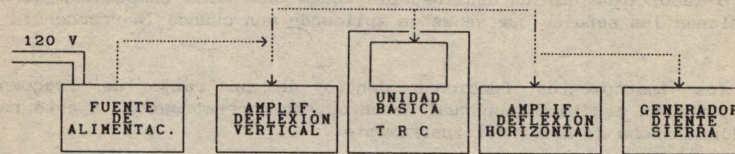


Figura 1

- Trate de interconectar cada uno de los módulos siguiendo la lógica de funcionamiento².

NOTA

No encienda el equipo hasta que su profesor haya revisado las conexiones.

- En caso contrario, realice las conexiones que se muestran en la figura 2 en donde:

- 1.- Conexión a placas de deflexión.
- 2.- Tierra.
- 3.- Entrada.
- 4.- Interruptores para alimentar la señal de línea a las placas de deflexión vertical.
- 5.- Control de ganancia.
- 6.- Control de ajuste fino de frecuencia.

²El funcionamiento del osciloscopio se presenta en el Apéndice II y se requiere haberlo leído para realizar esta práctica.

- 7.- Selector de rango de frecuencia.
- 8.- Seguro de la señal de sincronización
- 9.- Señal de sincronización.
- 10.- Señal de la línea de retardo.

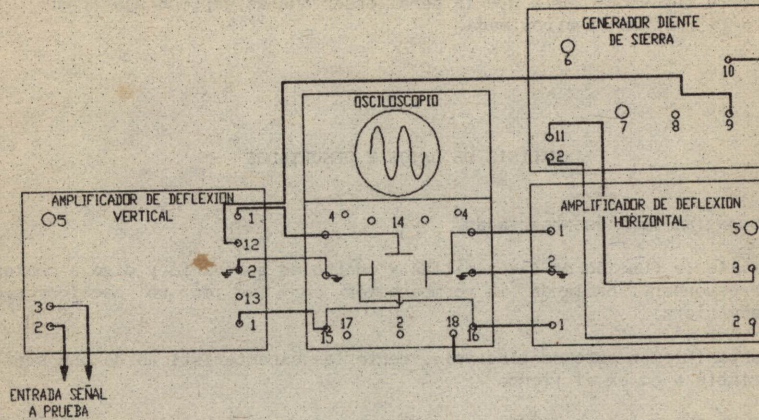


Figura 2

- 11.- Salida de la señal diente de sierra.
- 12.- Sincronización positiva.
- 13.- Sincronización negativa.
- 14.- Controles de posición.
- 15.- Control de intensidad.
- 16.- Control de foco.
- 17.- Entrada 'Z'.
- 18.- Entrada de señal de retardo.

b) Aplique una señal senoidal con una amplitud de $1 V_{pp}$ y una frecuencia de 1000 Hz aproximadamente.

- Varie los controles y perillas que se enlistan a continuación, observe y anote el efecto. Identifique además, dichos controles con los de un osciloscopio de uso normal.

Selector de rango de frecuencia
 Ajuste fino de frecuencia
 Ganancia horizontal
 Ganancia Vertical
 Control de foco
 Control de intensidad
 Cambio de sincronización positiva a negativa

- Observe otras señales (triangular y cuadrada).

c) Aplique una señal cuadrada de amplitud menor a $2 V_{pp}$ y una frecuencia

aproximada de 50 Hz.

- Aumente la frecuencia de la señal hasta que se observen claramente curvaturas en la subida y bajada de la señal, esto es, distorsión en la señal, anote la frecuencia aproximada, leída en el generador.
- d) Aplique de nuevo la señal senoidal e incremente la frecuencia (frecuencia de corte superior) hasta que la señal observada se empiece a atenuar.
- Anote la frecuencia aproximada.

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- Dibuje las señales observadas.
- 2.- Detalle la función de las perillas y controles que varió y diga a cuales corresponden, haciendo la comparación con las de un osciloscopio convencional.
- 3.- ¿Es posible en este osciloscopio, medir las características de una señal variable o no en el tiempo ?
- 4.- ¿A que frecuencia aproximada se distorsiona la señal cuadrada observada en el punto c) ?
- 5.- ¿A que frecuencia aproximada se distorsiona la señal senoidal observada en el punto d) ?
- 6.- Con base a los datos de los dos puntos anteriores, determine el ancho de banda de este osciloscopio.
- 7.- Investigue, ¿Cuál es la función o qué utilidad tendría la entrada 'Z' ?

PRACTICA No 8

APLICACIONES DEL OSCILOSCOPIO (SEGUNDA PARTE)

INTRODUCCION

El osciloscopio es una herramienta muy útil y versátil que es usado en una amplia gama de actividades técnicas y científicas para el análisis de señales eléctricas.

El uso del osciloscopio se puede ampliar mediante la adición de accesorios o modificaciones externas.

En esta práctica se presentan en forma general las técnicas convencionales de medición y algunos circuitos accesorios, así como algunas sugerencias prácticas para su uso.

MEDICION DE AMPLITUD

En la pantalla del osciloscopio se presentan las señales de las cuales se quiere conocer sus características principales. La figura 1 muestra una pantalla con una señal aplicada.

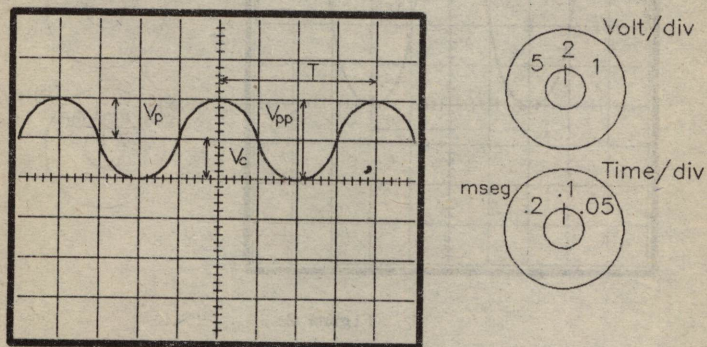


Figura 1

Todas las pantallas de los osciloscopios tienen dibujada una rejilla graduada (divisiones de 1 cm), la que se puede tomar de referencia para realizar las mediciones y es similar a una gráfica de ejes coordenados.

El eje vertical corresponde a amplitud (voltaje) y el eje horizontal a tiempo.

La lectura de voltaje será medida con la siguiente ecuación:

$$V = K_v \cdot N_o \text{ Div}$$

donde K_v es la constante de voltaje del osciloscopio y su rango es de 5 mV/div hasta 20 V/div generalmente, en pasos de 1 - 2 - 5.

La amplitud que tiene la señal de la figura 1 es:

$$V_{pp} = 2 \text{ V/div} \cdot 2 \text{ div} = 4 \text{ V}$$

o bien

$$V_p = 2 \text{ V/div} \cdot 1 \text{ div} = 2 \text{ V}$$

si se toma de referencia el eje central se tiene el voltaje de directa V_c :

$$V_c = 2 \text{ V/div} \cdot 1 \text{ Div} = 2 \text{ V}$$

Si K_v se cambia a 1 V/div se observaría la señal de la figura 2, pero la magnitud de la señal seguirá siendo la misma.

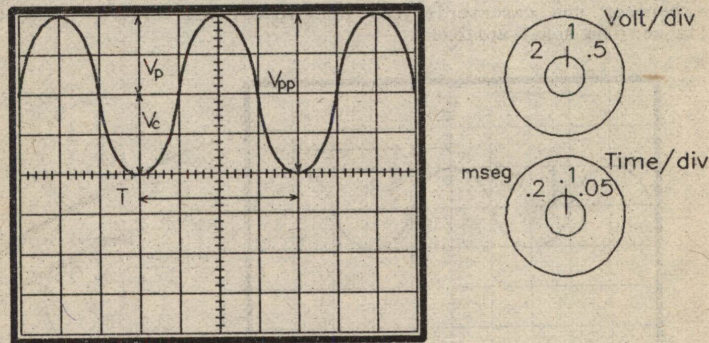


Figura 2

Es importante hacer notar que la constante K_v no varia la amplitud de la señal, sino lo que se varia es el factor escalador.

MEDICION DEL PERIODO

El periodo de una señal es el tiempo que tarda en completar un ciclo completo y se mide en el eje horizontal o de tiempo, mediante una relación similar a la de voltaje:

$$T = K_T * \text{No Div}$$

en donde K_T es la constante de tiempo del osciloscopio y tiene un rango de 0.2 μseg a 0.2 seg generalmente (dependiendo de la marca) en pasos de 1 - 2 - 5.

Para el caso de la figura 1, se tiene:

$$T = 0.1 \text{ mseg/div} * 4 \text{ div} = 0.4 \text{ mseg}$$

Si K_T se cambia a 0.2 mseg/div se observaría la señal de la figura 3, sin embargo, el periodo de la señal seguirá siendo el mismo.

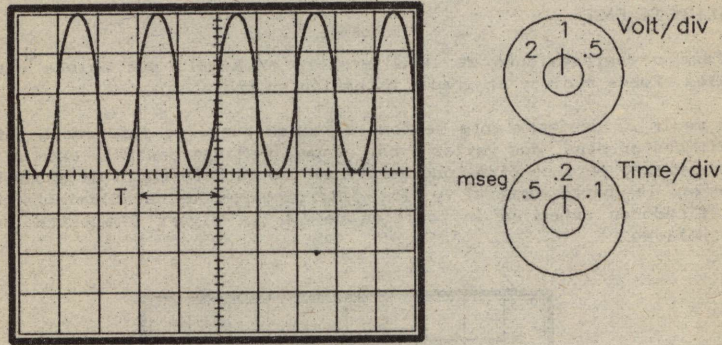


Figura 3

En forma similar que la constante K_V , la K_T no varía el periodo de la señal, sino lo que se varía es el factor escalador.

CALCULO DE LA FRECUENCIA

La frecuencia de una señal es el número de ciclos o periodos que ocurren en un segundo, sus unidades son ciclos/seg o bien Hertz (Hz). La frecuencia es el inverso del periodo, de tal forma que conociendo uno se puede conocer el otro.

Para el caso de la señal de la figura 1 se tiene

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{K_T * \text{No Div}}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.1 \text{ mseg/div} * 4 \text{ div}} = 2500 \text{ Hz}$$

Si se desea observar en el osciloscopio una señal de frecuencia específica, se calcula el número de divisiones que se tendrían con una determinada K_T .

Por ejemplo para una frecuencia de 840 Hz y una $K_T = 0.1$ mseg/div se determinarían 11.9 divisiones. Una pantalla tiene 10 divisiones horizontalmente, por lo que para este ejemplo no se vería un periodo completo, de tal forma que se seleccionan las constantes de 0.2 o 0.5 mseg/div para observar 1 periodo de 5.95 div o 4 periodos de 2.38 divisiones.

La medición de frecuencia con el osciloscopio es un método aproximado, ya que para determinar el valor exacto se requeriría de un contador de frecuencia.

MEDICION DE FASE

La fase o desfaseamiento es la diferencia en ángulo que existe entre dos señales. Puede medirse en grados o también en radianes.

Para medir el desfaseamiento se toma el mismo punto de referencia para cada señal: dos crestas, dos valles o con respecto al eje central, este último es el más exacto pero se tiene que verificar que la referencia de ambas señales esté en la parte central y los interruptores de acoplamiento de los amplificadores estén en la posición de CA. La figura 4 muestra las tres alternativas.

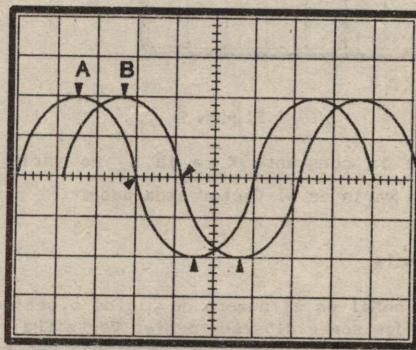


Figura 4

Para realizar la medición se calcula la parte proporcional de desfaseamiento con la siguiente relación:

$$\phi = \frac{\text{No div desfasadas}}{\text{No div en un ciclo}} (360^\circ)$$

Por facilidad se descalibra la perilla de tiempo (ajuste fino de time/div) para que una de las señales tenga 6 divisiones en un periodo, de tal forma que cada división corresponderá a 60° y cada subdivisión a 12° . El desfaseamiento será directo al multiplicar 60° por el No de divisiones.

Para el caso de la figura 4 se tiene un desfaseamiento de :

$$\phi = \frac{1.2}{6} (360^\circ) = 60^\circ/\text{div} * 1.2 \text{ div}$$

$$\phi = 72^\circ$$

Este método es independiente de la amplitud que tengan las señales de prueba.

En algunas aplicaciones se requiere saber además del desfaseamiento, cuál señal está atrasada o adelantada con respecto a la de referencia.

Para determinar el atraso o adelanto se toma el mismo punto de referencia en las dos señales: dos valles ó dos crestas, por facilidad se elige éstos últimos.

La señal que aparezca más a la izquierda de la pantalla será la que esté adelantada con respecto a la que esté después. Para el caso de la figura 4, la señal 'A' adelanta 72° a la señal 'B', o bien, la señal 'B' está atrasada 72° con respecto a la señal 'A'.

CURVAS X - Y

El osciloscopio tienen dos pares de placas: uno de deflexión vertical (PDV) y otro de deflexión horizontal (PDH). A las PDV llegan las señales de prueba y las PDH tienen internamente conectada una señal diente de sierra que forma el barrido; de esta forma se observa en la pantalla una gráfica de la señal $y(t)$ contra el tiempo.

Los osciloscopios cuentan con una entrada que permite aplicar a las PDH una señal externa de barrido. Al desconectar el barrido interno (perilla time/div en posición X - Y) se observará una figura de la señal $Y(t)$ en el eje de las abscisas contra una señal $X(t)$ en el eje de ordenadas.

Si las señales aplicadas son del tipo senoidal se generan patrones como los de la figura 5. Con estas figuras se puede determinar el ángulo de desfaseamiento que existe entre las dos señales, esto es:

$$\phi = \text{sen}^{-1} \frac{B}{A}$$

En ángulo exacto se determinará de acuerdo a la trayectoria y dirección de la curva. La figura 6 muestra estos dos parámetros para los cuatro cuadrantes.

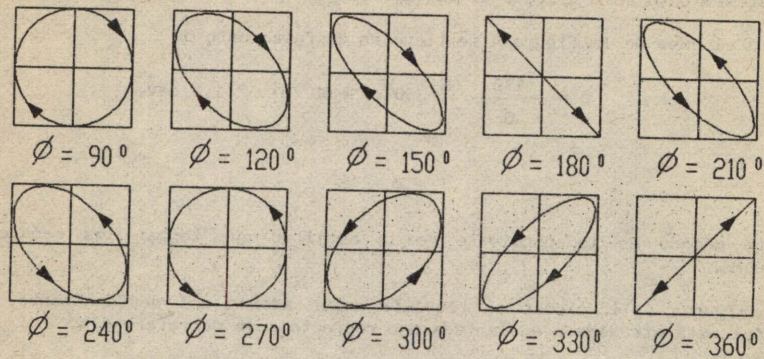


Figura 5

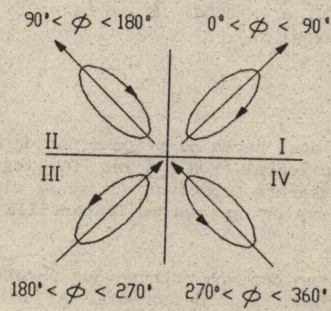


Figura 6

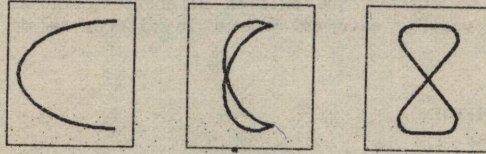
Una elipse que tenga una trayectoria en sentido horario y una dirección del eje principal en el segundo y cuarto cuadrante tendrá un ángulo entre 90° y 180° .

CURVAS DE LISSAJOUS

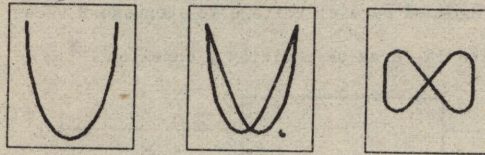
Cuando es necesario medir una frecuencia desconocida, los patrones de Lissajous ofrecen un método simple para su determinación por comparación con un estándar conocido.

Los patrones de Lissajous se pueden considerar un caso particular de las curvas X-Y, ya que se derivan de éstas. Por ejemplo si se obtiene un trazo circular en el osciloscopio, eso indica que la frecuencia de la señal aplicada a la entrada horizontal es igual a la frecuencia vertical, esto es:

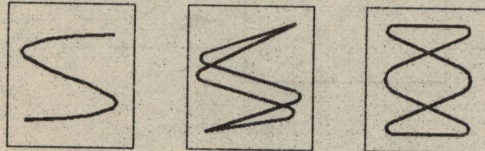
$$f_x = f_y$$



$$f_y / f_x = 1/2$$



$$f_y / f_x = 2/1$$



$$f_y / f_x = 1/3$$



$$f_y / f_x = 3/2$$

Figura 7

A medida que una de las señales aumenta su frecuencia con respecto a la otra, el haz en la pantalla formará algunas figuras caprichosas, las cuales en consecuencia se pueden tomar como patrón primario para determinar las relaciones de frecuencia entre las señales. Algunos de los patrones se muestran en la figura 7

La ecuación general para determinar la relación de frecuencias es la siguiente:

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{\text{No de picos en sentido vertical de la figura}}{\text{No de picos en sentido horizontal de la figura}}$$

De la figura 7 se observa que existen diferentes figuras para una misma relación de frecuencia, esto se debe a la diferencia de fase entre las señales.

MEDICION DE CORRIENTE

Una medición indirecta que se puede hacer con el osciloscopio es la de *corriente eléctrica*. Esto se realiza midiendo el voltaje a través de una resistencia de valor conocido. La corriente tendrá la misma fase del voltaje medido V_R y su magnitud será el voltaje V_R atenuado R veces.

La figura 8 muestra la forma de medición y conexión.

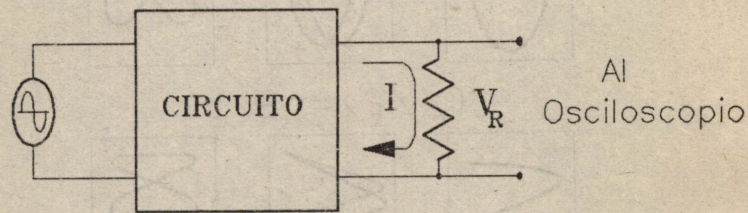


Figura 8

MEDICION DE IMPEDANCIAS

El osciloscopio se puede utilizar como un instrumento auxiliar para la determinación de impedancias, mediante la igualación de la magnitud absoluta de los voltajes en cada una de las impedancias, esto es :

$$| V_R | = | V_L |$$

En la figura 9 se muestra un circuito para realizar estas mediciones.

Recordando que:

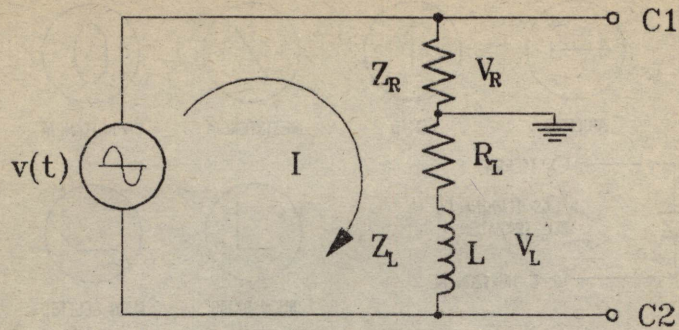


Figura 9

$$Z_R = R$$

$$Z_L = R_L + j \omega L$$

$$Z_C = \frac{1}{j \omega C}$$

Al igualar los dos voltajes, la corriente que circula por el circuito es la misma en las dos impedancias, y se puede igualar la impedancia desconocida con la de referencia, esto es :

$$Z_x = Z_R$$

a partir de esta expresión se despeja el elemento desconocido.

TRAZADOR DE CURVAS

Una de las aplicaciones que se le puede dar al osciloscopio es el de *Trazador de Curvas*, utilizando un sencillo circuito adicional, el cual proporciona un método rápido y efectivo para la verificación de elementos pasivos y semiconductores tales como: resistencia, capacitancia, inductancias, transistores, SCR, diodos, fotoconductores, etc, individualmente y aun conectados a un circuito.

Las formas básicas vistas en el osciloscopio al conectar el elemento bajo prueba, son las que se muestran en la figura 10. Un vértice bien formado es una evidencia de un buen elemento. La verificación de elementos conectados a un circuito impreso produce la combinación de dos formas de curvas.

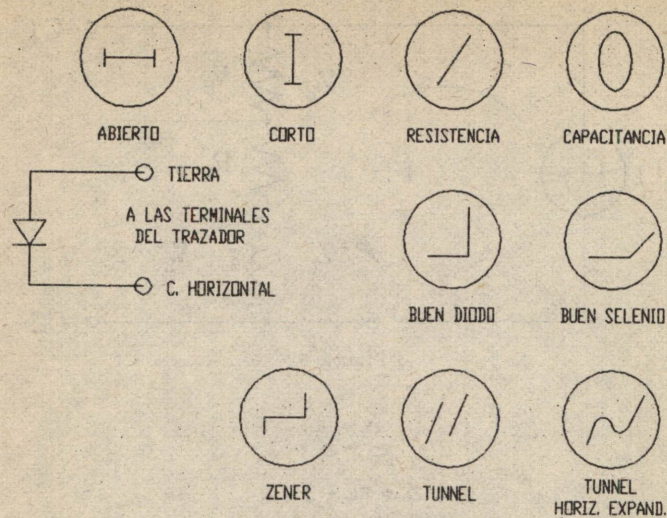


Figura 10

La capacitancia y resistencia pueden modificar la respuesta, sin embargo las curvas de buenos semiconductores deben tener bien definido un vértice o un cambio de corriente. Algunas curvas se presentan en la figura 11.



Figura 11

TRANSFORMACION DE COORDENADAS RECTANGULARES A POLARES

La pantalla del osciloscopio puede ser utilizada como una pantalla de radar, esto es, girando el barrido radialmente los 360°.

La figura 12 muestra el diagrama de bloques de esta aplicación.

Se debe tener una manivela para girar manualmente el haz a la posición deseada; esta manivela esta acoplada a un convertidor sincro a seno-coseno, el cual transforma la posición mecánica a dos señales seno-coseno de magnitud proporcional a la posición.

Las señales del convertidor pasan al muestreador el cual toma muestras

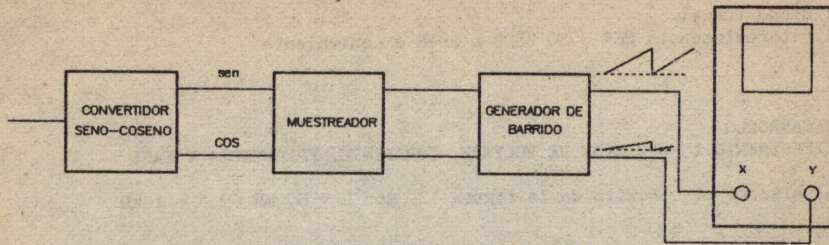


Figura 12

sincronizadas de las amplitudes de las señales seno-coseno. para proporcionar los niveles de excitación al generador de barrido.

El generador de barrido genera dos rampas con amplitud proporcional a las señales seno-coseno y son las que controlan las coordenadas x-y del barrido mismas que se aplican a los canales X y Y del osciloscopio.

Se deja al alumno la investigación e implementación del circuito.

OBJETIVOS

- Familiarizar al alumno con el uso de los osciloscopios convencionales.
- Realizar mediciones de voltaje, periodo, frecuencia y fase de señales eléctricas.
- Presentar al alumno otras alternativas de uso del osciloscopio tales como: Curvas X - Y, figuras de Lissajous, medición de corriente, medición de impedancias, trazador de curvas y conversión de coordenadas rectangulares a polares.

EQUIPO Y MATERIAL

Osciloscopio
 Generador de señales
 Generador de ondas senoidales de frecuencia fija (GSFF)
 Transformador de relación 1:1
 Inductancia
 1 potenciómetro 1 K Ω
 1 resistencia 300 Ω
 3 resistencias de 1 K Ω
 1 capacitor 0.22 μ f
 1 transformador de relación 127:6 300 mA
 1 diodo de silicio

- 1 diodo de germanio
- 1 diodo zener 6 V
- 1 diodo tunnel
- 1 fotoresistencia RCA - SQ 2508 ó 2536 ó equivalente

DESARROLLO
EXPERIMENTO I MEDICION DE VOLTAJE, CORRIENTE, FRECUENCIA Y FASE

a) Alambre el circuito de la figura 13, con $L = 50 \text{ mH}$ y $R = 1 \text{ k}\Omega$.

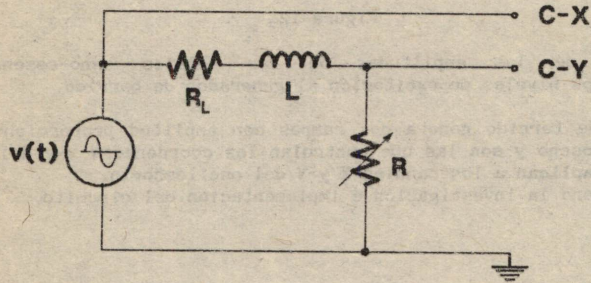


Figura 13

- Aplique una señal de 5 V_{pp} y una frecuencia de 500 Hz .
- Conecte los canales del osciloscopio como se indica.
- Observe el efecto producido al variar el potenciómetro en todo su rango. Posteriormente déjelo fijo en el máximo valor.
- Varie la frecuencia del generador desde 100 Hz hasta aproximadamente 3 kHz y realice las mediciones necesarias para completar la tabla 1.

TABLA 1

V_e	V_o	f	$\phi (+ -)$

Arme el circuito de la figura 14, con $C = 0.22 \mu\text{F}$ y $R = 1 \text{ K}\Omega$.
 Repita los pasos anteriores y complete la tabla 2.

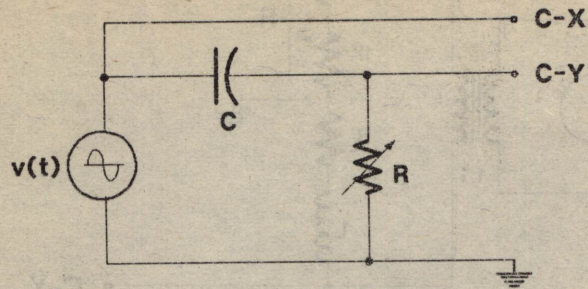


Figura 14

TABLA 2

V_e	V_o	f	$\phi (+ -)$

EXPERIMENTO II MEDICION DE IMPEDANCIAS

Arme el circuito de la figura 15, con $L = 50 \text{ mH}$.

Varie el potenciómetro hasta que las dos señales tengan la misma amplitud.

Mida el desfase entre las dos señales.

Mida el valor de R y de R_L .

Coloque la perilla de time/div en la posición X - Y y mida nuevamente el desfase.

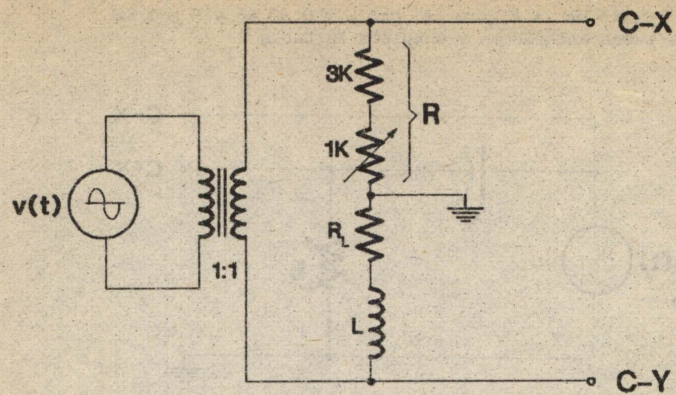


Figura 15

EXPERIMENTO III CURVAS DE LISSAJOUS

- a) Fije las perillas de los dos canales en 5 volt/div. Posicione la perilla de time/div en X - Y.
- Conecte el GSFF (Generador de Señales Senoidal de Frecuencia Fija) al osciloscopio como se muestra en la figura 16.

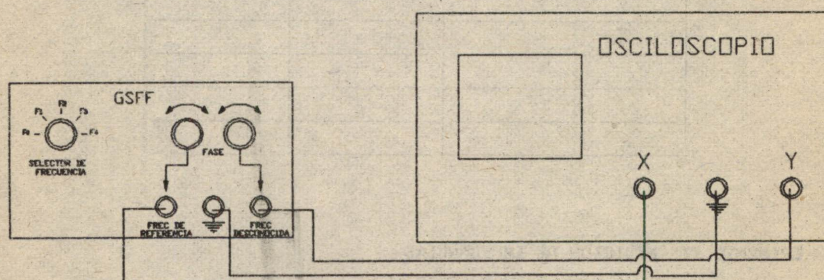


Figura 16

- Observe y grafique la figura.
 - Varíe las perillas de fase del GSFF, observe y grafique la figura.
- b) Varíe el selector de frecuencia del GSFF a la posición F2.
- Varíe las perillas de fase del GSFF. Observe y grafique las figuras.
 - Mida el No de picos horizontal y vertical.
- c) Repita el punto b) para las posiciones F3 y F4 del GSFF.
- d) Para cualquiera de los puntos anteriores, invierta las terminales del

osciloscopio.
- Observe y grafique las curvas.

EXPERIMENTO III TRAZADOR DE CURVAS

a) Arme el circuito de la figura 17.

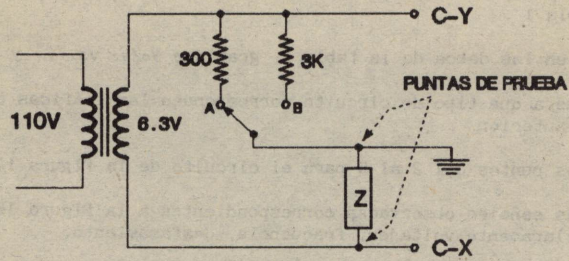


Figura 17

- Coloque uno a uno los siguientes componentes en las terminales de prueba del trazador y grafique las figuras observadas.

- a) potenciómetro 1 K Ω (variar en todo su rango)
- b) capacitor 0.22 μ f
- c) inductancia
- d) fotorresistencia
- e) diodo de germanio
- f) diodo de selenio
- g) diodo tunnel
- h) diodo zener

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- Expresar correctamente la señal $v(t)$ aplicada al circuito de la figura 13.
- 2.- ¿Qué parámetros cambian al variar el potenciómetro de la figura 13 ?
- 3.- Determine y exprese correctamente la corriente $i(t)$ para el primer punto de la tabla 1
- 4.- Con base en los datos de la tabla 1, grafique V_o/V_e vs. f y ϕ vs. f .
- 5.- Investigue a que tipo de circuito corresponden las gráficas obtenidas en el punto anterior.
- 6.- Repita los puntos del 2 al 5 para el circuito de la figura 14.
- 7.- Dibuje las señales observadas correspondientes a la figura 15. Indique claramente voltajes, frecuencia, desfaseamiento.
- 8.- Dibuje la figura observada en el plano X - Y y determine el desfaseamiento medido de la figura 15.
- 9.- ¿Cuál es el valor de la inductancia ?
- 10.- En relación con la figura 16 grafique cada una de las imágenes observadas al variar de F_0 a F_4 y determine la relación de frecuencia para cada caso.
- 11.- ¿Qué señales se aplicaron a los canales horizontal y vertical de la figura 17?
- 12.- ¿Qué unidades de medida se tiene en los ejes X y Y de la pantalla, cuando se tiene el circuito de la figura 17 ?
- 13.- Dibuje las gráficas observadas para cada elemento bajo prueba.

PRACTICA No 9

PUENTES EN EQUILIBRIO DE CD (PRIMERA PARTE)

INTRODUCCION

Los puentes son dispositivos que se emplean ampliamente en el campo de la medición. Se implementan de diversas formas para la medición de resistencias, capacitancias e inductancias principalmente.

Se clasifican como instrumentos de medición por comparación; el elemento desconocido se conecta a una de las ramas del circuito para compararlo con parámetros conocidos y a partir de éstos determinar su valor. La figura 1 muestra la configuración general de los puentes.

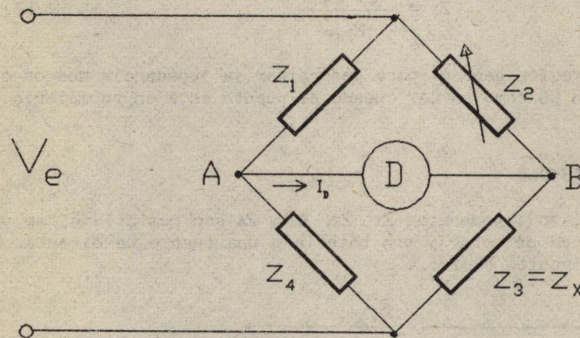


Figura 1

El proceso de comparación se efectúa cuando la corriente que fluye por el detector D es nula (medición por método de cero), es decir, cuando $V_A = V_B$.

Bajo esta condición se dice que el puente está en equilibrio y se cumplen las siguientes relaciones:

$$I_1 = I_4 \quad (1)$$

$$I_2 = I_3 = I_x \quad (2)$$

$$V_A = V_B \quad (3)$$

pero

$$V_A = Z_1 I_1 = Z_4 I_4 \quad (4)$$

$$V_B = Z_2 I_2 = Z_3 I_3 = Z_x I_x \quad (5)$$

Aplicando las igualdades (1), (2) y (3) a (4) y (5) se obtiene:

$$\frac{Z_1}{Z_4} = \frac{Z_2}{Z_x}$$

o bien

$$Z_1 Z_x = Z_2 Z_4 \quad (6)$$

De esta igualdad se establece, bajo condiciones de equilibrio, que el producto de las impedancias de dos ramas opuestas es igual al producto de las impedancias de las otras dos ramas opuestas.

Despejando Z_x , se tiene:

$$Z_x = \frac{Z_2 Z_4}{Z_1} \quad (7)$$

Esta es la expresión general para determinar la impedancia desconocida en un puente tanto en CD como en CA, cuando el puente está en equilibrio.

PUENTE DE WHEATSTONE

En este puente las impedancias Z_1 , Z_2 , Z_3 y Z_4 son resistivas, se utiliza un galvanómetro como detector y una batería o una fuente de directa. La figura 2 muestra el circuito básico.

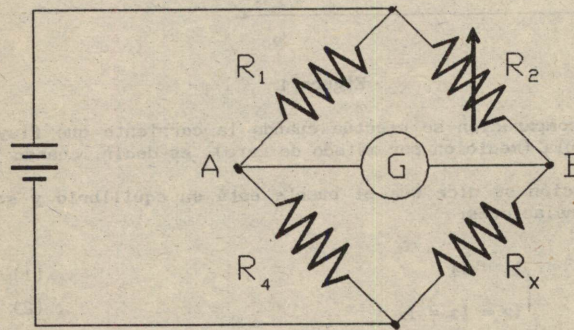


Figura 2

La resistencia R_2 generalmente es variable a fin de poder ajustar a la condición de equilibrio. Este puente mide resistencias con valor de unidades hasta decenas de megaohms y su exactitud depende de la exactitud de los componentes.

PUENTE DE TEMPERATURA

El puente de temperatura es una variación del puente de Wheatstone. Tiene una configuración muy similar, con la diferencia que en la resistencia variable se adiciona una escala graduada en temperatura.

Este puente se utiliza con transductores RTD¹ para medición de temperatura. La figura 3 muestra esta configuración.

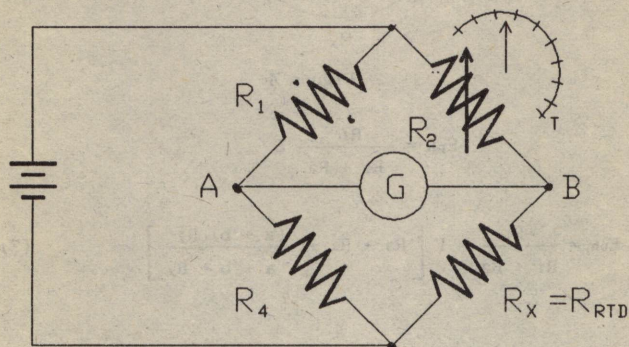


Figura 3

PUENTE DE KELVIN

El puente de Kelvin es utilizado para la medición de resistencias menores de 10 ohms hasta diezmilésimas de ohm.

Este circuito contiene un segundo conjunto de ramas de relación cuya función es la de eliminar el efecto de la resistencia de los alambres de conexión desde R_3 hasta R_x ; esto se muestra en la figura 4.

Ya que no fluye corriente por el detector cuando el puente está balanceado, el potencial en los puntos p y q es el mismo con respecto a h . Esto es,

$$E_{ph} = E_{qh} \quad (6)$$

¹ Termómetro de resistencia.

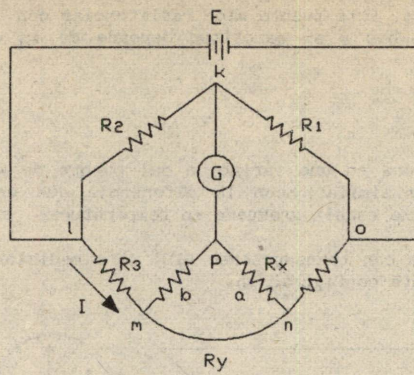


Figura 4

$$E_{ph} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E$$

$$E_{ph} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \left[R_3 + R_x + \frac{(a + b) R_y}{a + b + R_y} \right] \quad (7)$$

y

$$E_{qh} = I \left[R_x + \frac{a R_y}{a + b + R_y} \right] \quad (8)$$

Sustituyendo (7) y (8) en (6) y resolviendo para R_x ,

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_x + \frac{b R_y}{a + b + R_y} \left[\frac{R_1}{R_2} - \frac{a}{b} \right]$$

Si la relación $R_1 / R_2 = a / b$, entonces el segundo término se anula y la expresión para R_x queda:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3 \quad (9)$$

OBJETIVOS

- Familiarizar al alumno con el principio de funcionamiento de los puentes de DC.
- Que el alumno conozca el uso y operación de los puentes de Wheatstone, Kelvin y de Temperatura.

EQUIPO Y MATERIAL

Puente de Wheatstone
Puente de Temperatura
Puente de Kelvin
Década de resistencias
10 Resistencias de diferente valor (10Ω a $10 M\Omega$)
10 Resistencias menores a 5Ω ó
10 Cables de conexión de diferente calibre

DESARROLLO

EXPERIMENTO I USO Y OPERACION DEL PUENTE DE WHEATSTONE

Los puentes con que cuenta el laboratorio tienen una configuración eléctrica como la que se muestra en la figura 5(a), el valor de R_4 está dado por las décadas de resistencias indicada en la figura 5(b) y la vista superior del puente es la que se ilustra en la figura 6.

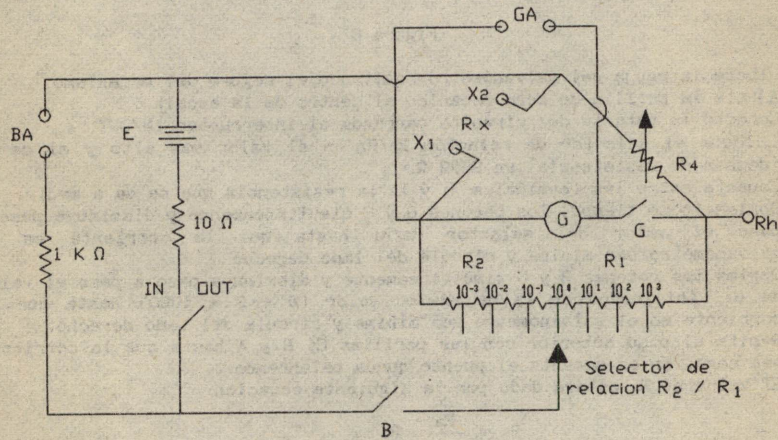


Figura 5 (a)

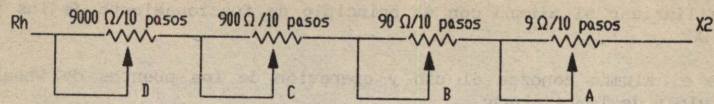


Figura 5 (b)

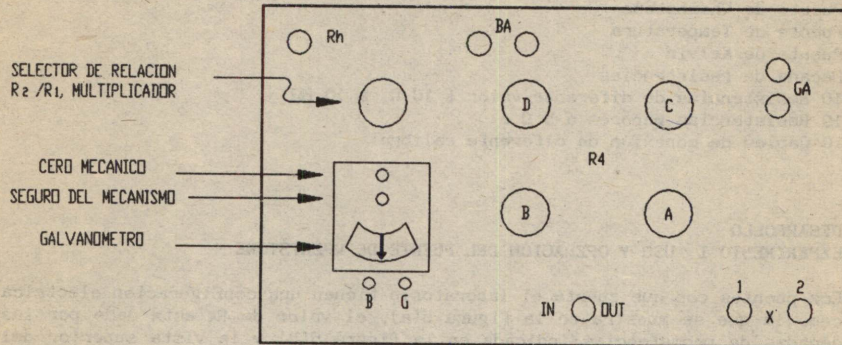


Figura 6

- a) Libere la aguja del galvanómetro, quitando el seguro del mecanismo.
- b) Ajuste la perilla de cero mecánico al centro de la escala.
- c) Conecte la batería del circuito cerrando el interruptor IN/OUT.
- d) Coloque el selector de relación R_2/R_1 en el valor más alto y el de R_4 (década de resistencia) en 9999 Ω .
 - Conecte entre las terminales X_1 y X_2 la resistencia que se va a medir.
 - Oprima (poco tiempo) los botones B y G simultáneamente y disminuya paso a paso el valor del selector R_2/R_1 hasta que la corriente en el galvanómetro sea mínima y circule del lado derecho.
 - Oprima los botones B y G simultáneamente y disminuya paso a paso el valor de R_4 , iniciando con la de máximo valor (D - 9 x 1000) hasta que la corriente en el galvanómetro sea mínima y circule del lado derecho.
 - Repita el paso anterior con las perillas C, B y A hasta que la corriente sea cero. En es momento el puente queda balanceado.
 - El valor de R_x estará dado por la siguiente ecuación:

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_4$$

$$R_x = (D \times 1000 + C \times 100 + B \times 10 + A) \times \text{multiplicador}$$

e) Repita el procedimiento para la medición de 10 resistencias y complete la tabla 1.

TABLA 1

Resistencia teórica	Resistencia medida

f) Una vez terminadas las mediciones, desconecte la batería del circuito y asegure el mecanismo de la aguja del galvanómetro.

EXPERIMENTO II USO Y OPERACION DEL PUENTE DE TEMPERATURA

La vista superior del puente de temperatura es la que se muestra en el diagrama de la figura 7.

Las terminales K, A, B, y C se utilizan cuando se tienen termómetros de resistencia (RTD) de 2, 3 ó 4 terminales.

Para el caso de esta práctica se simulará un RTD de dos terminales con una década de resistencias.

- a) Verifique que estén puenteadas las terminales KA y BC
 - Coloque la perilla DET en posición ON y gire el botón de batería para que quede conectada.
 - Encienda la fuente que alimenta al puente.
 - Con la perilla de ZERO, ajuste para que la aguja indique cero corriente.
 - Gire la perilla de temperatura al valor máximo de la escala.

- b) Coloque la década de resistencias aproximadamente en 1000 Ω y conéctela en las terminales A y C.
 - Disminuya paso a paso el valor de la década hasta que la corriente sea cero y se tengan las condiciones de balance.
 - Disminuya el valor de la escala de temperatura y repita el paso anterior.
 - Complete los datos de la tabla 2 para que se obtengan 10 registros.

- c) Cuando haya terminado de hacer las mediciones, ponga el detector en OFF, desconecte el botón de la batería y la fuente de alimentación.

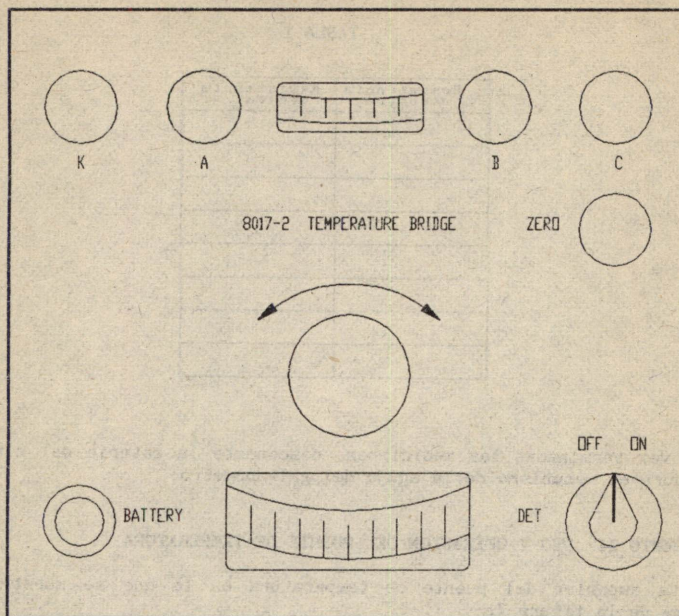


Figura 7

TABLA 2

Resistencia	Temperatura

EXPERIMENTO III USO Y OPERACION DEL PUENTE DE KELVIN

La vista superior del puente de Kelvin se muestra en la figura 8.

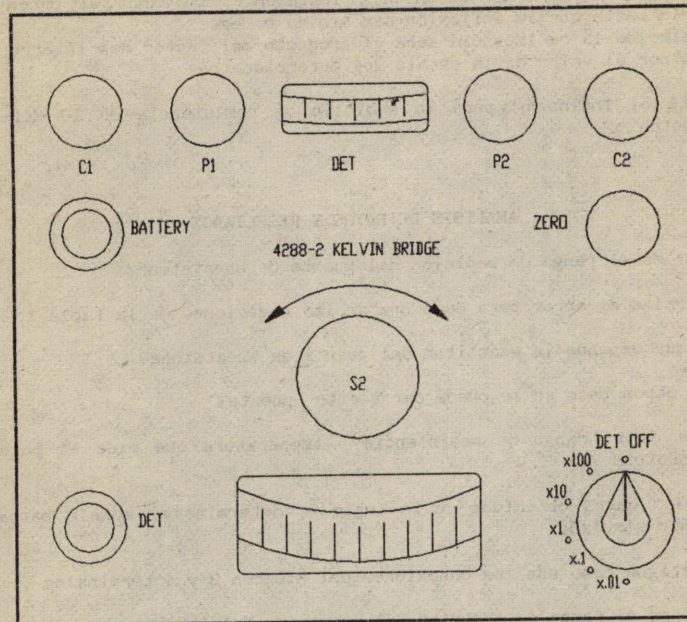


Figura 8

En esta práctica se medirán resistencias de valores bajos, menores a 5Ω y/o la resistencia de cables de diferentes calibres.

- a) Ajuste de cero.- Para este ajuste NO se requiere presionar el botón de la batería. Libere el botón DET y ponga el interruptor de rango en la posición de X.01
 - Presione el botón DET y ajuste la aguja con la perilla de ZERO, exactamente en cero corriente.
- b) Medición de resistencia.- Conecte las terminales P1 y P2 (puntos de potencial) a las terminales del elemento a ser medido. Conecte también las terminales C1 y C2 (puntos de corriente) a las terminales del elemento, ya sea en los puntos de potencial o fuera de ellos (Los puntos de corriente nunca deben estar dentro de los de potencial).
 - Conecte la fuente de alimentación al puente.
 - Presione el botón del detector para que quede conectado y gire el potenciómetro de alambre S2 en sentido antihorario hasta la marca de 0.01
 - Coloque el interruptor de rango en el punto de X .01 y posicione en

cada uno de los cinco puntos, pulsando el botón de la batería después de cada cambio, hasta que la aguja del detector defleccione a la derecha. Déjelo en una posición anterior.

- Gire el potenciómetro de alambre lentamente, pulsando el botón de la batería hasta que la deflexión sea mínima o cero.
 - El valor de la resistencia será el producto del factor del interruptor de rango por el valor de la escala del potenciómetro.
- c) Repita el inciso b) para la medición de resistencia de 10 diferentes elementos.

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- ¿Cuál es el rango de medición del puente de Wheatstone?
- 2.- Determine el error para cada una de las mediciones de la tabla 1.
- 3.- ¿De qué depende la exactitud del puente de Wheatstone?
- 4.- ¿Qué otros usos se le puede dar a este puente?
- 5.- ¿Cuál es el rango de resistencia y temperatura que mide el puente de temperatura?
- 6.- Con los datos obtenidos en la tabla 2, determine el modelo matemático del RTD simulado.
- 7.- Investigue como son las conexiones del RTD con 3 y 4 terminales.
- 8.- ¿Cuál es el rango de medición del puente de Kelvin?
- 9.- Anote en una tabla los valores de los elementos medidos.
- 10.- Investigue que otros instrumentos pueden medir valores bajos de resistencias.

2 Si en las condiciones iniciales la deflexión está a la derecha, la resistencia desconocida está abajo del rango del instrumento. y por el contrario si la deflexión permanece del lado izquierdo con el rago en X 100 y el potenciómetro de alambre en el límite superior, entonces la resistencia medida está por encima del rango del instrumento.

PRACTICA No 9

PUENTES EN EQUILIBRIO DE CA (SEGUNDA PARTE)

INTRODUCCION

Los puentes de corriente alterna son más complicados que los de directa. Están constituidos por elementos resistivos, inductivos y capacitivos, lo cual hace necesario el uso de un generador de voltaje alterno como suministro de energía y un medidor de corriente alterna.

La configuración general de los puentes de CA está ilustrada en la figura 1, siendo la misma que en los de CD. Así mismo, se sigue cumpliendo la ecuación (6) para las condiciones de balance; sin embargo, en este caso, las impedancias pueden ser del tipo complejas y la ecuación (6) queda de la siguiente forma:

$$(R_2 + jX_2) (R_4 + jX_4) = (R_1 + jX_1) (R_x + jX_x)$$

resolviendo para Z_x e igualando partes reales e imaginarias de ambos lados, se llega a:

$$R_3 = \frac{R_1 R_2 R_4 + X_1 X_2 R_4 - R_1 X_2 X_4 + R_2 X_1 X_4}{R_1^2 + X_1^2} \quad (10)$$

$$X_3 = \frac{R_1 R_2 X_4 + X_1 X_2 X_4 + R_1 R_3 X_2 - R_2 R_4 X_1}{R_1^2 + X_1^2} \quad (11)$$

Las ecuaciones (10) y (11) indican que el equilibrio debe satisfacer dos condiciones independientes (magnitud y fase), involucrando 8 magnitudes diferentes, la mitad de las cuales depende además de la frecuencia de la señal de excitación.

PUENTE DE MAXWELL

El puente de Maxwell se utiliza para la medición de inductancias y la resistencia asociada, en términos de una capacitancia conocida. En la figura 9 se muestra la configuración de este puente. La impedancia desconocida Z_x es función de los componentes en las otras ramas:

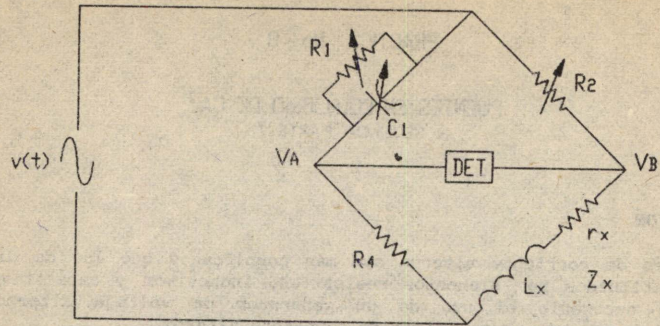


Figura 9

$$L_x = R_2 R_4 C_1 \quad (12)$$

$$R_x = \frac{R_2 R_4}{R_1} \quad (13)$$

PUENTE DE COMPARACION DE CAPACITANCIAS

Este tipo de puentes se puede utilizar para la medición de capacitancias o inductancias desconocidas, comparándolas con una capacitancia o inductancia patrón respectivamente.

La figura 10 muestra el circuito básico del puente de comparación de capacitancias.

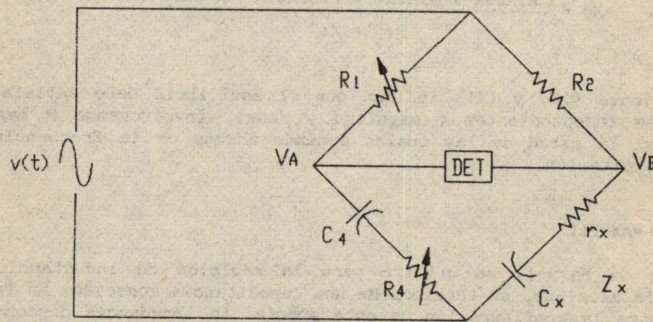


Figura 10

En este caso la impedancia Z_4 consiste de la capacitancia patrón en serie con una resistencia R_4 y la impedancia desconocida Z_x será el capacitor desconocido en serie con una resistencia que representa la resistencia de fuga del elemento. En condiciones de balance, el valor de Z_x estará dado por:

$$C_x = C_4 \frac{R_1}{R_2} \quad (14)$$

$$R_x = R_4 \frac{R_2}{R_1} \quad (15)$$

PUENTE DE RESONANCIA

Este puente es utilizado para realizar mediciones de frecuencia bajo condiciones de balance. El valor de la frecuencia depende del valor de los componentes en las otras ramas:

$$f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{LC}} \quad (16)$$

En la figura 11 se muestra el circuito de este puente.

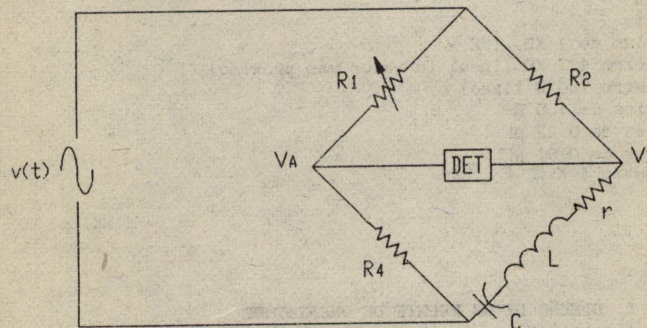


Figura 11

Factor de Disipación D.- Este factor es un indicativo de la calidad de los capacitores; cuantifica el efecto de la resistencia de fuga del componente (la resistencia de fuga disminuye el ángulo de la impedancia del capacitor a menos de 90°). D está dado por la relación entre la parte real y la reactancia del elemento.

$$D = \frac{R}{X} \quad (17)$$

Factor de Calidad o de Almacenamiento Q .- Es un factor que indica la capacidad de almacenamiento de una inductancia. Se determina mediante la relación de la parte reactiva entre la parte real del elemento.

$$Q = \frac{X}{R} \quad (18)$$

OBJETIVOS

- Familiarizar al alumno con el concepto de puentes de CD y CA.
- Implementar y caracterizar un puente de Wheatstone.
- Implementación de puentes para la medición de inductancias, capacitancias y frecuencia.

EQUIPO Y MATERIAL

Fuente de alimentación
Generador de señales
Osciloscopio
1 Inductancia
5 Resistencias de 1 K Ω , 1/2 W
1 Potenciómetro 4.7 K Ω lineal (ó valor más próximo)
1 Potenciómetro 100 Ω lineal
4 Resistencias de 100 Ω
3 Capacitores de 0.22 μ F
3 Capacitores de 0.01 μ F
1 Potenciómetro 1 K Ω

DESARROLLO

EXPERIMENTO I DISEÑO DE UN PUENTE DE WHEATSTONE

- a) Con base al circuito de la figura 12.
 - Determine el valor de las resistencias R₁, R₂ y R₃, para un determinado rango.
- b) Arme el circuito de la figura 12 y conecte las puntas del osciloscopio como se indica.
 - Determine, verifique y registre el rango de medición de su puente.
- c) Conecte en la rama correspondiente a Z_x, una resistencia cuyo valor se encuentre dentro del rango establecido del puente.

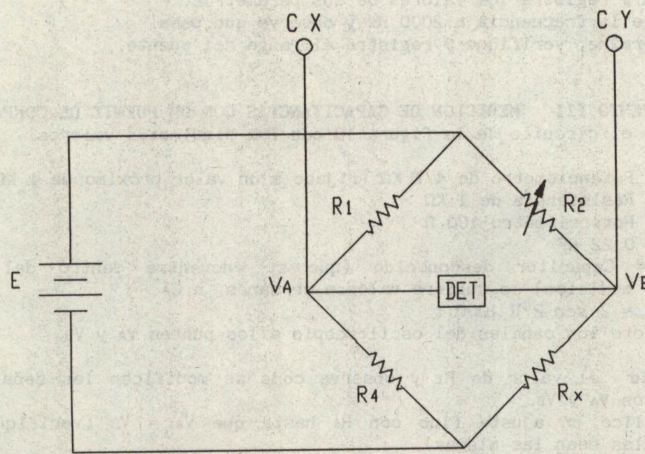


Figura 12

- Varíe el valor de R_2 hasta que las señales en ambos canales sean iguales (Verifique que las escalas del osciloscopio sean las mismas y estén calibradas).
 - Para observar en detalle la condición de balance, invierta el canal Y y sume las señales.
 - Disminuya una escala de voltaje en ambos canales y vuelva ajustar R_2 hasta que la suma de voltajes sea lo más próxima a cero volts.
- d) Realice 3 mediciones más y registre los datos.

EXPERIMENTO II IMPLEMENTACION Y VERIFICACION DEL PUENTE DE MAXWELL

- a) Arme el circuito de la figura 9 con los siguientes valores:

R_1 = Potenciómetro de $4.7 \text{ K}\Omega$
 C_1 = Variable (con los capacitores solicitados)
 Z_2 = 500Ω
 Z_4 = 400Ω (con potenciómetro de $1 \text{ K}\Omega$)
 Z_x = Inductancia desconocida
 $v(t) = 2 \text{ sen } 2 \pi 1000 t$

- Conecte los canales del osciloscopio a los puntos V_A y V_B .
- b) Varíe uno a uno el valor de C_1 y R_1 y observe como se modifican las señales en los puntos V_A y V_B .
- Realice los ajustes necesarios en C_1 y R_1 hasta que $V_A = V_B$ (verifique que las escalas sean las mismas).
- Para hacer un ajuste más fino, invierta en canal Y, sume las señales y disminuya ambas escalas de voltaje (sin que se distorsione la señal).

- Mida y registre los valores de sus parámetros.
- c) Varíe la frecuencia a 2000 Hz y observe que pasa.
- d) Determine, verifique y registre el rango del puente.

EXPERIMENTO III MEDICION DE CAPACITANCIAS CON UN PUENTE DE COMPARACION

a) Arme el circuito de la figura 10 con los siguientes valores:

- Z₁ = Potenciómetro de 4.7 K Ω (fijado a un valor próximo de 1 K Ω)
- Z₂ = Resistencia de 1 K Ω
- R₄ = Potenciómetro 100 Ω
- C₄ = 0.22 μ F
- Z_x = Capacitor desconocido (que se encuentre dentro del rango de medición) se sugiere valores cercanos a C₄

$$v(t) = 2 \text{ sen } 2 \pi 1000 t$$

- Conecte los canales del osciloscopio a los puntos V_A y V_B.

b) Varíe el valor de R₁ y observe como se modifican las señales en los puntos V_A y V_B.

- Realice un ajuste fino con R₄ hasta que V_A = V_B (verifique que las escalas sean las mismas).
- Para hacer un ajuste más fino, invierta en canal Y, sume las señales y disminuya ambas escalas de voltaje (sin que se distorsione la señal).
- Mida y registre los valores de sus parámetros.

c) Varíe la frecuencia a 2000 Hz y observe que pasa.

d) Determine, verifique y registre el rango del puente.

EXPERIMENTO IV MEDICION DE FRECUENCIA CON EL PUENTE DE RESONANCIA

a) Arme el circuito de la figura 11 con los siguientes valores:

- Z₁ = Potenciómetro de 100 Ω
- Z₂ = Resistencia de 50 Ω
- Z₄ = Resistencia de 50 Ω
- C = .22 μ F
- L = 50 mH

$$v(t) = 2 \text{ sen } 2 \pi f t$$

b) Varíe la frecuencia de la señal de entrada hasta de V_A \approx V_B.

- Ajuste con Z₁ hasta que V_A = V_B.
- Realice ajustes finos, aumentando la sensibilidad de osciloscopio .
- Mida y registre la frecuencia de la señal en cualquiera de los canales.

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- Deduzca las ecuaciones (10) y (11).
- 2.- ¿Cuál es el rango de medición del puente de Wheatstone que diseñó?
- 3.- Determine la clase exactitud del puente de Wheatstone implementado.
- 4.- De que depende la exactitud de ese puente.
- 5.- Deduzca las ecuaciones (12) y (13).
- 6.- Con los valores especificados, ¿Cuál es el rango del puente de Maxwell?
- 7.- Al variar R_1 y C_1 independientemente, ¿En qué se modifican las señales.?
- 8.- ¿Cuál es el valor de la inductancia Z_x ?
- 9.- Determine el factor de calidad de la inductancia y diga ¿Cuál es el valor teórico ideal?
- 10.- Investigue para que tipo de inductancias se utiliza este puente.
- 11.- ¿Qué pasa al variar la frecuencia en el puente de Maxwell.
- 12.- Deduzca las expresiones (14) y (15).
- 13.- Con los valores especificados, ¿Cuál es el rango de medición del puente de capacitancias.
- 14.- ¿Cuál es el valor de la capacitancia desconocida.
- 15.- Dibuje el circuito de un puente de capacitancia de más rangos.
- 16.- ¿Qué se modifica al variar la frecuencia del puente de capacitancias, porqué?
- 17.- Determine el factor de disipación y diga ¿Cuál es el valor teórico ideal?
- 18.- Deduzca la expresión (16).
- 19.- Determine la frecuencia teórica de resonancia y compárela con la experimental.
- 20.- Si no se tuviera un osciloscopio, ¿Que otros detectores podría utilizar?

- 1- Definición de los términos (I) y (II).
- 2- Descripción de la metodología de medición del punto de fusión del material.
- 3- Definición de la clase experimental del punto de fusión del material.
- 4- Descripción de la metodología de medición del punto de fusión del material.
- 5- Definición de los términos (I) y (II).
- 6- Descripción de la metodología de medición del punto de fusión del material.
- 7- Definición de la clase experimental del punto de fusión del material.
- 8- Descripción de la metodología de medición del punto de fusión del material.
- 9- Definición de los términos (I) y (II).
- 10- Descripción de la metodología de medición del punto de fusión del material.
- 11- Definición de la clase experimental del punto de fusión del material.
- 12- Descripción de la metodología de medición del punto de fusión del material.
- 13- Definición de los términos (I) y (II).
- 14- Descripción de la metodología de medición del punto de fusión del material.
- 15- Definición de la clase experimental del punto de fusión del material.
- 16- Descripción de la metodología de medición del punto de fusión del material.
- 17- Definición de los términos (I) y (II).
- 18- Descripción de la metodología de medición del punto de fusión del material.
- 19- Definición de la clase experimental del punto de fusión del material.
- 20- Descripción de la metodología de medición del punto de fusión del material.

PRACTICA No 10

EL PUENTE COMO TRANSDUCTOR

INTRODUCCION

Una gran cantidad de variables físicas son medidas por medio de transductores resistivos por ejemplo: galgas extensométricas, termistores, termómetros de resistencia, etc.; los cuales manifiestan variaciones en su resistencia eléctrica a causa de cambios en la variable física que se mide.

Generalmente este tipo de aplicaciones se efectúa en variables que cambian continuamente, lo cual hace impropiciente la medición de la resistencia del transductor por el método del puente balanceado ya que resulta imposible reestablecer manualmente el equilibrio de dicho puente cada vez que la variable presenta un cambio. Por lo anterior, es necesario analizar la respuesta del puente de CD, es decir, la corriente en el detector, cuando uno de sus elementos se desvía de su valor de equilibrio.

Termómetro de resistencia

En el diagrama de bloques de la figura 1 se indica que la variable física (temperatura) es detectada con un termómetro de resistencia, el cual presenta una respuesta aproximadamente lineal, dentro de un cierto rango de variación de la variable física.

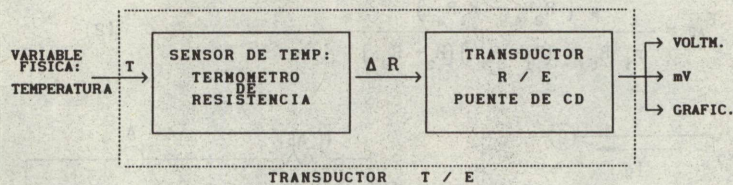


Figura 1

La ecuación 1 se aplica a los termómetros de resistencia en su rango lineal y en la figura 2 muestra la expresión gráfica de dicha ecuación.

$$R_T = R_1 [1 + \alpha(T - T_1)] \quad (1)$$

donde

- R_T Resistencia del termómetro a la temperatura T
- R_1 Resistencia a la temperatura T_1 .
- α Coeficiente de resistencia por temperatura
- T_1 Temperatura de referencia.

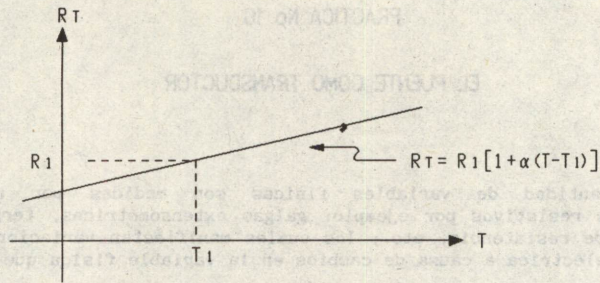


Figura 2

El valor del coeficiente α varía para cada material empleado en la fabricación del sensor.

Respuesta del puente de CD desbalanceado

Dado el circuito de la figura 3, se obtendrá una expresión para i_g y V_{AB} en función de pequeñas variaciones de la resistencia R_3 .

Equivalente de Thévenin.- El circuito equivalente entre los puntos A y B, en los cuales está conectado el galvanómetro se muestra en la figura 4. Donde el voltaje de Thévenin E_{AB} está determinado por la siguiente ecuación:

$$E_{AB} = \frac{E (R_2 R_4 - R_1 R_3)}{r_1 R_t + (R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} \quad (2)$$

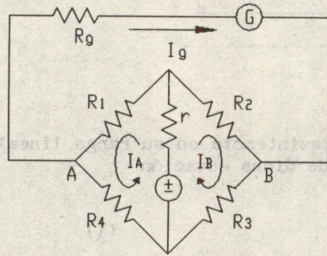


Figura 3

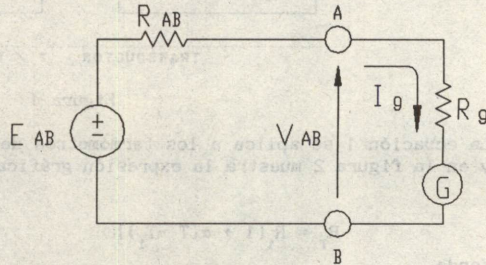


Figura 4

Tomando $r_1 = 0$, la resistencia equivalente de Thévenin R_{AB} está determinada por:

$$R_{AB} = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_t} \quad (3)$$

donde

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad (4)$$

De acuerdo al equivalente de Thévenin, la corriente en el galvanómetro se determina por la siguiente expresión:

$$i_g = \frac{E_{AB}}{R_{AB} + R_g}$$

Solución aproximada.- La expresión para i_g se simplifica si se considera al puente ligeramente desequilibrado como resultado de una pequeña variación de R_3 alrededor de su valor de equilibrio.

$$R_3 = R_{30} + R \quad (5)$$

R_{30} es el valor de equilibrio de R_3 y por lo tanto cumple con la siguiente condición:

$$R_2 R_4 = R_1 R_{30} \quad (6)$$

R es una pequeña variación de R_3 con respecto a R_{30} .

Sustituyendo la ecuación (5) en (4),

$$R_t = R_1 + R_2 + R_4 + (R_{30} + R)$$

$$R_t \cong R_1 + R_2 + R_4 + R_{30} \quad (7)$$

Sustituyendo la ecuación (5) en (3) la resistencia equivalente R_{AB} se aproxima a

$$R_{AB} = \frac{(R_1 + R_2)(R_{30} + R + R_4)}{R_1 + R_2 + R_{30} + R + R_4}$$

$$R_{AB} \cong \frac{(R_1 + R_2)(R_{30} + R_4)}{R_1 + R_2 + R_{30} + R + R_4} \quad (8)$$

Al sustituir (5) en (2) se obtiene:

$$E_{AB} = \frac{E (R_2 R_4 - R_1 R_{30} - R_1 R)}{r_1 R_t + (R_1 + R_4) (R_2 + R_{30} + R)}$$

Para la ecuación de equilibrio (6) indica que $R_2 R_4 - R_1 R_{30} = 0$ y considerando despreciable a R con respecto a R_{30} la ecuación anterior se aproxima a

$$E_{AB} = \frac{-E R_1 R}{r_1 R_t + (R_1 + R_4) (R_2 + R_{30})} \quad (9)$$

Tomando las ecuaciones (7), (8) y (9) la expresión para la corriente i_g es:

$$i_g = \frac{E_{AB}}{R_{AB} + R_g}$$

$$i_g = \frac{-E R_1 R R_t}{\left[r_1 R_t + (R_1 + R_4) (R_2 + R_{30}) \right] \left[R_g R_t + (R_1 + R_2) (R_4 + R_{30}) \right]} \quad (10)$$

Si la respuesta del galvanómetro es el voltaje V_{AB} , se tiene:

$$V_{AB} = i_g R_g = \frac{-E R_1 R R_t R_g}{\left[r_1 R_t + (R_1 + R_4) (R_2 + R_{30}) \right] R_g \left[R_t + (R_1 + R_2) (R_4 + R_{30}) / R_g \right]}$$

Si la variación del voltaje V_{AB} se efectúa con un instrumento de alta impedancia de entrada, tal que se cumpla que: $R_g \gg (R_{30} + R_4)$, la expresión para V_{AB} se aproxima a:

$$V_{AB} = \frac{-E R_1 R}{r_1 R_t + (R_1 + R_4) (R_2 + R_{30})} \quad (11)$$

El signo negativo indica que el voltaje E es de polaridad contraria a la indicada en el diagrama y

$$R_t = R_1 + R_2 + R_{30} + R_4 \quad (12)$$

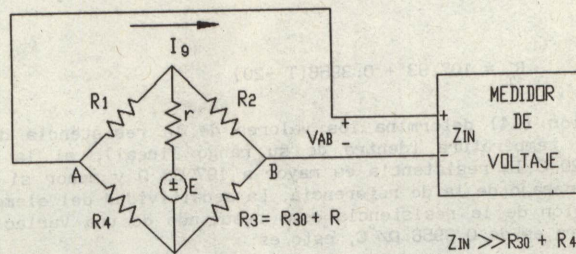


Figura 5

El diagrama de la figura 5 y las ecuaciones (11) y (12) conforman el esquema que se empleará para implementar el transductor de RESISTENCIA / VOLTAJE de la práctica.

Es importante mencionar que la ecuación (11) expresa una relación lineal de la respuesta del puente (V_{AB}) con respecto a las variaciones de R_3 , sin embargo, no debe olvidarse que esta expresión solamente es válida para pequeñas variaciones alrededor de su valor de equilibrio (R_{30}).

Características del transductor temperatura / voltaje.- La configuración general del transductor es como la que se muestra en el diagrama de bloques de la figura 1 y debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Rango de medición: $0-60^{\circ}\text{C}$.
- Sensibilidad: $S = 1 \text{ mv}/^{\circ}\text{C}$.
- Rango de salida: -20 a 40 mv .

La sensibilidad del puente S_p será determinada por la sensibilidad del sensor S_s y por la sensibilidad que se ha especificado para el transductor S_t . La relación que guardan estos tres parámetros es la siguiente:

$$S_T = S_s * S_p \quad (13)$$

Características del Sensor.- El sensor de temperatura que se utiliza es un termómetro de resistencia de platino, el cual tiene las siguientes características:

- Resistencia a la temperatura de referencia $T = 20^{\circ}\text{C}$:

$$R_1 = 107.93 \Omega$$

- Coeficiente de resistencia por temperatura.

$$\alpha = 0.00366 \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 1 se tiene:

$$R_T = 107.93 [1 + 3.666 \cdot 10^{-3}(T - 20)]$$

o bien

$$R_T = 107.93 + 0.3956(T - 20) \quad (14)$$

La ecuación (14) determina los valores de la resistencia del sensor para cualquier temperatura (dentro de su rango lineal); si la temperatura es mayor a 20°C la resistencia es mayor a 107.93 Ω y menor si la temperatura está por debajo de la de referencia. La sensibilidad del elemento, es decir, la variación de la resistencia como resultado de una variación de 1° C de temperatura es de 0.3956 Ω/°C, esto es:

$$S_s = 0.3956 \Omega/^\circ\text{C} \quad (15)$$

De acuerdo a los valores establecidos para S_T y S_s , la sensibilidad que debe tener el circuito puente se puede determinar a partir de la ecuación (13);

$$S_p = \frac{S_T}{S_s} \quad \text{mV}/\Omega \quad (16)$$

OBJETIVO

- Proporcionar al alumno los conocimientos teórico-prácticos relativos al comportamiento del puente de CD desbalanceado y su utilidad como transductor de *RESISTENCIA / VOLTAJE*.
- Desarrollar e implementar un transductor de *TEMPERATURA / VOLTAJE*.

EQUIPO Y MATERIAL

Termómetro de resistencia.
Termómetro de mercurio.
Barra de calentamiento y accesorios de montaje.
Puente medidor de resistencias (Puente de Wheatstone).
Década de resistencias.
Módulo 294A circuito puente. Tecnikit (Feedback).
Vóltmetro.
Cables de conexión.

DESARROLLO

EXPERIMENTO I IMPLEMENTACION Y VERIFICACION DEL PUENTE

- a) Arme el circuito de la figura 6 con los siguientes valores:
- $R_1 = R_4 = 1 \text{ K}\Omega$
 - $R_2 = 0 - 1 \text{ K}\Omega$ (variable)
 - $R_3 = 0 - 999.9$ (década de resistencias)

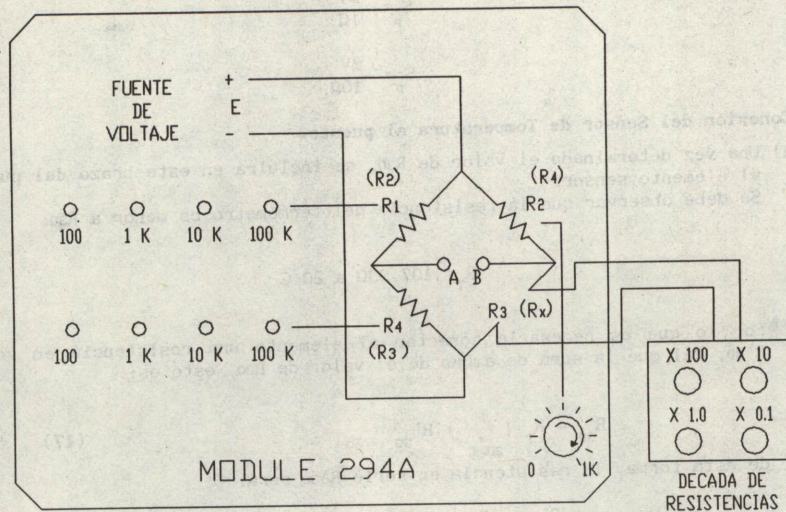


Figura 6

* La notación entre paréntesis corresponde a la identificación que se da a las resistencias del puente en el módulo 294A.

- b) A partir de la ecuación (16), determine la sensibilidad del puente. Con el valor calculado, aplíquelo en la ecuación (11) y determine el voltaje E que se aplicará al puente a fin de que responda a la sensibilidad calculada (considere $r_1 = 0$).
- c) Conecte la fuente de voltaje al circuito, ajustada previamente al valor calculado y observando la polaridad correcta.

Equilibrio del puente y verificación de la sensibilidad

- a) Una vez implementado el puente, mida el voltaje entre las terminales A(+) y B(-). Emplee el voltmetro en su rango mínimo (mv).
 - Aproxime V_{AB} a cero variando la resistencia R_2 . Si el ajuste no se logra, complémtelo con la resistencia R_3 (década de resistencias).
 - Después de realizados estos ajustes, los brazos del puente se encuentran en su valor de equilibrio.
- b) Registre el valor de equilibrio de R_3 (R_{30}).
- c) Verifique y registre la sensibilidad del puente variando R_3 (década de resistencias) en pasos de 1Ω y 10Ω alrededor de su valor de equilibrio.

$$S_p = \frac{mV}{1\Omega}$$

$$S_p = \frac{mV}{10\Omega}$$

Conexión del Sensor de Temperatura al puente.

- a) Una vez determinado el valor de R_{30} , se incluirá en este brazo del puente al elemento sensor.
- Se debe observar que la resistencia del termómetro es menor a R_{30} :

$$R_T = 107.93\Omega \text{ a } 20^\circ\text{C}$$

Por lo que es necesario conectar al elemento una resistencia en serie R'_{30} , tal que la suma de ambas de el valor de R_{30} , esto es:

$$R_{30} = R_T \Big|_{20^\circ\text{C}} + R'_{30} \quad (17)$$

de esta forma, la resistencia en serie R'_{30} será:

$$R'_{30} = R_{30} - R_T \Big|_{20^\circ\text{C}}$$

- Calcule y registre el valor de R'_{30} .
- b) Evitando cualquier modificación al circuito, conecte el termómetro de resistencia de acuerdo al diagrama de la figura 7 y mida el voltaje V_{AB} .
- El voltmetro deberá estar en el rango de mV.
- El valor de la resistencia R'_{30} , se fijará en la década de resistencias.

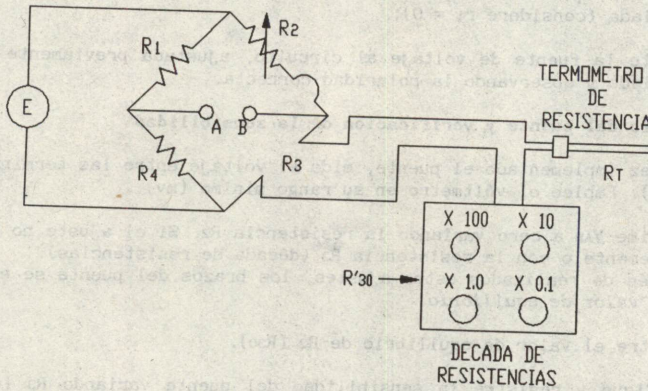


Figura 7

- Al conectar el voltmetro, indicará un voltaje diferente de cero, dada la referencia que se tomó; no obstante, debe verificarse, con gran aproximación, la sensibilidad prevista para el dispositivo: por cada 1°C de temperatura arriba o abajo de los 20°C , el voltmetro indicará $+ 1\text{ mV}$ ó $- 1\text{ mV}$ según sea el caso.

EXPERIMENTO II VERIFICACION DEL TRANSDUCTOR TEMPERATURA / VOLTAJE

- Encienda el calentador de la barra de calentamiento y espere 40 minutos a que la temperatura se estabilice en el dispositivo.
- En la figura 8 se muestra la barra de calentamiento, la cual dispone en uno de sus extremos de un calentador y en el otro de un disipador, resultando de este arreglo un gradiente de temperatura a lo largo de dicha barra.

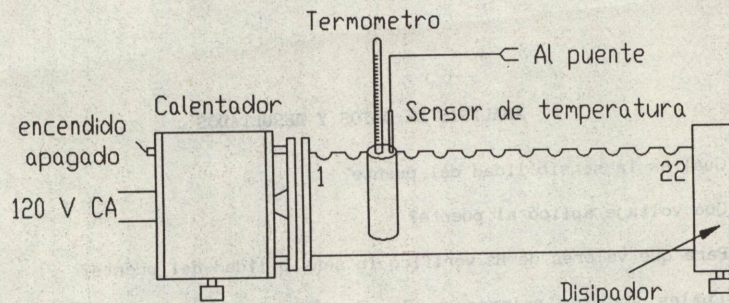


Figura 8

- Sobre la barra hay hendiduras ubicadas cada 1 cm , a todo lo largo; las hendiduras sirven como punto de referencia para instalar el tanque de calibración. De acuerdo a la disposición de las hendiduras, la temperatura disminuye gradualmente a medida que los puntos se acercan al disipador.
- Se considera que el punto 22 tiene una temperatura muy cercana a la del medio ambiente.
- El tanque de calibración consiste simplemente en un recipiente cilíndrico unido a una pinza que lo sujeta a la barra de calentamiento.
- El sensor de temperatura y el termómetro patrón se introducen en el tanque junto con una cantidad pequeña de agua a fin de que la temperatura sea uniforme.
- Este arreglo se instala sobre diversos puntos de la barra para generar las diferentes temperaturas de prueba.

- b) Coloque el tanque de calibración en los puntos indicados en la Tabla 1 esperando aproximadamente 10 minutos, cada vez que se cambie la posición para que la temperatura se estabilice. Tome las lecturas que se indican.

TABLA1

PUNTOS	TEMPERATURA °C	VOLTAJE VAB mV
22		
18		
13		
7		
2		

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- ¿Cuál es la sensibilidad del puente?
- 2.- ¿Qué voltaje aplicó al puente?
- 3.- ¿Para qué valores de R_3 verificó la sensibilidad del puente?
- 4.- ¿Cuáles son los valores de R_1 , R_2 , R_3 y R_4 para que el puente esté en equilibrio?
- 5.- ¿Cuál es el valor de R'_{30} ?
- 6.- ¿A qué temperatura está el puente en equilibrio?
- 7.- ¿Qué procedimiento tiene que realizar para que el transductor marque 0 V a la temperatura de 0 °C ?
- 8.- ¿Si el voltmetro marca un voltaje negativo, que indica ?
- 9.- Calcule la sensibilidad real del transductor para cada uno de los puntos de la tabla 1 y compárela con la especificada.
La sensibilidad se puede obtener mediante la relación de los gradientes de voltaje entre los correspondientes gradientes de temperatura.
- 10.- Proponga un transductor similar al construido, el cual detecte una variable física y presente el valor proporcional en voltaje.

TRANSDUCTOR DESPLAZAMIENTO - VOLTAJE

INTRODUCCION

Un instrumento que tiene como variable de entrada un desplazamiento lineal y como salida una señal de voltaje, proporcional a la entrada, se puede implementar mediante varios transductores como los mostrados en la figura 1.

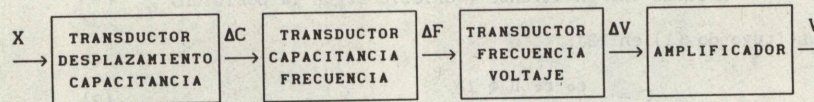


Figura 1

En este instrumento, la relación salida / entrada (voltaje / desplazamiento) corresponde al producto de las relaciones salida / entrada de cada uno de los bloques ya que se encuentran conectados en cascada. Es decir, la sensibilidad del transductor está dada por el producto de las sensibilidades individuales.

TRANSDUCTOR DESPLAZAMIENTO-CAPACITANCIA

Es un transductor formado por dos cilindros concéntricos, en el cual al desplazar el cilindro interior, se varía el área de enfrentamiento entre ellos como se muestra en la figura 2, por lo que se tiene en consecuencia una variación en la capacitancia cuyo valor depende de la posición del cilindro interior.

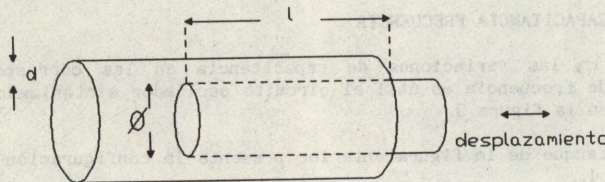


Figura 2

donde:

- ϕ = diámetro medio
- l = longitud (variable según la posición)

El área de enfrentamiento es:

$$A = (\pi)(\phi)(l) \quad (1)$$

y la capacitancia está dada por:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad (2)$$

donde:

- ϵ_r - permitividad del dieléctrico
- ϵ_0 - permitividad del aire (8.85 [pf/m])
- d - distancia entre cilindros
- A - área de enfrentamiento (variable según la posición)

sustituyendo (1) en (2):

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \pi \phi l}{d} \quad (3)$$

La sensibilidad puede determinarse a partir de la parcial de la función de salida con respecto a la variable de entrada:

$$\frac{\delta C}{\delta l} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \pi \phi}{d} \quad (4)$$

o bien, experimentalmente con las variaciones de capacitancia con respecto al desplazamiento:

$$\frac{\Delta C}{\Delta l} = \frac{C_{n-1} - C_n}{l_{n-1} - l_n} \quad (5)$$

TRANSDUCTOR CAPACITANCIA FRECUENCIA

Para convertir las variaciones de capacitancia en las correspondientes variaciones de frecuencia es útil el circuito oscilador sintonizado LC como el mostrado en la figura 3.

El circuito tanque de la figura anterior presenta la configuración mostrada en la figura 4.

En este circuito, la capacitancia equivalente está dada por:

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_3 \quad (6)$$

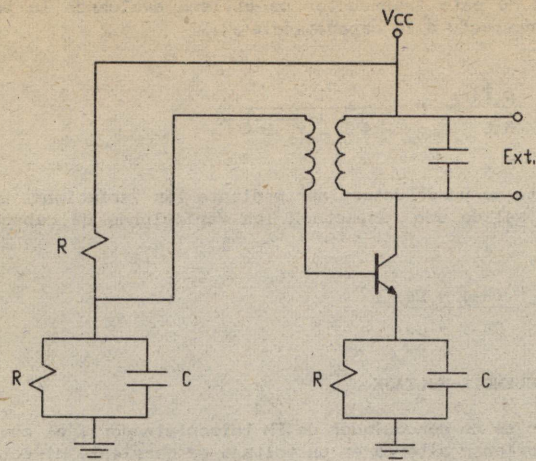


Figura 3

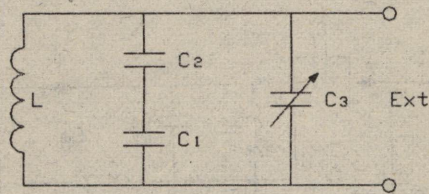


Figura 4

Del circuito tanque anterior se observa que la capacitancia equivalente tiene diferentes valores dependiendo del capacitor variable C_3 , esto permite hacer un ajuste a condiciones iniciales a la frecuencia conveniente o deseada.

La frecuencia de oscilación del circuito sintonizador está dada por la frecuencia de resonancia del circuito tanque, esto es:

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (7)$$

Al conectarse la salida del transductor posición-capacitancia en las terminales de componente externo del circuito tanque, se tendrá que la nueva capacitancia equivalente es la suma ($C_{eq} + C_x$) con lo que la frecuencia de oscilación variará de acuerdo con la capacitancia C_x del transductor posición-capacitancia.

La sensibilidad de este transductor se obtiene evaluando la parcial de la frecuencia con respecto a la capacitancia :

$$\frac{\delta f_{osc}}{\delta C} = - \frac{1}{4 \pi C \sqrt{LC}} \quad (8)$$

Experimentalmente se puede determinar mediante las variaciones de frecuencia de la señal de salida con respecto a las variaciones de capacitancia esto es:

$$\frac{\Delta f_{osc}}{\Delta C} = \frac{f_{n-1} - f_n}{C_{n-1} - C_n} \quad (9)$$

TRANSDUCTOR FRECUENCIA-VOLTAJE

Este transductor es un demodulador de FM (discriminador), el cual transforma una señal de corriente alterna en un voltaje de corriente directa cuyo valor depende de la frecuencia de entrada. La figura 5 muestra el demodulador balanceado o discriminador de frecuencias configuración Foster Seeley, que es el utilizado en el módulo de la práctica.

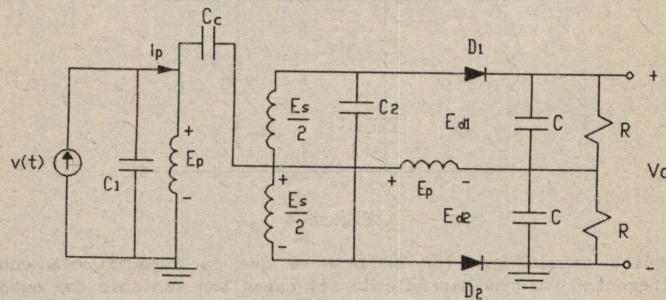


Figura 5

Utiliza un circuito doblemente sintonizado con una conexión de ca entre el primario y el centro del secundario. Los capacitores C_c y C tienen impedancia despreciable en $\omega = \omega_c$. Todo el voltaje del primario aparece a través de la bobina L . El voltaje en el detector superior es: $E_{d1} = E_p + E_s/2$ y para el detector inferior es $E_{d2} = E_p - E_s/2$

En la figura 6 se muestra el circuito equivalente simplificado.

Los parámetros se ajustan de modo que el circuito se encuentre en resonancia en $\omega = \omega_c$. Bajo esta condición la corriente I se encuentra en fase con el voltaje E_p ; en consecuencia, el voltaje a través del capacitor C_2 , que es causado por I , retrasa a E_p 90° . Pero el voltaje a través de C_2

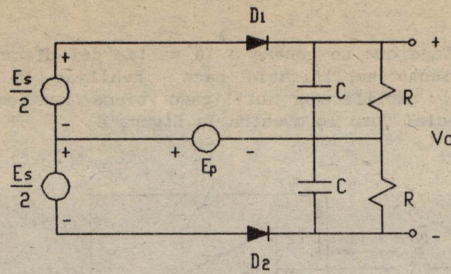


Figura 6

es E_s . Por tanto E_s retrasa a E_p 90° en $\omega = \omega_c$. Para $\omega > \omega_c$, el circuito es inductivo, e I retrasa a E_p . En consecuencia, E_s retrasa a E_p mas de 90° . En forma similar, E_s retrasa E_p menos de 90° para $\omega < \omega_c$. Esto se muestra en los diagramas fasoriales de la figura 7.

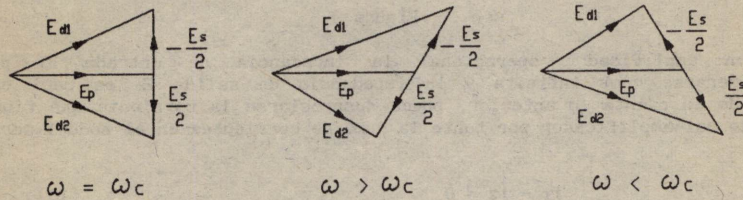


Figura 7

La salida v_o es $|E_{d1}| - |E_{d2}|$, que es la diferencia de las dos salidas del detector.

De lo anterior se obtiene que $v_o = 0$ en $\omega = \omega_c$ con v_o aumentando para $\omega > \omega_c$ y disminuyendo para $\omega < \omega_c$ como se observa en la figura 8.

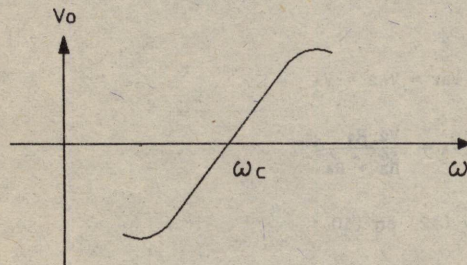


Figura 8

AMPLIFICADOR

Debido a que el voltaje que se genera a la salida del discriminador es muy pequeño, es conveniente amplificarlo para realizar la lectura en un voltmetro común; el amplificador utilizado tiene una configuración de amplificador diferencial como lo muestra la figura 9 :

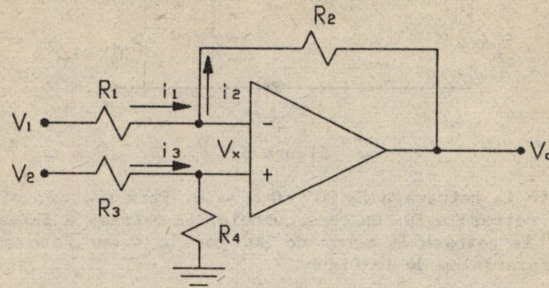


Figura 9

En un amplificador operacional la impedancia de entrada Z_i puede considerarse como infinita y la impedancia de salida Z_o es casi cero. Tomando en cuenta lo anterior, puede desprejarse la corriente que fluye a través del amplificador por tanto la suma de corrientes en el nodo 1 será:

$$i_1 - i_2 = 0 \quad (10)$$

pero:

$$i_1 = \frac{V_1 - V_x}{R_1} \quad (11)$$

$$i_2 = \frac{V_o - V_x}{R_2} \quad (12)$$

por otra parte:

$$V_{n1} = V_{n2} = V_x \quad (13)$$

y

$$V_x = \frac{V_2 R_4}{R_3 + R_4} \quad (14)$$

Sustituyendo (11) y (12) en (10):

$$\frac{V_1 - V_x}{R_1} - \frac{V_o - V_x}{R_2} = 0 \quad (15)$$

Evaluando la ecuación (15) para V_o , sustituyendo (14) y considerando que $R_1 = R_3$ y $R_2 = R_4$ se obtiene:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (16)$$

Por tanto el voltaje de salida será la diferencia $(V_2 - V_1)$ multiplicada por el factor (R_2/R_1) al cual se le llama ganancia (G) esto es:

$$V_o = G (V_2 - V_1)$$

OBJETIVOS

- Proporcionar al alumno los conocimientos teórico-prácticos sobre los transductores capacitivo, oscilador tipo tanque, discriminador de frecuencias y amplificador operacional.
- Caracterizar cada uno de los módulos.
- Implementar un transductor de posición a voltaje.

EQUIPO Y MATERIAL

Transductor capacitivo de cilindros concéntricos
Módulo oscilador 294 C
Discriminador de frecuencias 294 D
Módulo amplificador 294 B
Osciloscopio
Medidor de capacitancias
Medidor de frecuencia
Generador de señales
Vóltmetro
Cables de conexión

NOTA 1

Es importante que al realizar cualquier medición en los experimentos propuestos se retiren las manos de los módulos para evitar errores por capacitancias parásitas.

NOTA 2

Se debe procurar no mover los módulos, y los cables para interconectar los módulos sean lo más corto posible; ya que de lo contrario puede haber errores debido a variaciones en la capacitancia por la proximidad entre los cables.

NOTA 3

Se debe tener cuidado de polarizar correctamente los módulos con los voltajes indicados de lo contrario pueden dañarse.

DESARROLLO

EXPERIMENTO I CARACTERIZACION DEL TRANSDUCTOR DE POSICION-CAPACITANCIA

- a) Fije el transductor posición-capacitancia en la base del micrómetro como lo muestra la figura 10.

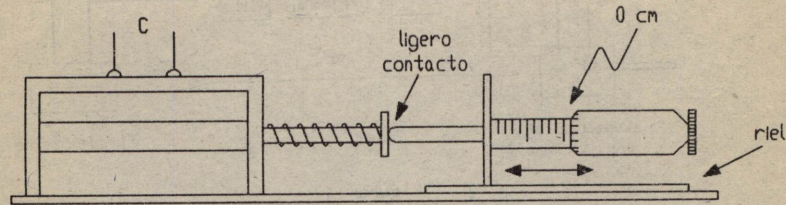


Figura 10

- Gire el tornillo de ajuste del micrómetro para que éste indique 0 cm; desplácelo sobre el riel hasta que la punta del micrómetro apenas haga contacto con el émbolo del capacitor variable; éstas son las condiciones iniciales para realizar las mediciones.
- Identifique las terminales del capacitor y conecte en ellas un medidor de capacitancias.
- Mida la capacitancia para las diferentes posiciones del micrómetro indicadas en la tabla 1, y registre los datos obtenidos en la columna correspondiente.

EXPERIMENTO II CARACTERIZACION DEL MODULO OSCILADOR

- a) Polarice el módulo oscilador (294-C) con + 15 V, -15 V y tierra, además conecte el frecuencímetro como lo muestra la figura 11, sin conectar aun el capacitor de área variable.
- Identifique la perilla de la frecuencia de oscilación (capacitor variable C_3 del circuito tanque) y con el frecuencímetro mida y registre las frecuencias de salida para las posiciones (min) y (max).
 - Identifique la perilla de amplitud de salida y con un osciloscopio mida y registre la amplitud pico-pico de la señal observada para las diferentes posiciones de la perilla.
 - Verifique que el interruptor de componente externo se encuentra en la posición C (esto indica que la entrada será una capacitancia variable).
 - Coloque la perilla de frecuencia en la posición central (entre las marcas min y max) y ajuste la perilla de voltaje de modo que obtenga una señal

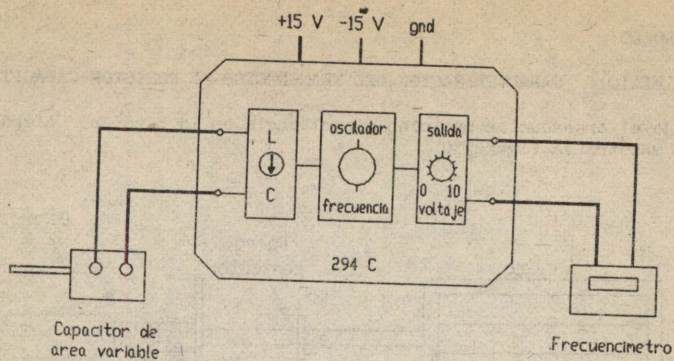


Figura 11

de 3 V pico-pico. Estos ajustes se deben a que es preferible trabajar en la parte central del rango de operación de un instrumento para evitar saturaciones.

- Ajuste el transductor posición-capacitancia a las condiciones iniciales propuestas en el experimento 1
- Identifique las terminales de entrada correspondientes a componente externo del módulo oscilador y conecte en ellas la salida del transductor posición-capacitancia.
- Para las diferentes posiciones del micrómetro especificadas en la tabla 1, mida con un frecuencímetro la frecuencia obtenida y asiente los datos en la columna correspondiente.

TABLA 1

Micrometro [cm]	Capacitancia [pF]	Frecuencia [kHz]
0.0		
0.25		
0.50		
0.75		
1.00		
1.25		
1.50		
1.75		
2.00		
2.25		
2.50		

EXPERIMENTO III CARACTERIZACION DEL DISCRIMINADOR DE FRECUENCIAS Y EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

a) Polarice los módulos discriminador de frecuencias (294 D) y amplificador diferencial (294 B) con + 15 V, - 15 V y tierra; interconéctelos en cascada como lo muestra la figura 12.

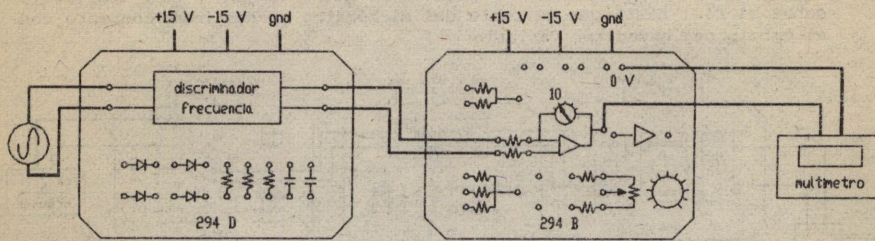


Figura 12

- Ajuste la ganancia del amplificador diferencial a 10 y con un generador de señales, aplique a la entrada del discriminador una señal senoidal de 2.5 V_{pp}.
- Para los diferentes valores de frecuencia propuestos en la tabla 2 mida con un voltmetro los voltajes de salida del discriminador de frecuencias y del amplificador diferencial y llene las columnas correspondientes.
- Mida exactamente la frecuencia cuando $V_o = 0$ V.

TABLA 2

Frecuencia [KHz]	Voltaje en el Discriminador [V]	Voltaje en el Amplificador [V]
420		
430		
440		
450		
460		
470		
480		
490		
500		
510		
520		

EXPERIMENTO IV IMPLEMENTACION DEL TRANSDUCTOR DESPLAZAMIENTO - VOLTAJE

- a) Interconecte en cascada los módulos anteriores como se muestra en la figura 13.
- b) Fije las siguientes condiciones iniciales:
- Ajuste el tornillo del micrómetro para que éste indique 0 cm y desplácelo sobre el riel hasta que la punta del micrómetro apenas haga contacto con el émbolo del capacitor variable.

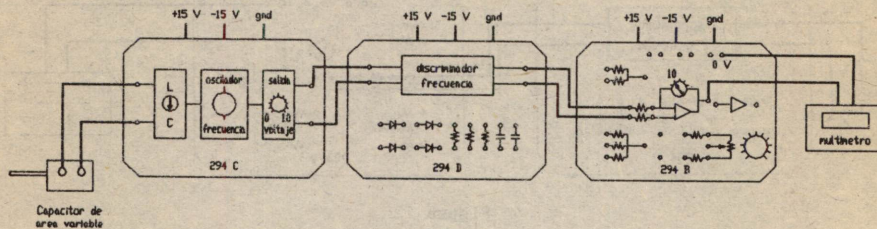


Figura 13

- Polarice los módulos con + 15 V, - 15 V y tierra.
- Verifique que el interruptor de componente externo se encuentre en la posición (C).
- Identifique las terminales de entrada de componente externo del módulo oscilador y conecte en ellas la salida del transductor posición-capacitancia.
- Una vez conectado el capacitor variable, Ajuste el tornillo del micrómetro a 1.25 cm, esta será la posición de referencia.
- Con la perilla de frecuencia de oscilación, ajuste el valor de frecuencia de salida del oscilador al valor de cruce por 0 V.
- Con ayuda de un osciloscopio, ajuste la amplitud de la señal de salida del oscilador a 2.5 V.
- Para las posiciones del micrómetro propuestas en la tabla 3, mida los correspondientes voltajes a la salida del amplificador V_o y llene la columna correspondiente.

TABLA 3

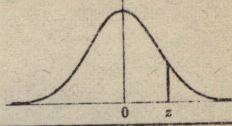
POSICION MICRÓMETRO [cm]	V _o AMPLIFICADOR [V _o]
1.25	
1.50	
1.75	
2.00	
2.25	
2.50	
2.75	

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- Con los datos de la tabla 1, grafique capacitancia vs desplazamiento.
- 2.- Determine para cada punto la sensibilidad del transductor capacitivo.
- 3.- ¿En qué intervalo de valores de desplazamiento puede considerarse lineal la respuesta del transductor capacitivo?
- 4.- ¿Cuál es el intervalo de frecuencias a la salida del oscilador?
- 5.- ¿Cuáles son los voltajes pico-pico mínimo y máximo de salida del oscilador?
- 6.- Con los datos de la tabla 1, obtenga las gráficas frecuencia vs. desplazamiento y frecuencia vs. capacitancia.
- 7.- Determine en cada punto la sensibilidad del oscilador.
- 8.- ¿Para qué intervalo de valores de la capacitancia de entrada puede considerarse lineal la respuesta del transductor oscilador ?
- 9.- ¿Cuál es la frecuencia en la que se tiene cero volts a la salida del discriminador?
- 10.- ¿A qué frecuencia se tiene el máximo voltaje positivo y cuál es ese valor de voltaje?
- 11.- ¿A qué frecuencia se tiene el máximo voltaje negativo y cuál es ese valor de voltaje?

- 12.-Con los datos obtenidos en la tabla 2, grafique V_{disc} vs frecuencia y V_{amp} vs V_{disc} .
- 13.-¿Para qué intervalo de frecuencias se puede considerar lineal la respuesta del discriminador?
- 14.-¿Cuál es la sensibilidad del discriminador?
- 15.-¿Para qué intervalo de valores de voltaje de entrada puede considerarse lineal la respuesta del amplificador?
- 16.-¿Cuál es la ganancia del amplificador?
- 17.-¿Es adecuado el módulo oscilador a la entrada del discriminador de frecuencias para que este último trabaje en su zona lineal?
- 18.-Con los datos de la tabla 3, grafique V_o vs desplazamiento.
- 19.-Con los datos de la tabla 3 determine la sensibilidad en cada punto.
- 20.-¿Es esta sensibilidad constante para todo el intervalo de operación del transductor?
- 21.-¿Cuál es el error en la respuesta del transductor y a que se puede deber?
- 22.-¿En que intervalo de operación es confiable la respuesta del transductor?
- 23.-¿Para que intervalo de valores de la posición del micrómetro es lineal la respuesta del transductor?

APENDICE A
 AREAS BAJO LA CURVA NORMAL ESTANDAR
 (DE 0 A Z)



z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0754
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2258	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2996	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990
3.1	.4990	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
3.2	.4993	.4993	.4994	.4994	.4994	.4994	.4994	.4995	.4995	.4995
3.3	.4995	.4995	.4995	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4997
3.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4998
3.5	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998
3.6	.4998	.4998	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.7	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.8	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.9	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000

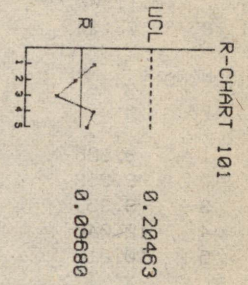
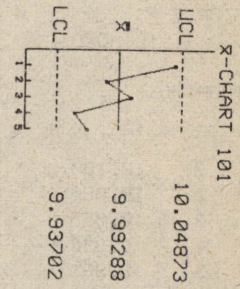
APENDICE B

RESULTADOS Y GRAFICAS DE LAS MEDICIONES UTILIZANDO
MICROMETRO Y EL MINIPROCESADOR

CHR.CODE TABLE			SUBGROUP NO		
			101		3
PART:CHR.:CHR.CODE			101	1	10.000
1 1 101				2	10.036
				3	10.001
				4	9.983
				5	10.027
OPERATOR 1			CHR.101		
	GMH		x		10.00940
OPERATOR 2			R		0.05300
	CILINDRO		TIME11/05/90		23:25
SUBGROUP NO			SUBGROUP NO		
101		1	101		4
101	1	10.100	101	1	10.010
	2	10.086		2	9.980
	3	10.055		3	9.968
	4	9.996		4	9.938
	5	9.981		5	9.895
CHR.101			CHR.101		
x		10.04360	x		9.95820
R		0.11900	R		0.11500
TIME11/05/90		23:20	TIME11/05/90		23:26
SUBGROUP NO			SUBGROUP NO		
101		2	101		5
101	1	9.966	101	1	9.914
	2	9.959		2	9.941
	3	9.953		3	9.988
	4	10.040		4	9.983
	5	10.018		5	10.024
CHR.101			CHR.101		
x		9.98720	x		9.96600
R		0.08700	R		0.11000
TIME11/05/90		23:24	TIME11/05/90		23:26

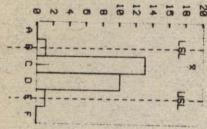
CHR. 101
 CHART
 SAMPLE SIZE \bar{x} -R 5
 SUBGROUP NO 1~ 5
 N 25
 MAX 10.100
 MIN 9.895
 R 0.205
 \bar{x} 9.99288
 $\sigma(R)$ 0.04161
 Cp 1.201
 Cpk 1.144
 Cm 0.901
 Cmk 0.858
 P 0.000 x
 Pe 0.038 x

CHR. 101
 CHART
 SAMPLE SIZE \bar{x} -R 5
 SUBGROUP NO 1~ 5
 CREATION METHOD INITIAL STUDY



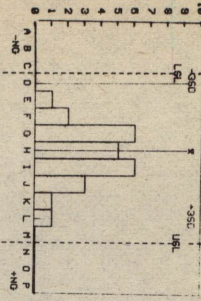
CHR.101

SUBGROUP NO 1~ 5
MAX 10.100
MIN 9.895



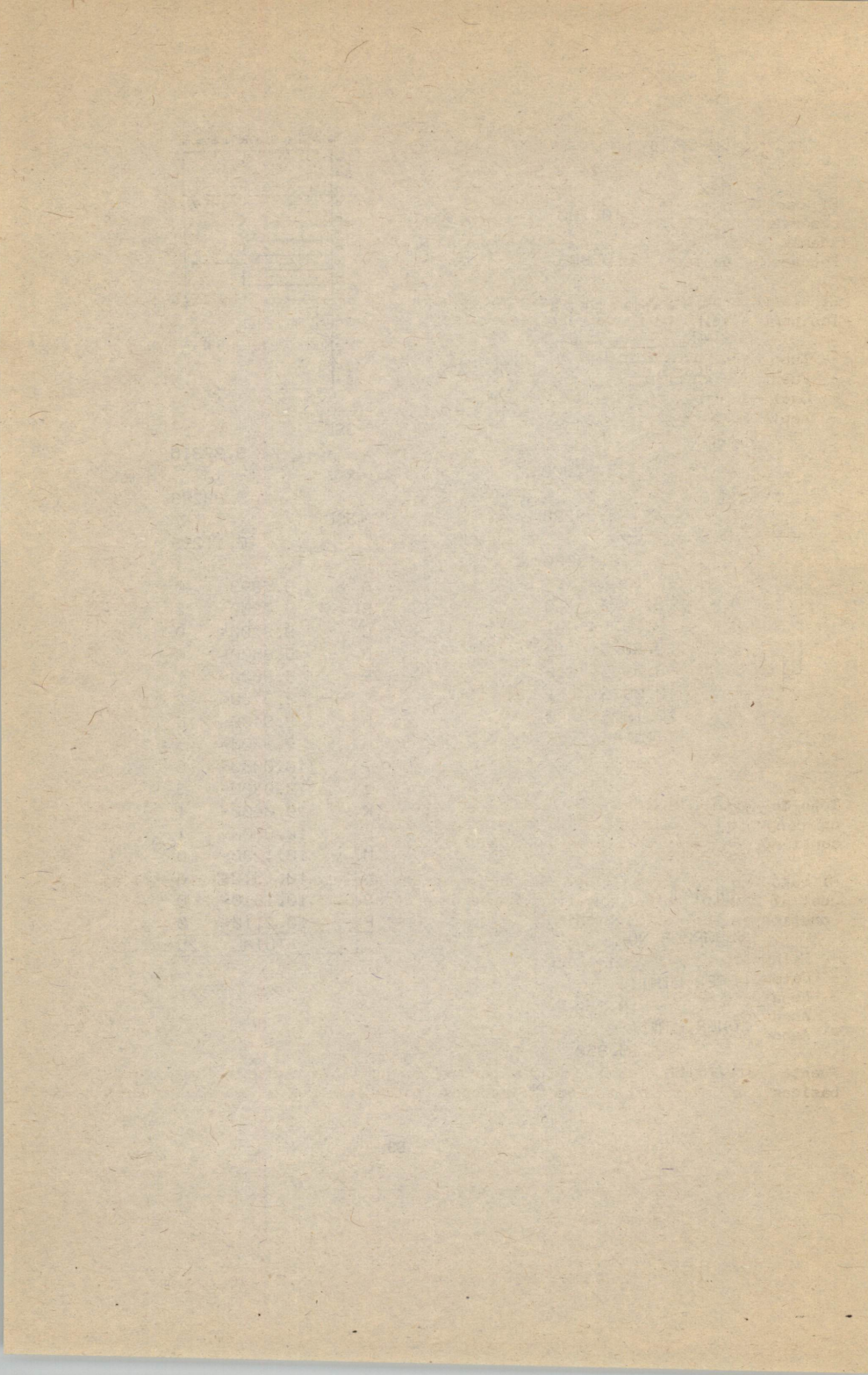
LSL 9.85000
x 9.99288
USL 10.15000
A ~ 9.7974 0
B 9.7975~ 1
C 9.8975~ 13
D 9.9975~ 10
E 10.0975~ 1
F 10.1975~ 0
TOTAL 25

CHR.101
SUBGROUP NO 1~ 5
UPPER LIMIT 10.150
LOWER LIMIT 9.850
DIVISION 10



-3SD 9.87316
x 9.99288
+3SD 10.11259

A ~ 9.7899 0
B 9.7900~ 0
C 9.8200~ 0
D 9.8500~ 0
E 9.8800~ 1
F 9.9100~ 2
G 9.9400~ 6
H 9.9700~ 5
I 10.0000~ 6
J 10.0300~ 3
K 10.0600~ 1
L 10.0900~ 1
M 10.1200~ 0
N 10.1510~ 0
O 10.1810~ 0
P 10.2110~ 0
TOTAL 25



APENDICE C
EL OSCILOSCOPIO

El osciloscopio es un instrumento que se utiliza principalmente para la observación de señales de voltaje que varían o no con el tiempo y sirve además para determinar los parámetros principales como la amplitud y frecuencia de las señales.

El diagrama de bloques básico del osciloscopio se presenta en la figura C1 y las partes principales son las siguientes:

- Tubo de rayos catódicos.
- Fuente de energía.
- Oscilador para la base de tiempos.
- Amplificadores.

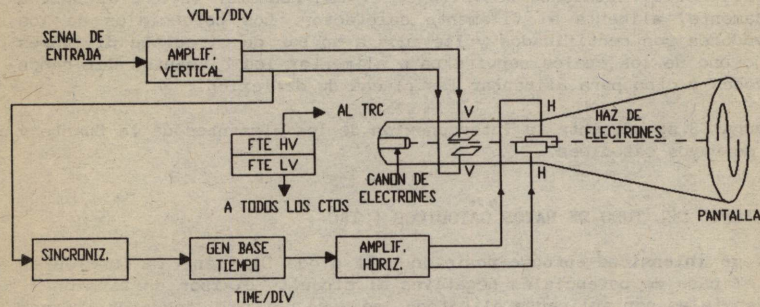


Figura C1

Tubo de rayos catódicos.- Es un tubo al vacío en cuyo interior se encuentran un conjunto de elementos que constituyen el cañón de electrones. Además contiene dos pares de placas y una pantalla fluorescente.

El cañón de electrones tiene la función de producir el haz de electrones el cual al chocar con la pantalla produce un efecto luminoso. Las partes que lo constituyen son las siguientes:

- Filamento calefactor.
- Cátodo.
- Reja de control
- Anodo de enfoque
- Anodo acelerador

Fuente de energía.- Esta formada por un conjunto de elementos eléctricos básicos como resistencias, rectificadores, potenciómetros y transformadores

que interconectados constituyen la fuente de alimentación al tubo de rayos catódicos.

La función básica de la misma se puede observar en el diagrama de bloques que aparece en la figura C2.

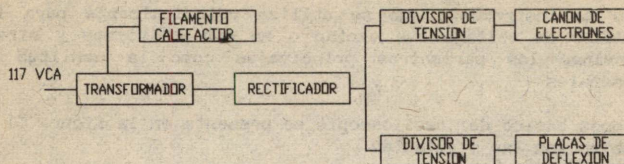


Figura C2

La energía eléctrica (tomada de algún contacto 117 V) llega al primario de un transformador que en su secundario tiene varios taps de salida, unos elevadores y otros reductores de voltaje. El tap reductor (6.5 V de salida aproximadamente) alimenta al filamento calefactor. Los potenciales de los taps elevadores son rectificadas y llevados a un par de circuitos divisores de voltaje uno de los cuales servirá para alimentar los elementos del cañón de electrones y otro para alimentar las placas de deflexión.

En la figura C3 se presenta la interconexión de los elementos de la fuente y del tubo de rayos catódicos.

FUNCIONAMIENTO DEL TUBO DE RAYOS CATODICOS (TRC)

Controles de intensidad-enfoque-posición. - El diodo D1 tiene la función de permitir el paso de potenciales negativos al circuito divisor de tensión 1. Estos potenciales son aplicados al cátodo, reja de control, ánodo de enfoque y finalmente al ánodo acelerador. De acuerdo a la figura C3 al cerrar el interruptor sw1, ocurre lo siguiente:

- I. Circula una corriente a través del filamento calefactor el cual produce un efecto calorífico en su entorno.
- J. Como el cátodo tiene aplicado un potencial negativo elevado (de orden de los 1000 V) y se encuentra envolviendo al filamento calefactor se produce el efecto termoiónico, es decir, se empieza a formar una nube de electrones alrededor del cátodo.
- K. La reja de control tiene forma cilíndrica y en su interior se encuentra alojado el cátodo cuya función consisten en controlar la cantidad de electrones que abandonan el cátodo (control de intensidad). Para explicar este control considere el potenciómetro P1, observe que existen dos posiciones límite del deslizador del potenciómetro: en la posición a la reja de control tiene el mismo potencial que el cátodo por lo que en ese instante no existe campo eléctrico entre cátodo y reja y como la pantalla tiene un potencial positivo todos los electrones de la nube son atraídos por la pantalla; el segundo caso crítico se tiene

cuando el deslizador del potenciómetro se encuentra en la posición *b*. En este instante ya existe un campo eléctrico entre reja y cátodo por lo que

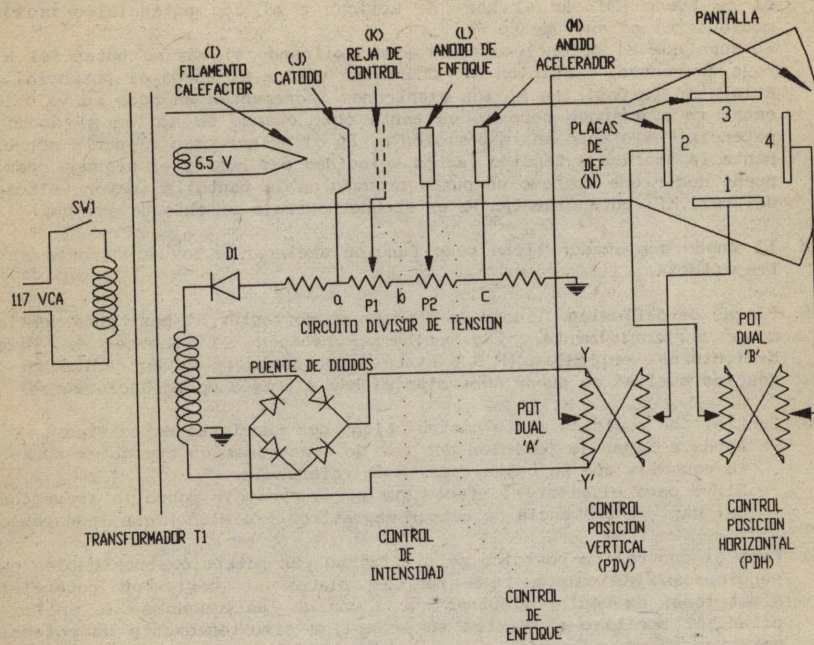


Figura C3

cuando el deslizador del potenciómetro se encuentra en la posición *b*. En este instante ya existe un campo eléctrico entre reja y cátodo por lo que se establece una corriente, misma que reducirá el número de electrones que lleguen a la pantalla, por lo que se producen los dos efectos importantes:

- Cuando la reja de control tiene aplicado el potencial que existe en *a*, llegan más electrones a la pantalla lo cual se traduce en un efecto luminoso intenso.
- Cuando tiene aplicado el potencial existente en *b* se reduce el número de electrones que llegan a la pantalla los cuales no llegan a producir un efecto visible sobre la pantalla:

Por lo anterior, se observa que el potenciómetro P₁ controla la intensidad del efecto luminoso.

- L. El ánodo de enfoque es un cilindro con un orificio en la parte central de sus caras planas. Se encuentra después de la reja de control y gracias a él se puede enfocar el haz. Se aplican a él dos potenciales críticos mediante el potenciómetro P₂.

Suponga que el potenciómetro P₁ está aplicando el máximo potencial a la reja de control (posición a). Cuando se aplica al ánodo el potencial que existe en la posición b, los electrones incrementan un poco su velocidad entre reja y ánodo pero no es tanta como cuando se aplica al ánodo el potencial existente en la posición c. En el primer caso el punto sobre la pantalla aparece extendido (menor velocidad del haz) y el segundo caso se puede decir que aparece un punto pequeño en la pantalla (mayor velocidad del haz). El potenciómetro P₂ es el que controla el enfoque del haz.

- M. El ánodo acelerador tiene como función acelerar a los electrones en su trayectoria.

- N. Placas de deflexión. Tienen la función de deflectar al haz tanto vertical como horizontalmente. Las primeras reciben el nombre de placas deflectoras verticales (P.D.V.). La importancia de éstas radica en que gracias a ellas se puede controlar el haz a través de potenciómetros.

- O. Control de posición. Este control tiene dos funciones específicas:
- Ayuda a fijar la posición del haz de electrones en cualquier punto de la pantalla que se desea tomar como referencia.
 - Sirve para eliminar el efecto que puede producir sobre la trayectoria del haz, la presencia de campos magnéticos y/o eléctricos indeseables.

Para el control de posición se utiliza un par de potenciómetros dobles cuya función es aplicar a cada par de placas de deflexión potenciales simétricos, es decir, mientras que a una de las placas se le aplica un potencial positivo a la otra se le aplica simultáneamente un potencial negativo.

Para mejor explicación se detallará el control de posición, haciendo referencia a la figura C3 con los potenciómetros duales A en las P.D.V. a los cuales se aplicarán los potenciales eléctricos.

Al mover los deslizadores del potenciómetro dual hacia la posición marcada con la letra Y', la placa 1 tiene aplicado un potencial negativo, mientras que en la placa 3 es positivo con lo cual esta última atrae al haz de electrones y la otra lo repele produciéndose con este método una manera más consistente de controlar el haz. En el caso contrario, cuando el deslizador del potenciómetro se encuentra en la posición Y, la placa 1 tiene aplicado ahora un potencial positivo mientras que la placa 3 tiene un potencial negativo. Por lo que ahora la placa 1 atraerá al haz y la 3 lo repelerá.

Con lo anterior se puede decir que se tiene controlada la posición del haz de la placa 1 a la 3 (desplazamiento vertical). El funcionamiento del control de posición horizontal es análogo al anterior sólo que en este caso se utiliza el potenciómetro doble B.

Oscilador de la base de tiempos (O.B.T)

El O.B.T. tiene la finalidad de producir un voltaje que aumente linealmente con el tiempo y luego regresar rápidamente a cero.

Este voltaje después de ser amplificado se aplica junto con su simétrico a cada una de las placas P.D.H., con lo cual se tiene sobre el eje horizontal una base de tiempos. De esta manera se puede representar la forma de cualquier señal de aplicada a las P.D.V. como una función del tiempo.

Considere que si se aplica a la placa H₁ un potencial negativo de 0.5 V, actúa sobre el haz una fuerza de repulsión de tal magnitud que desplaza al mismo 0.5 cm de su posición original sobre la pantalla, esto se muestra en la figura C4a.

Así mismo, cuando se aplica a la placa H₂ un potencial positivo de 0.5 V, atraerá al haz 0.5 cm, figura C4b. Como la fuerza es un magnitud vectorial cuando los potenciales eléctricos se apliquen simultáneamente a ambas placas, el haz será desplazado 1 cm a la derecha de su posición inicial figura C4c.

(a)

(b)

(c)

Figura C4

De acuerdo con lo anterior, se define la sensibilidad del osciloscopio como:

$$S = \frac{\text{Tensión Aplicada}}{\text{Distancia desplazada por el haz}} \left[\frac{\text{Volts}}{\text{cm}} \right]$$

ya que la diferencia de potencial (d.d.p.) que se aplica a las placas como excitación es de 1 V, la distancia desplazada por el haz es 1cm y la constante es el inverso de la sensibilidad esto es:

$$K = \frac{1}{S} = 1 \left[\frac{\text{cm}}{\text{Volts}} \right]$$

De modo que el desplazamiento del haz para cualquier d.d.p. será

$$DH = K \times (\text{d.d.p.})$$

BARRIDO. El concepto de barrido se refiere a la acción física del movimiento del haz de izquierda a derecha, cuando se aplican potenciales variables a las P.D.H..

Ejemplo. Si se aplica a la placa de deflexión horizontal H₁ una señal lineal $\psi(t) = -30t$ con una frecuencia de 60 Hz y a la placa H₂ una señal de $\psi(t) = 30t$ con la misma frecuencia, como las señales de voltaje son funciones del tiempo se determinará en la tabla C1 los valores de las tensiones en cada placa para distintos tiempos, así como la distancia que se desplaza el haz según actúen los voltajes.

TABLA C1

TIEMPO (ms) (V)	H1 V = - 30 t (V)	H2 V = 30t (V)	d. d. p. ENTRE PLACAS (V)	DISTANCIA DEZPLAZADA POR EL HAZ D=K (DDP) (cm)
1	- 0.03	0.03	0.06	0.06
2	- 0.06	0.06	0.12	0.12
3	- 0.09	0.09	0.18	0.18
4	- 0.12	0.12	0.24	0.24
5	- 0.15	0.15	0.30	0.30
6	- 0.18	0.18	0.36	0.36
7	- 0.21	0.21	0.42	0.42
8	- 0.24	0.24	0.48	0.48
9	- 0.27	0.27	0.54	0.54
10	- 0.30	0.30	0.60	0.60
11	- 0.33	0.33	0.66	0.66
12	- 0.36	0.36	0.72	0.72
13	- 0.39	0.39	0.78	0.78
14	- 0.42	0.42	0.84	0.84
15	- 0.45	0.45	0.90	0.90
16	- 0.48	0.48	0.96	0.96
16.66	- 0.50	0.50	1.00	1.00

Se observa en la figura C5 que para $t = 1$ ms la placa H₁ repele al haz 0.03 unidades y la placa H₂ lo atrae 0.03 unidades. Como están actuando simultáneamente, la distancia total desplazada por el haz es de 0.06 unidades. Nótese que existe una equivalencia de distancia a tiempo y que dicha constante tiene un valor determinado de tal manera que la distancia desplazada en t ms se puede expresar con la relación distancia-tiempo R como:

$$R = \frac{0.06}{1} \left[\frac{\text{cm}}{\text{mseg}} \right]$$

$$R = 0.06 * 10^3 = 60 \left[\frac{\text{cm}}{\text{seg}} \right]$$

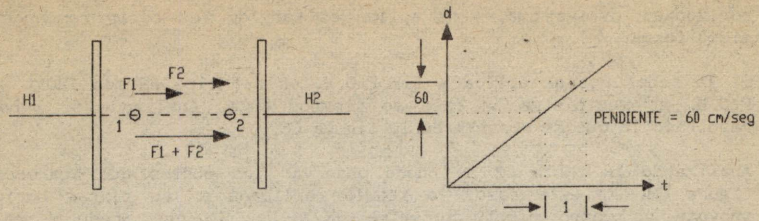


Figura C5

De lo anterior se verifica que una señal de voltaje lineal puede utilizarse como una base de tiempo.

SEÑALES VARIABLES CON EL TIEMPO

Para observar el trazo de cualquier señal variable con el tiempo, en la pantalla del osciloscopio, se considerará que la sensibilidad de las placas de deflexión vertical es la misma que las de las placas de deflexión

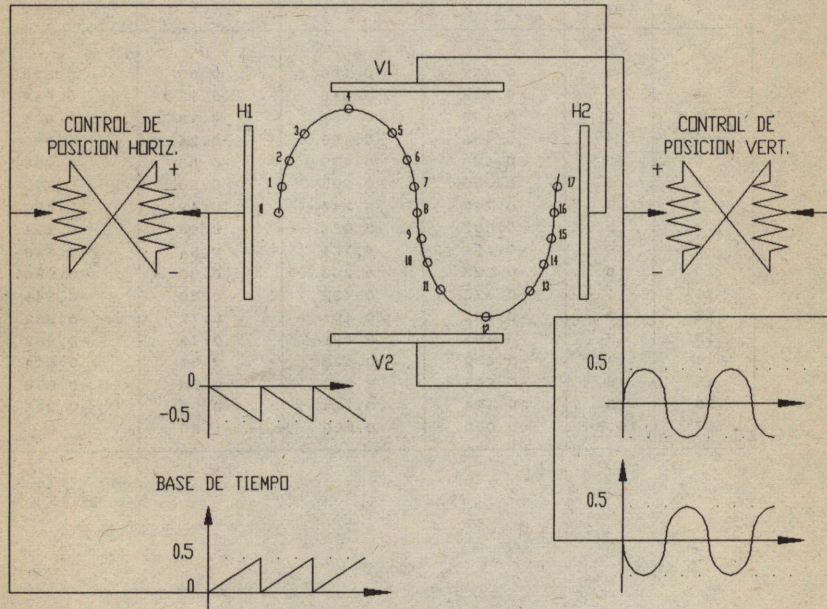


Figura C6

horizontal, a las cuales se aplica el barrido, es decir responden de la misma forma.

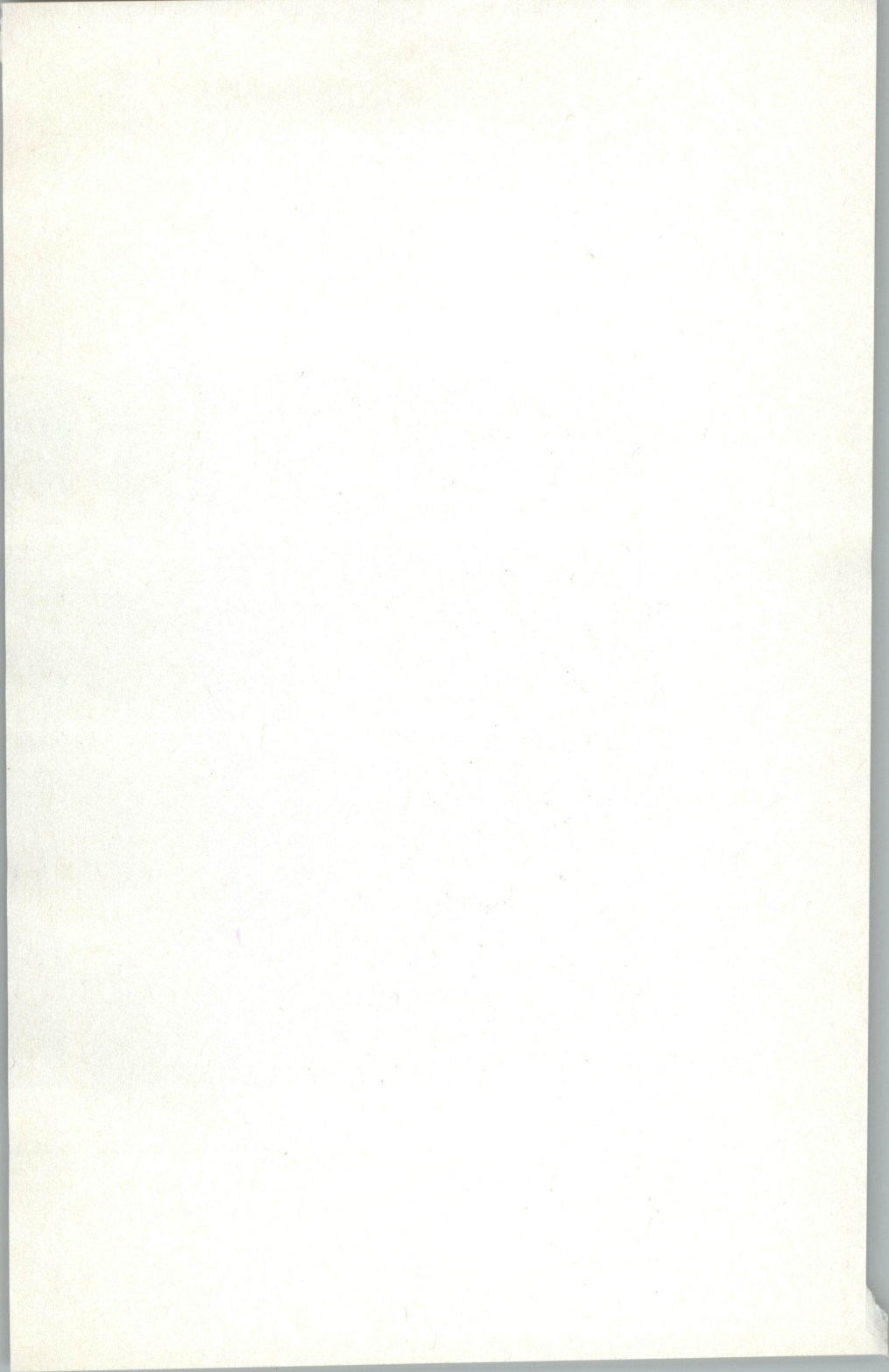
Si la señal que se aplica a las P.D.V. es del tipo $A_m \sin 120\pi t$ y en las P.D.H. se suministra la base de tiempos antes analizada se tendrá como resultado lo que se observa en la figura C6.

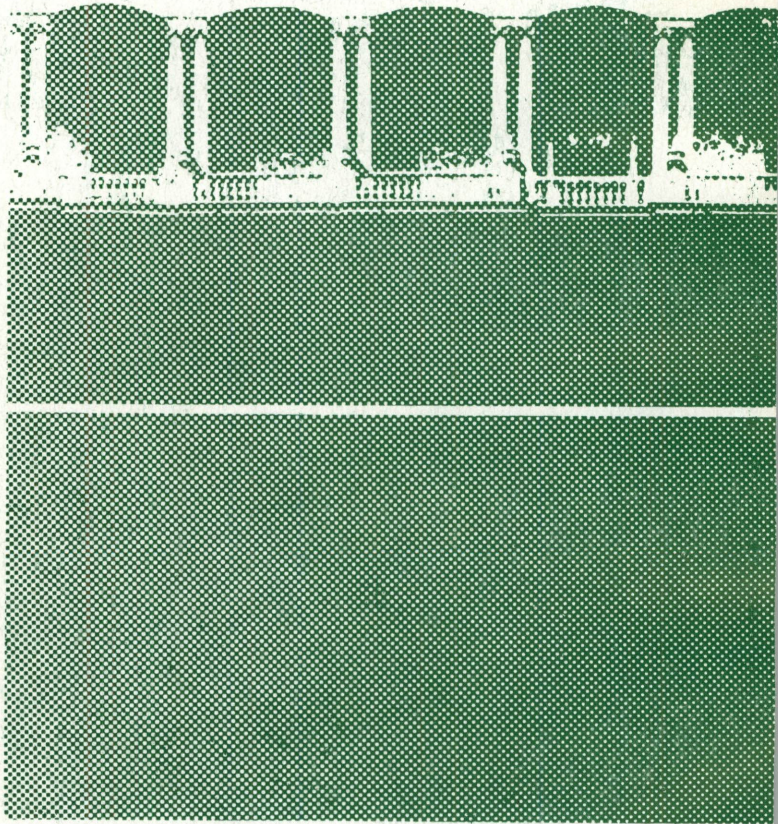
Analizando la tabla C2 se puede observar los puntos que aparecen en la figura C6. En este caso, la tensión aplicada a las placas horizontales provoca un campo eléctrico entre H_1 y H_2 , lo que produce una fuerza resultante sobre el haz en sentido horizontal. Simultáneamente el campo eléctrico entre las P.D.V. produce una fuerza en sentido vertical.

Finalmente el haz seguirá la trayectoria que describe la resultante entre ambas fuerzas vectoriales.

TABLA C2

POSICION	TIEMPO	0.5 SEN wt	-0.5 SEN wt	DISTANCIA HORIZONTAL	DISTANCIA VERTICAL
	(ms)	(V)	(V)	D = 0.06 (t) (cm)	D = 1 (d.d.p) (cm)
0	0	0	0	0	0
1	1	0.188	-0.188	0.06	0.376
2	2	0.342	-0.342	0.12	0.648
3	3	0.452	-0.452	0.18	0.904
4	4	0.499	-0.499	0.24	1.000
5	5	0.475	-0.475	0.30	0.950
6	6	0.385	-0.385	0.36	0.770
7	7	0.240	-0.240	0.42	0.480
8	8	0.062	-0.062	0.48	0.124
9	9	-0.124	0.124	0.54	-0.248
10	10	-0.293	0.293	0.60	-0.586
11	11	-0.422	0.422	0.66	-0.844
12	12	-0.491	0.491	0.72	-0.982
13	13	-0.491	0.491	0.78	-0.982
14	14	-0.422	0.422	0.84	-0.844
15	15	-0.293	0.293	0.90	-0.586
16	16	-0.124	0.124	0.96	-0.248
17	16.66	-0.000	0.000	1.00	0





FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA