



**GOBIERNO DE
MÉXICO**

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



DEPARTAMENTO ADSCRIPCIÓN

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
ELECTRICA Y ELECTRONICA**

Programa y Modalidad

**B. PROGRAMA PARA LA ELABORACION DE APUNTES,
LIBROS, OBJETIVOS EDUCACIONALES Y REACTIVOS DE EVALUACION**

MODALIDAD:

**B.1 ELABORACION DE APUNTES
REPORTE INTERMEDIO**

**MATERIA:
MEDICIONES ELÉCTRICAS**

Nombre del Docente:

M. en T. E. GABRIEL LOPEZ REYES

**No dictamen:
AS-1-056/2024**

Personas Revisoras:

**ING. CARLA JULIETA GARCIA FLORES
ING. JOSE LUIS AVILA GOMEZ
M. EN T. E. MARCO ANTONIO REYES GONZALEZ**

Fecha: 31 DE JULIO DEL 2024

B. PROGRAMA PARA LA ELABORACION DE APUNTES.**MATERIA: MEDICIONES ELECTRICAS****CLAVE DE LA ASIGNATURA: EDT-1021****SATCA: 2 - 3 – 5****CARRERA: INGENIERIA ELECTRONICA****4. Competencias a desarrollar.****Competencias específicas de la asignatura**

Conocer los conceptos básicos de medición, utilizar los instrumentos para la medición y el análisis de señales provenientes de circuitos eléctricos reales, simular y diseñar modelos esquemáticos de circuitos impresos.

Autor: Ing. Gabriel López Reyes**glopezr@toluca.tecnm.mx****gabomicros@gmail.com**

INDICE:**TEMA 1**

1. Conceptos básicos	9
1.1. Sistema de unidades, patrones y calibración	9
1.2. Concepto de medida	14
1.3. Precisión, exactitud y sensibilidad	17
1.4. Errores en mediciones y su reducción	18
1.5. Tipos de corriente eléctrica	22
1.6. Formas de onda	26
1.7. Frecuencia, período y amplitud	28
1.8. Valor promedio, valor máximo, valor pico a pico y valor eficaz	30
1.9. Normas de seguridad en la medición de variables eléctricas	33

TEMA 2

2. Instrumentos básicos y avanzados	39
2.1. Evaluación y comparación de medidores analógicos y digitales	39
2.1.1. Voltímetro	42
2.1.2. Amperímetro	46
2.1.3. Óhmetro	49
2.2. Operar y manejar los medidores analógicos y digitales en la medición de corriente y voltaje de c. a. y c. d.	53
2.3. Funcionamiento, operación y aplicación de otros instrumentos	57
2.3.1. Generador de señales	59
2.3.2. Osciloscopio analógico y digital	63

TEMA 3

3. Medición de parámetros	71
3.1. Medición y prueba de dispositivos	71
3.1.1. Resistencias	72
3.1.2. Inductancia y capacitancia	82
3.1.3. Mediciones con puentes	92
3.1.4. Prueba de dispositivos semiconductores	101
3.2. Medición de potencia y energía	106
3.2.1. Potencia y energía en c. d.	106
3.2.2. Potencia y energía en c. a.	107
3.3. Efectos de carga de los instrumentos en las mediciones	109
3.3.1. Impedancia de los instrumentos de medición	110
3.3.2. Sondas o puntas de prueba	111

TEMA 4

4. Instrumentos especiales y virtuales	116
4.1. Analizador de estados lógicos	116
4.2. Analizador de espectros	118

4.3. Equipos especiales de medición.....	120
4.3.1. Graficadores.....	121
4.3.2. Trazador de curvas.....	122
4.3.3. Luxómetro.....	125
4.3.4. Tacómetro.....	127
4.3.5. Medidores de campo magnético.....	129
4.3.6. Analizador de Fourier.....	131
4.4. Introducción al manejo de instrumentos virtuales.....	133

Tema 5

5. Diseño y elaboración de tarjetas de circuitos impresos.....	138
5.1. Introducción a los circuitos impresos.....	138
5.2. Diseño de PCB mediante software.....	140
5.3. Técnicas básicas para la construcción de circuitos impresos.....	146

Índice de Tablas y Figuras

Tablas:

TEMA 1 Conceptos Básicos

Tabla 1.1.1. Sistema internacional de unidades.....	9
Tabla 1.1.2. Unidades utilizadas en ingeniería eléctrica y electrónica.....	10
Tabla 1.1.3. Potencia de diez.....	10

TEMA 2 Instrumentos Básicos y Avanzados

Tabla 2.1.1. Valores de la resistencia interna del miliamperímetro D'Arsonval.....	42
Tabla 2.3.1. Tipos de osciladores.....	57

TEMA 3 Medición de Parámetros

Tabla 3.1.1. Resistividades de diferentes materiales.....	72
Tabla 3.1.2. Rangos de diferentes resistencias.....	73
Tabla 3.1.3. Tabla de código de colores de resistencias de carbón.....	75
Tabla 3.1.4. Tabla resumen del circuito mixto.....	80
Tabla 3.1.5. Valores de permitividad relativa o constantes dieléctricas.....	88
Tabla 3.1.6. Lectura de los capacitores de cerámica.....	91
Tabla 3.1.7. Tabla de valores de voltaje umbral o de rompimiento de algunos diodos...	102

TEMA 4 Instrumentos Especiales y Virtuales.

Tabla 4.3.1. Cantidades de lux en diferentes zonas.....	126
Tabla 4.4.1. Instrumentación virtual Vs instrumentación tradicional.....	135

TEMA 5 Diseño y Elaboración de Tarjetas de Circuitos Impresos.

Tabla 5.1.1. Corrientes recomendadas en Amperes-Grosor.....	140
---	-----

Índice de Figuras

TEMA 1

Conceptos Básicos

Figura 1.2.1. Escala de medición de un multímetro analógico.....	15
Figura 1.2.2. Elementos funcionales de un instrumento.....	15
Figura 1.2.3. Multímetro analógico.....	16
Figura 1.2.4. Multímetro digital.....	16
Figura 1.5.1. Circuito cerrado en corriente continua y alterna.....	24
Figura 1.5.2. Circuitos ejemplo 1, 2 y 3.....	25
Figura 1.6.1. Forma de onda constante con respecto al tiempo y en el osciloscopio...	26
Figura 1.6.2. Onda cuadrada, vista en el osciloscopio.....	26
Figura 1.6.3. Onda diente de sierra.....	27
Figura 1.6.4. Forma de onda senoidal vista en el osciloscopio.....	27
Figura 1.6.5. Ruido eléctrico o simplemente ruido.....	27
Figura 1.6.6. Señal de ancho de pulso o PWM.....	27
Figura 1.6.7. Representación de periodo y frecuencia.....	28
Figura 1.8.1. Curva senoidal con valor pico, valor pico a pico, valor RMS o efectivo.	31
Figura 1.8.2. Señal ejemplo.....	31

TEMA 2

Instrumentos Básicos y Avanzados

Figura 2.1.1. Galvanómetro D'Arsonval.....	40
Figura 2.1.2. Regla de la mano derecha.....	40
Figura 2.1.3. Diagrama a bloques de un multímetro digital.....	41
Figura 2.1.4. Resistencia limitadora con el miliamperímetro.....	42
Figura 2.1.5. Voltímetro básico de c. d.....	42
Figura 2.1.6. Voltímetro de c. d. y multi-rango.....	43
Figura 2.1.7. Voltímetro de rango múltiple.....	44
Figura 2.1.8. Rectificadores de media onda y onda completa.....	45
Figura 2.1.9. Rectificación de media onda y onda completa.....	45
Figura 2.1.10. Amperímetro de c. d. y su arreglo shunt.....	46
Figura 2.1.11. Amperímetro de c. d. multi-rango.....	47
Figura 2.1.12. Amperímetro en derivación Ayrton o derivación universal.....	48
Figura 2.1.13. Medicion de resistencia.....	49
Figura 2.1.14. Óhmetro tipo serie.....	49
Figura 2.1.15. Óhmetro tipo derivación.....	51
Figura 2.2.1. Multímetro analógico.....	53
Figura 2.2.2. Rangos establecidos en diferentes escalas.....	54
Figura 2.2.3. Escalas de un multímetro analógico.....	55
Figura 2.2.4. Medicion de voltaje en c. d., en c. a y en mV en ambas.....	56
Figura 2.2.10. Amperímetro conectado en serie con el circuito.....	56
Figura 2.3.1. Diagrama a bloques de un generador de funciones analógico.....	59
Figura 2.3.2. Generador de funciones de una marca comercial.....	62
Figura 2.3.3. Diagrama a bloques de un osciloscopio típico.....	65
Figura 2.3.4. Partes de un osciloscopio de 2 Canales.....	66
Figura 2.3.5. Punta de un osciloscopio básico.....	67

TEMA 3

Medición de Parámetros

Figura 3.1.1. Tipos de resistencia.....	73
Figura 3.1.2. Símbolos de resistencias.....	74
Figura 3.1.3. Medición de resistencia con multímetro digital.....	76
Figura 3.1.4. Resistencias en serie y divisor de voltaje.....	76
Figura 3.1.5. Resistencias en paralelo y divisor de corriente.....	77
Figura 3.1.6. Circuito mixto arreglo serie-paralelo.....	78
Figura 3.1.6.1. Descomposición del circuito serie paralelo.....	79
Figura 3.1.6.2. Descomposición del circuito en resistencias equivalentes.....	79
Figura 3.1.6.3. Corriente y resistencia totales.....	79
Figura 3.1.7. Tipos y símbolos de bobinas o inductores.....	82
Figura 3.1.8. Multímetro LCR, medición de inductancias y capacitancias.....	85
Figura 3.1.9. Bobinas en serie y paralelo.....	86
Figura 3.1.10. Arreglo serie paralelo de inductores.....	86
Figura 3.1.11. Símbolos y tipos de capacitores.....	89
Figura 3.1.12. Capacitores en serie y paralelo.....	90
Figura 3.1.13. Arreglo serie - paralelo de capacitores.....	90
Figura 3.1.14. Puente de Wheatstone, equivalente Thévenin.....	93
Figura 3.1.15. Puente de c. a.....	95
Figura 3.1.16. Puente de Maxwell.....	96
Figura 3.1.17. Puente de Hay.....	97
Figura 3.1.18. Puente de Schering.....	99
Figura 3.1.19. Puente de Wien.....	100
Figura 3.1.20. Símbolo, polarización y curva del diodo, polarización directa e inversa	102
Figura 3.1.21. Símbolo, polarización del transistor BJT, polarización directa e inversa.	103
Figura 3.1.22. Transistor efecto de campo FET o JFET, canal n y canal p.....	105
Figura 3.1.23. Transistor efecto de campo MOSFET, tipo empobrecimiento y agotamiento.....	105
Figura 3.2.1. Arreglo de la medición en corriente directa c. d.....	107
Figura 3.2.2. Wattmetro, medidor de potencia monofásica de c. a.....	108
Figura 3.3.1. Modelos de voltímetro y amperímetro en la medición.....	110
Figura 3.3.2. Diagrama eléctrico de una punta de prueba de un osciloscopio básico.....	112
Figura 3.3.3. Puntas de generador, cable de extensión y punta de osciloscopio.....	112
Figura 3.3.4. Puntas o sondas diferenciales.....	112

TEMA 4

Instrumentos Especiales y Virtuales

Figura 4.1.1. Diagrama a bloques de un analizador de estados lógicos.....	117
Figura 4.1.2. Analizador de estados lógicos típico y una aplicación.....	117
Figura 4.1.3. Pantalla de un analizador lógico.....	118
Figura 4.2.1. Analizador de espectros.....	119
Figura 4.2.2. Descomposición de una señal en sus espectros.....	120
Figura 4.3.1. Gráfica de una señal senoidal de algún software.....	122
Figura 4.3.2. Calculadora gráfica.....	122

Figura 4.3.4. Curva del diodo en un trazador de curvas.....	123
Figura 4.3.5. Curvas características de un amplificador BJT.....	123
Figura 4.3.6. Curvas características de un amplificador JFET.....	124
Figura 4.3.7. Trazador de curvas Tektronix 577-177-D1.....	124
Figura 4.3.8. Trazador de curvas Tektronix, obsoleto.....	124
Figura 4.3.9. Trazador de curvas moderno UCE-CT220L.....	125
Figura 4.3.10. Magnitudes de lux.....	126
Figura 4.3.11. Concepto de lux y candelas.....	127
Figura 4.3.12. Luxómetros, Fluke 941 y portable.....	127
Figura 4.3.13. Tacómetro mecánico.....	128
Figura 4.3.14. Tacómetros que funciona por campo magnético.....	128
Figura 4.3.15. Tacómetros láser comerciales.....	129
Figura 4.3.16. Dirección de las líneas de campo.....	130
Figura 4.3.17. Líneas de campo magnético.....	130
Figura 4.3.18. Medidor de campo magnético de efecto Hall.....	130
Figura 4.3.19. Zona magnética.....	131
Figura 4.3.20. Transformada de Fourier e inversa.....	132
Figura 4.3.21. Analizador de Fourier comercial.....	132
Figura 4.4.1. Ambiente virtual LabVIEW.....	133
Figura 4.4.2. Programa de un termómetro en LabVIEW.....	135
Figura 4.4.3. Circuito en proteus con 2 Instrumentos.....	136

TEMA 5

Diseño y Elaboración de Tarjetas de Circuitos Impresos.

Figura 5.2.1. Pantalla menú de proteus Desing Suite 8.9.....	141
Figura 5.2.2. Schematic Capture.....	141
Figura 5.2.3. Con las librerías se dibuja el circuito con Place y Library.....	142
Figura 5.2.4. Circuito elegido en esquemático.....	142
Figura 5.2.5. PCB Layout.....	142
Figura 5.2.6. Ambos lados del circuito.....	143
Figura 5.2.7. Draw Object.....	143
Figura 5.2.8. Ajuste de pistas.....	144
Figuras 5.2.9. 3D Visualizar en ambas caras.....	144
Figura 5.2.10. Dimension Mode.....	144
Figura 5.2.11 Print Layout.....	145
Figura 5.3.1. Circuito a fabricar el PCB.....	147
Figura 5.3.2. Medicion de componentes.....	148
Figura 5.3.3. Punzonado y ataque con cloruro férrico.....	148
Figura 5.3.4. PCB terminado.....	148
Figura 5.3.5. Método de serigrafía.....	149
Figura 5.3.6. Tipos de puntas de cautín de estación, cautín tipo lápiz.....	151
Figura 5.3.7 Técnica de soldadura perfecto.....	151
Figura 5.3.8. Proceso de un buen soldado.....	152

TEMA 1

Conceptos Básicos

1.1. Sistema de Unidades, Patrones y Calibración.

Los sistemas de unidades se han desarrollado a través el tiempo dando origen a magnitudes físicas que hoy en día se utilizan en la mayoría de las áreas de la ciencia y tecnología o donde exista una medición eléctrica o física, primero se debe de saber que es una magnitud física y aprender los sistemas de unidades básicos.

- **Magnitud física**, es la cantidad o propiedad físicas medible de un sistema físico al que se le asigne un valor como resultado de una medición o una relación de medida usando un Patrón que defina esa magnitud y tomando como unidad la cantidad de esa propiedad que posea el objeto patrón,
Ejemplo, El patrón principal de longitud es el metro en el sistema internacional de unidades y es medible con un flexómetro.
- **Unidad.** – Magnitud que se diferencia una con otra, ejemplo un peso, dos centavos.
- **Sistema de unidades (SI), El sistema Internacional de unidades**, es un conjunto de definiciones de unidades de medida el cual es consistente con patrones de medición, se ha normalizado, estandarizado y es uniforme; se ha modernizado este sistema métrico decimal y es usado en la actualidad con fines tecnológicos y científicos, sus unidades básicas fundamentales son 7, su origen es el MKS:
- **El (MKS) Metro, Kilogramo, Segundo, Amperio, Kelvin, Candela y el Mol.**
- **Otros Sistemas de Unidades.** –Las tres unidades fundamentales se encuentran también en el sistema inglés como son: el pie (ft = 12 pulgadas); la libra masa (lb = 0.45359237 Kg.), el segundo, la pulgada que es un doceavo del pie (25.4 mm), Por lo que existen las conversiones entre estos sistemas.

Las expresiones de este sistema se muestran en la tabla 1.1.1.

Tabla 1.1.1. Sistema internacional de unidades [1].

	Cantidad	Nombre	Símbolo	Relación de medida
1	Longitud	El metro	m	1m = 100cm
2	Masa	El Kilogramo	kg	1 kg = 1000 gr
3	Tiempo	El Segundo	s	1 s = 1/60 de minuto
4	Corriente eléctrica	El Ampere	A	1 A = 1000 mA
5	Temperatura termodinámica	Kelvin	° k	1 °k = 272.15 ° C
6	Cantidad de sustancia	El mol	mol	1 mol = 6.022x 10 ²³
7	Intensidad Luminosa	La Candela	cd	1 cd = 800 °C

Las variables utilizadas en ingeniería eléctrica y electrónicas se pueden ver en la tabla 1.1.2 y las potencias de diez (tabla 1.1.3) más usadas en conceptos de electricidad y electrónica y son:

Tabla 1.1.2. Unidades utilizadas en ingeniería eléctrica y electrónica [1].

	Cantidad	Unidad	Símbolo	Relación de medida patrón
1	Longitud	metro	m	1m = 1000mm
2	Masa	Kilogramo	Kg	1 kg = 1000 gr
3	Tiempo	Segundo	S	1 s = 1/60 de minuto
4	Corriente	Amperio	A	1 A = 0.99985 A mA
5	Temperatura	Grados C y K	C, K	1 °k = 272.15 ° C
6	Voltaje	Voltio	V	1 V = 1.00034 V
7	Resistencia	Ohmio	Ω	1 ohm = 1.00049 Ω
8	Capacitancia	Faradio	F	1F = 0.99951 F
9	Inductancia	Henrio	H	1h = 1.00049 H
10	Energía	Julio	J	1 J = 1.00019 J
11	Potencia	Vatio	W	1 W = 1.00019 W
12	Frecuencia	Hertz	Hz	1 Hz =
13	Carga	Coulomb	C	1 C =0.99985 C
14	Fuerza	Newton	N	1 N = 1 kg·m·s ⁻²
15	Campo Magnético	webwer	Wb	1 Wb = 10 ⁸ Maxwell

Existen magnitudes derivadas del sistema internacional de unidades como son: área, volumen, velocidad, aceleración, trabajo, fuerza, densidad entre otras, que se pueden obtener en los libros de física, solo se trabajara en las magnitudes eléctricas.

Tabla 1.1.3. Potencia de diez [1].

Multiplicador	prefijo	Abreviatura	Metros
10 ²⁴	yottametro	Ym	1000 000 000 000 000 000 000 000
10 ²¹	zettametro	Zm	1000 000 000 000 000 000 000 000
10 ¹⁸	exametro	Em	1000 000 000 000 000 000 000
10 ¹⁵	petametro	Pm	1000 000 000 000 000
10 ¹²	Tera metro	Tm	1000 000 000 000
10 ⁹	gigametro	Gm	1000 000 000
10 ⁶	megametro	Mm	1000 000
10 ³	kilometro	Km	1000
10 ²	hectometro	hm	100
10	decametro	dam	10
10 ⁻¹	decimetro	dm	0.1
10 ⁻²	centimetro	cm	0.01
10 ⁻³	milimetro	mm	0.001
10 ⁻⁶	micrometro	μ	0.000 001
10 ⁻⁹	nanometro	nm	0.000 000 001
10 ⁻¹²	picometro	pm	0.000 000 000 001
10 ⁻¹⁵	femtometro	fm	0.000 000 000 000 001
10 ⁻¹⁸	attometro	am	0.000 000 000 000 000 001

Cada unidad física se define en forma de notación científica de acuerdo con la tabla 1.1 en términos de diez, solo cambia la variable [1].

Ejemplo 1. - $10 \text{ k ohmios} = 1 \times 10^3$; $1 \text{ microfaradio} = 1 \times 10^{-6}$; $1 \text{ miliamperio} = 1 \times 10^{-3}$;

$1600 \text{ MHz} = 1.6 \text{ GHz}$; $6.3 \text{ mA} = 0.0063 \text{ A}$; $5 \text{ H} = 5000 \text{ mH}$; $5.4 \text{ pJ} = 0.0000054 \text{ J}$ y así se pueden hacer varias conversiones con diferentes variables.

Ejemplo 2. – Calcule 30 minutos en segundos.

$$\text{Solución: } \left(\frac{30 \text{ min}}{1} \right) \left(\frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \right) = 1800 \text{ seg.}$$

Ejemplo 3. - Convierta 1700 metros a kilómetros.

$$\text{Solución: } \left(\frac{1700 \text{ m}}{1} \right) \left(\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \right) = 1.7 \text{ km.}$$

1.1.1. PATRONES BASICOS EN EL CONOCIMIENTO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA.

Cada variable se define de acuerdo con un patrón establecido por las normas internacionales de medida, los cuales se encuentran en laboratorios nacionales universidades y centros de investigación, en México se encuentran en el CENAM, Querétaro, en Europa algunos patrones están en la Oficina Internacional de pesas y medidas en Sèvres, cerca de Paris y en diferentes laboratorios de países del primer mundo.

Patrón de medición: es la representación física de una unidad de medición, que incluye constantes físicas y atómicas de cada variable.

La Clasificación de los patrones se basan en:

- **Patrones internacionales.**
- **Patrones Primarios.**
- **Patrones secundarios y**
- **Patrones de trabajo.**

Patrón internacional: se encarga de mediciones absolutas con mayor exactitud.

Primarios: Representan unidades fundamentales, unidades mecánicas y eléctricas derivadas, su función es la calibración de patrones secundarios.

Secundarios: Patrones básicos de referencia usados en laboratorios industriales de medición, para calibración y comparación.

De Trabajo: Se utilizan para verificar y calibrar la exactitud y comportamiento de las mediciones en aplicaciones industriales.

PATRON DE VOLTAJE. – Uno de los primeros patrones fue el patrón saturado o celda patrón, dependiente de la temperatura, se relaciona con tiempo/frecuencia y su voltaje de salida es: $-40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ a un valor nominal de 1.01858 V.

Actualmente el patrón secundario es aceptado como son las celdas Weston saturadas y no saturadas, la primera tiene un dispositivo y un electrodo negativo de amalgama de cadmio en una solución de sulfato de cadmio en un envase de vidrio en forma de H dando un valor de 1.01858 V.

PATRON DE CORRIENTE. En un principio se hicieron mediciones con un conductor de longitud infinita, con 2 conductores paralelos produciendo una fuerza de 2×10^{-7} Newtons por metro de longitud, después en 1948 se utilizó la balanza de corriente y por acuerdo internacional se le llamo *ampere internacional*, se basa en un depósito como una corriente que deposita la placa metálica a una razón de 1.118 mg/seg a partir de una solución de nitrato de plata, el ultimo experimento se reemplazó por una balanza de corriente la cual pesa la fuerza ejercida entre 2 bobinas que conducen una corriente y el resultado es un valor de $1 \text{ A} \approx 0.99985 \text{ mA}$ aceptada a nivel internacional.

PATRON DE RESISTENCIA. – Es un patrón primario de valor absoluto de 1Ω ohm, la cual es una resistencia de patrón de una bobina de alambre con aleación de *manganina*, con elevada resistividad y bajo coeficiente de temperatura-resistencia, en un depósito de doble pared, evitando cambios en la presión atmosférica, con 4 o 5 resistencias de 1Ω en su interior, con duración de varios años. También existe un patrón secundario llamado patrón de resistencia de transferencia con estabilidad y temperatura en temperatura estable.

$$R_t = R_{25^\circ\text{C}} + \alpha (t - 25) + (t - 25)^2$$

Donde R_t = resistencia a temperatura ambiente,

$R_{25^\circ\text{C}}$ = Resistencia a 25°C y

$\alpha = 10 \times 10^{-6}$ y $\beta = -3 \times 10^{-7}$ y -6×10^{-7} rango de variación.

Este tipo de patrón se encuentra en laboratorios especializados para uso industrial.

PATRON DE INDUCTANCIA. – el patrón de inductancia es del tipo primario y es llamado el patrón Campbell de inductancia mutua y también aplica a inductancia mutua y la autoinductancia, se encuentran disponibles a nivel comercial para valores prácticos, variables y fijos, desde valores de $100 \mu\text{H}$ hasta 10H con exactitud del 1%,

PATRON DE CAPACITANCIA. – Existe el puente conmutable de Maxwell, donde la capacitancia es calculada con ramas resistivas del puente y a una frecuencia de conmutación en c. d. y de ahí la capacitancia patrón es construida con placas metálicas con núcleo de aire como dieléctrico, la NBS tiene el banco de capacitores de aire patrones los cuales son utilizados en los patrones secundarios y de trabajo en sus laboratorios a través del puente de Schering con el 1 % de exactitud, hay patrones de capacitores con dieléctricos solidos como son mica-plata.

PATRON DE TIEMPO. – Este patrón tiene que ver con la rotación de la tierra es a través del tiempo solar medio, un día solar es el promedio de los 365 días de un año y un segundo solar es $1/86400$ de un día solar medio el cual no es uniforme. Los patrones actuales de tiempo es un Reloj de cesio establecido como patrón de precisión y es una frecuencia de 3.579545 MHz utilizada en las vías terrestres y de microondas.

Existen otros patrones de tiempo como son los resonadores atómicos que dan una unidad atómica de tiempo establecido por el comité Internacional de pesas y medidas el cual ha definido al segundo en términos de frecuencia del átomo de cesio con un valor de 9 192 631 770 Hz. Sin perturbaciones de campos externos que pueden alterar la medición.

PATRON DE MASA. - En el sistema SI es el Kilo gramo ($1/10 \times 10^8$) de precisión y es un múltiplo del gramo, se define como la masa de un metro cubico de agua a su temperatura de máxima densidad de 4 °C (Cilindro de aleaciones de platino e iridio) [2][3].

Tarea 1.- Realizar ejercicios del capítulo 1 de física para la ciencia y tecnología de Tipler-Mosca de unidades y conversiones entre el MKS y El CGS.

Tarea 2.- Realizar un ensayo o diapositiva o hoja en word, en forma individual o por equipo Uno de los patrones de las variables eléctricas y electrónicas, de masa, longitud y volumen, o cualquier variable afín a la electrónica y su calibración para discusión en la clase.

1.2. Concepto de Medida.

En el uso de circuitos eléctricos y electrónicos siempre es necesario el uso de mediciones e instrumentos de medición para tener la referencia de los parámetros de voltaje, corriente y resistencia que son los parámetros usados en una escala de medición como se ve en la figura 1.2.1, con arreglos de circuitos que hacen que la medición sea efectiva, aunque a veces es necesario usar otros parámetros y otros instrumentos, es por lo que se definirán los conceptos más importantes en el uso de las mediciones eléctricas, como es medida, medición y otros conceptos involucrados en la tecnología eléctrica y electrónica [2][3].

- **Medida.** Es el número de unidades de una propiedad física.
- **Medición.** Es el proceso de asignar un número a una propiedad física como es: temperatura, presión, corriente eléctrica, voltaje entre otras.
- **Instrumento de medición.** – Es el dispositivo que sirve para determinar el valor medido o magnitud de un variable.
- **Error en la medición.** - Es la diferencia algebraica entre el valor medido y el valor real de la medida.
- **Patrón de referencia.** – Es todo instrumento que tiene exactitud, precisión, y una buena rastreabilidad de la variable medida en referencia a una medida internacional.
- **Calibración.** – Es el proceso por el cual se compara la exactitud de un instrumento por comparación de un patrón de referencia.
- **Resolución.** – Es la mínima unidad discernible sobre el mecanismo de indicación de un instrumento.
- **Rastreabilidad.** – Es la característica de un instrumento de medición, de contar con registros de calibración que puedan seguir hasta parones internacionales asentados.
- **Rango.** – Se dice que es un rango diferencial establecido medible de un punto a otro en una escala establecida.
- **Alcance (Span)** Es el rango superior medible menos el rango inferior medible de una variable.
- **Repetibilidad.** – Capacidad de un instrumento, sistema o método de proporcionar prestaciones idénticas o resultados en instantes sucesivos.
- **Repetitividad.** – Es la habilidad de un instrumento de producir la misma lectura al efectuar varias mediciones de esta.
- **Especificaciones.** – Es la descripción escrita de la capacidad, calidad y tamaño en general del instrumento.
- **Estabilidad.** – Es la capacidad de mantener su comportamiento, durante toda su vida del instrumento, esta evaluada contra tiempo, temperatura, humedad, precisión, entre otros factores. Si un instrumento tiene estabilidad perfecta, no sería necesaria su calibración.
- **Tiempo de respuesta.** – Es el tiempo transcurrido desde que se aplica la variable física del instrumento hasta la entrega de una lectura en forma analógica o digital.
- **Impedancia de entrada.** - Es el efecto de carga de un instrumento sobre la variable física medible.
- **Intervalo de operación.** - Es el intervalo de lectura que mide el instrumento en sí.
- **Nivel de Ruido.** – Es el ruido electrónico que detecta un instrumento producido por cargas eléctricas en la medición, se le conoce como ruido Shockley.

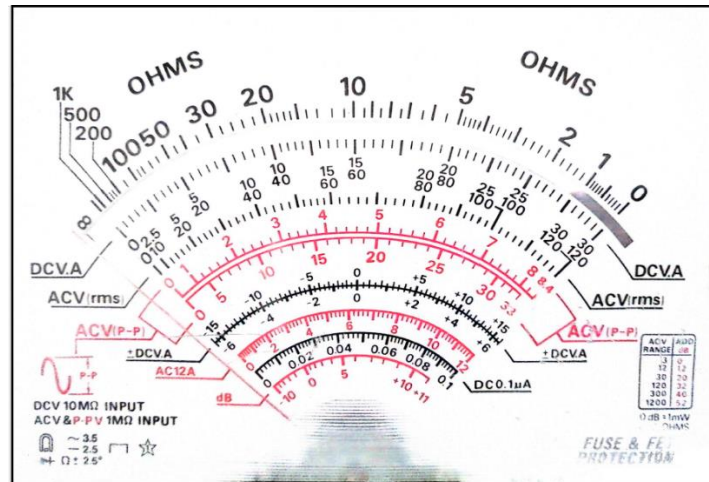


Figura 1.2.1. Escala de medición de un multímetro analógico.

1.2.1. Elementos Funcionales de un Instrumento.

Las partes de un instrumento de medición de variables eléctricas y electrónicas puede variar de acuerdo con diferentes puntos de vista de los autores, pero su esencia sigue siendo un bloque funcional internacional dada por cada fabricante, en la figura 1.2.2 se muestran estos bloques, siendo el voltaje, corriente, resistencia, capacitancia, inductancia las variables eléctricas más importantes

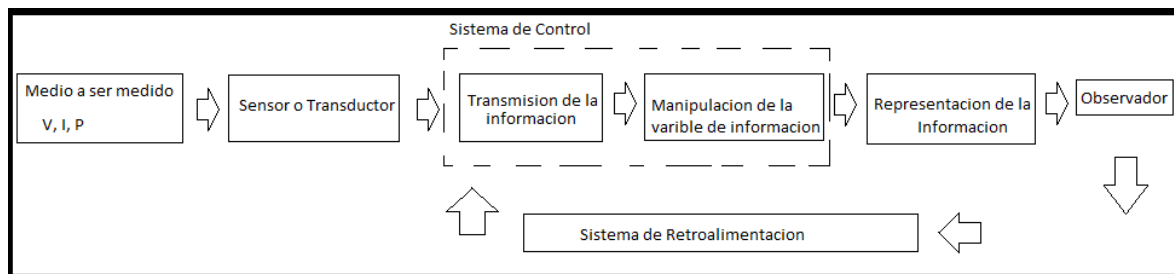


Figura 1.2.2. Elementos funcionales de un instrumento.

Variable para medir. - Es la variable física para medir como es: voltaje, corriente, potencia o resistencia eléctrica, entre otras.

Transductor. - Es un dispositivo capaz de convertir una energía en otra.

Sensor. - Recibe la energía del medio y produce una salida proporcional a la cantidad medida, existe sensor estandarizado y sensor instrumentado, el primero se compara con variables medibles de voltaje y corriente (5V, 10V, 12 V 24V...100V, +/- 10 V. +/- 15 V, o potencia eléctrica; (4mA, 20 mA)) y el segundo se crea utilizando instrumentación industrial electrónica. (Termopares, termocuplas, puentes de Wheatstone, Wien entre otros).

Transmisión de información. - Es el medio que lleva la señal a los dispositivos.

Manipulación de la variable. - Es el elemento que produce un cambio en el valor numérico de acuerdo con una regla definida.

Representación de la información. - Se representa de 2 formas, para un observador humano (Código ASC II y lenguajes de alto nivel) o para otro sistema (código Hexadecimal, binario, octal, BCD, y otros códigos).

Para un multímetro analógico el sistema de control de medición es un conjunto de arreglos de circuitos serie- paralelo que manipulan las variables para ser representadas en forma de aguja que indica el valor patrón de la variable de voltaje, corriente o resistencia. Como se muestra en la figura 1.2.3.

En el multímetro digital los circuitos de control y manipulación son circuitos digitales como convertidores analógico-digital ADC que se procesan a través de un microprocesador y muestran la variable en forma numérica. Como se muestra en la figura 1.2.4.



Figura 1.2.3. Multímetro analógico.



Figura 1.2.4. Multímetro digital.

Tarea 3.- Dibujar y describir a bloques las partes de un instrumento de medición ya sea un multímetro, un wattmetro, amperímetro, capacímetro u otro de la tabla 1.1.2.

1.3. Precisión, Exactitud y Sensibilidad.

Todo instrumento tiene características significativas de las cuales dependen la confiabilidad de la medición, correcta conexión del circuito a medir, se deben de conocer los siguientes conceptos como son:

- **Precisión**
- **Exactitud y**
- **Sensibilidad**

Precisión. – (Precision) Es el grado de repetitividad de indicación en la escala de un instrumento, dependiendo del número de lecturas, de la resolución y estabilidad del instrumento, se dice que es legible su comprensión.

Exactitud. – (Accuracy) Es la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero de una medición o sea es el grado de aproximación de la medida dada por el instrumento respecto al valor real establecido por un patrón de referencia,

Se debe de tener en cuenta la medición expresada en porcentajes de incertidumbre.

Sensibilidad. – (Sensitivity) Es la relación de lectura legible de salida respecto al cambio de respuesta de la entrada o variable medida.

Es la pendiente de la curva de calibración, en general a la más pequeña vibración que responde el instrumento, como se puede observar en un multímetro analógico según figura 1.2.1 a la respuesta de la aguja de medición.

Actividad 4.- Realizar un resumen de manera individual en donde se enfatice en que parte de la medición con el instrumento de voltaje, corriente se pueden ver las variables de **precisión, exactitud y sensibilidad**. [2][3].

1.4. Errores en Mediciones y su Reducción.

Los errores se presentan en todos los experimentos y en especial en las mediciones con instrumentos de variables eléctricas, son inherentes al acto mismo de la medición con las siguientes características:

- No se puede obtener la exactitud perfecta
- Registros de datos en forma correcta
- Estimación de la precisión para la eliminación de errores y
- La creación de estadísticas para uso técnico- científico dan al instrumento un valor agregado en la medición
- Evaluación de la magnitud de precisión y exactitud las cuales son fuente de errores.

Para la reducción de errores se debe de:

- Llevar un registro de datos a medir en una bitácora o informe con fecha, diagramas, equipos y números de serie.
- Eliminación de malos hábitos de recabar información errónea en papel borrador o documento provisional.
- Debe de ser estrictamente en una hoja de registro de datos.
- Generar las estadísticas deseadas con los datos en los registros deseados y cálculo de ellas.
- Conclusiones y observaciones de los resultados detallando procedimiento, análisis y estimación de errores.
- Estar consciente de la incertidumbre del resultado final sobre el método de medición en base a una muestra de datos y factores de disturbio.
- Para realizar un estimativo de la precisión es necesario hacer el cálculo del **Valor medio o valor promedio** para ilustrar gráficamente la desviación de la lectura del valor medio, y así observar la diferencia entre exactitud y precisión.

Los tipos de errores en la toma de la medición son:

A. Error porcentual. es la desviación de la exactitud con respecto al valor medido o real.

$$\text{error porcentual} = \frac{\text{valor verdadero} - \text{valor medido}}{\text{valor verdadero}} \times 100 \%$$

B. Errores Humanos. Son los que se provocan al tomar la lectura de la medición, selección del rango erróneo, error en el ajuste, error de paralaje y efectos de carga del medidor.

En los errores humanos no es posible estimar con valores numéricos los cálculos. Simplemente suceden.

La eliminación de este tipo de error es:

- Ser cuidadoso en las mediciones y en el cálculo de sus estadísticas.
- Las limitaciones de instrumento.
- En la toma de datos críticos tener dos o más observadores

- Tomar mínimo 3 o más lecturas para reducir el margen de error.
- Revisión de los resultados.

C. **Errores Sistemáticos.** Se dividen en instrumentales y errores ambientales, el primero se da por errores de calibración de instrumentos, defectos en los instrumentos y los segundos se deben a cambios en la temperatura que modifican el funcionamiento de los circuitos, humedad, campos eléctricos y magnéticos en el circuito o externos. La estimación de este tipo de error en los instrumentos se da por el constante error y la comparación con el estándar exacto.

- Su eliminación se da por la calibración y ajuste correcto del instrumento.
- Revisión adecuada por el equipo de trabajo.
- La utilización de técnicas de corrección en la medición
- Utilización de varios métodos en la medición.

La estimación en el tipo de error por el medio ambiente se da por la vigilancia en los cambios de variables y en los valores esperados.

- La eliminación de este tipo de errores es el sellado hermético del equipo
- Mantener la temperatura constante con aire acondicionado.
- Utilización de jaulas de Faraday en los campos parásitos.
- Empleo de medidores inmunes a cambios de temperatura.

D. - **Errores aleatorios.** Se da por eventos ajenos o variaciones en la medición.

Método de eliminación de los errores en la medición.

La estimación de este tipo de error es la lectura de varias mediciones y el correcto del análisis estadístico para la estimación de la correcta observación de la medición.

- La eliminación de este tipo de error es seleccionar un instrumento que no tenga interferencias
- Estimación de las lecturas para su análisis estadístico correcto.

Lo importante es tener conciencia de la existencia del error [2][3].

1.4.1. La evaluación estadística aplicada a la medición.

La evaluación estadística permite determinar analíticamente la incertidumbre del resultado final, para que estos métodos estadísticos y su interpretación sean significativos, se requiere de un gran número de mediciones y al mismo tiempo los errores sistemáticos deben de ser pequeños en comparación con los errores residuales.

Un método puede predecir con base a la muestra de los datos información detallada de los factores de disturbio y estos métodos son:

- a) **Media aritmética.** – Es el valor promedio de las lecturas en una medición y se pueden encontrar en un promedio aritmético, la cantidad medida se encuentra en la media.

$$a_{prom} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} = \frac{\sum a}{n} \quad 1.4.1$$

a_{prom} = *valor promedio o valor medio*

$a_1 + a_2 + \dots + a_n = \text{valor de las mediciones}$

$n = \text{número de lecturas.}$

- b) **Desviación de la media.** – Se utiliza para saber cuánto se alejan las mediciones de un conjunto de la media aritmética de las muestras o es la desviación del alejamiento de las lecturas con respecto de la media aritmética de las muestras.

$$d_n = x_n - a_{prom} ; \quad 1.4.2$$

donde $X_1 = a_1$ y

$$d_1 = x_1 - a_{prom} ; \quad d_2 = x_2 - a_{prom} ; \quad d_n = x_n - a_{prom} ;$$

- c) **Desviación Promedio.** - Indica la precisión de los instrumentos empleados al hacer mediciones. Si se tiene un instrumento altamente preciso se tiene una desviación promedio baja de las mediciones.

Es la suma de los valores absolutos de las desviaciones de la media entre el número de lecturas de la muestra.

$$D_M = \frac{\sum |a_i - a_{prom}|}{n} \quad 1.4.3$$

$$D = \frac{|d_1| + |d_2| + \dots + |d_n|}{n} = \frac{\sum |d_i|}{n}$$

- d) **Desviación Estándar.** – Llamada la raíz cuadrada de la suma de las desviaciones estándar de la media al cuadrado, y se utiliza para determinar la dispersión en un conjunto de mediciones o lecturas.

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n-1}} \quad 1.4.4$$

$\sigma = \text{desviación estándar}$

$d_1, d_2, \dots, d_n = \text{desviación de los valores promedios}$

$n - 1 = \text{número de mediciones} - \text{uno}$, en mediciones finitas y puede ser solamente en n para números infinitos, pero en la práctica los eventos en las mediciones son prácticas y finitas.

- e) **Varianza.** - Es el cuadrado del valor de la desviación estándar, y representa la medida de dispersión con respecto a la variabilidad de las mediciones con respecto a su media [2][3].

$$V = \sigma^2 \quad 1.4.5$$

- f) **Error probable y valor del error (Distribución Gaussiana).**

El error probable, puede presentarse de las desviaciones aleatorias de ocurrencia de las lecturas de las mediciones, donde los errores pueden ser positivos o negativos, donde el error probable calcula con la siguiente ecuación.

$$r = \pm 0.675 \sigma \quad 1.4.6$$

Y para el valor del error se utiliza un histograma para representar las frecuencias, se le conoce como campana de Gauss, y es de cálculo más complejo y de análisis, se da en laboratorios [2][3].

Ejemplo: Se tomaron las siguientes mediciones de corriente con un amperímetro en un cierto circuito $I_1 = 123 \text{ mA}$, $I_2 = 132 \text{ mA}$, $I_3 = 127$, $I_4 = 133 \text{ mA}$ y $I_5 = 125 \text{ mA}$ y para realizar el análisis de corriente se debe de calcular lo siguiente: (a). - Media aritmética o valor promedio, (b). - Desviación de la media, (c). - Desviación promedio, (d). - Desviación estándar y (e) error probable.

(a). - Media aritmética o valor promedio.

$$a_{prom} = \frac{123 + 132 + 127 + 133 + 125}{5} = \frac{640}{5} = 128 \text{ mA}$$

(b). - Desviación de la media.

$$d_1 = 123 - 128 = -5 \quad d_2 = 132 - 128 = 4; \quad d_3 = 127 - 128 = -1$$

$$d_4 = 133 - 128 = 5 \quad d_5 = 125 - 128 = -3;$$

(c). - Desviación promedio,

$$D = \frac{|a_1| + |a_2| + \dots + |a_n|}{n} = \frac{\sum a}{n}$$

$$D = \frac{|-5| + |4| + |-1| + |5| + |-3|}{5} = \frac{18}{5} = 3.6 \text{ mA}$$

(d). - Desviación estándar y

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n-1}} \quad \sigma = \sqrt{\frac{(-5)^2 + (4)^2 + (-1)^2 + (5)^2 + (-3)^2}{5-1}} = \sqrt{\frac{76}{4}} = 4.35889 \text{ mA}$$

(e). - Error probable.

$$r = \pm 0.675 \sigma \quad r = \pm 0.675 (4.35889)$$

Tarea 5. – Realizar ejercicios de los siguientes libros:

[2]. – Stanley Wolf. “Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio”, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 07632. 1992. 2ª edición.

Capítulo 2 página 45.

Problemas 3, 4, 5, 8, 9, 10 y 11.

[3]. – William D. Cooper, Albert D. Helfrick. “Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición”. Editorial Prentice Hall. 1991.

Capítulo 1 página 18 y 19.

Problemas 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6.1-11, 1-12, 1-13, 1-14 y 1-15.

1.5. Tipos de Corriente Eléctrica.

Los principios de la corriente eléctrica son fundamentales en la comprensión de todos los fenómenos que se producen en cualquier equipo eléctrico y electrónico desde el movimiento de un electrón hasta el comportamiento de la corriente, el voltaje y la potencia eléctrica.

Los principios de la electricidad y la electrónica son comunes, ya que dependen de la naturaleza de carga del electrón, que es una partícula que constituyen la materia y el modelo a aprender es el modelo de Bohr en el cual se fundamentan las bases de la electrónica.

Modelo de Bohr. - Modelo cuántico propuesto por Niels Bohr en 1913 para explicar el comportamiento de los electrones (partícula negativa (-)) en orbitas estables que giran alrededor de un núcleo formado por neutrones (partícula neutra (+/-)) y protones (partícula positiva (+)).

Postulado I. - Los electrones giran alrededor del núcleo por orbitas.

Postulado II. - La energía de las orbitas es estacionaria.

Postulado III. - la energía aumenta conforme la órbita se aleja del núcleo.

Postulado IV.- El paso de un electrón entre orbitas genera emisión y absorción de energía.

El modelo representa en sus postulados los movimientos del electrón que generan desprendimiento de energía en materiales conductores y la acumulación de electrones en un cuerpo solido con 10^{23} átomos por centímetro cubico y se llama carga eléctrica.

Carga eléctrica. - Se representa por la ley de Coulomb y su unidad es el Coulombio y equivale a una carga total de 6.2415×10^{18} electrones, y el valor del electrón es igual a la ecuación 1.5.1. y la ley de coulomb dice:

$$e = \frac{1}{6.2415 \times 10^{18}} = 1.602176634^{-19} \quad 1.5.1$$

Ley de Coulomb. - Dice que el producto de sus cargas experimenta una atracción o repulsión de fuerza electrostática multiplicada por una constante k, entre la distancia entre ellas elevada al cuadrado como se ve en la ecuación 1.5.2.

$$F = \frac{kQ_1Q_2}{d^2} \quad 1.5.2$$

Donde $k = (4\pi\epsilon_0)^{-1}$ con valor igual a 9×10^9 Newtons metro²/ Coulombio² y ϵ_0 es la permeabilidad en el vacío, Q_1 y Q_2 son las cargas, donde si son positivas se repelan y si con de signo opuesto se atraen, d es la distancia al cuadrado expresada en metros [1][2].

Ejemplo 1.- Si la carga del electrón es 1.6×10^{-19} C ¿Cuántos electrones pasan por un punto dado cada microsegundo, si la corriente es de 4.56 A?

$$q = It = \left(4.56 \frac{C}{s}\right) (0.000001s) = 0.00000456$$

$$\frac{0.00000456C \times 6.24 \times 10^{18} e}{1C} = 2.8454 \times 10^{13} e$$

Ejemplo 2. - Una carga $Q_1 = 2 \times 10^{-6}$ está a 1.5 metros de otra carga $Q_2 = 9 \times 10^{-6}$ Determine la fuerza de atracción entre ambas cargas.

$$F = \frac{kQ_1Q_2}{d^2} \quad F = \frac{9 \times 10^9 Nm^2/C^2 (2 \times 10^{-6} C)(9 \times 10^{-6} C)}{(1.5m)^2} = 0.072N$$

La corriente eléctrica (i) es producida por la razón de cambio en la **carga eléctrica (q)** de los electrones a lo largo de un conductor a través del tiempo (t), a lo largo de un conductor en un medio sólido o en el vacío como se puede ver en la ecuación 1.5.3, el instrumento de medición de corriente es el amperímetro.

Su unidad es el amperio que el que se indica que un 1 coulombio de carga pasa de un punto a otro en un segundo, puesto que la carga del electrón es 1.6×10^{-19} coulombios, con flujo de electrones de 6.2×10^{18} electrones por segundo.

El voltaje o tensión eléctrica (V) se da por el trabajo de mover electrones en un circuito cerrado, cuando es constante se tiene un potencial eléctrico de un polo positivo A, - un polo negativo B, en una carga llamada **resistencia**, que es la que se opone al paso de los electrones, esta polarización en la carga es igual a una diferencia de potencial, **voltaje o tensión** como se observa en la ecuación 1.5.4.

$$i = \frac{dq}{t} \quad 1.5.3$$

$$V = (V_{A+}) - (V_{B-}) \quad 1.5.4$$

Este potencial eléctrico se relaciona con la ley de Ohm que dice:

Ley de Ohm. - El voltaje o tensión de un punto A, a un punto B, es directamente proporcional a la corriente por el producto de un elemento resistivo que circula en él. cómo se ve en la ecuación 1.5.5, [1].

$$V = R \times i \quad 1.5.5$$

y con respecto a la carga que se almacena en una capacitancia de un material, genera un concepto de relación entre la carga y la capacitancia de este como en la Ecuación 1.5.6.

$$\text{Voltaje} = \text{Diferencia de potencial} = v = \frac{q}{C} = \frac{\text{julio}}{\text{coulombios}} \quad 1.5.6$$

La corriente eléctrica se le crea de 2 formas:

1. **La corriente continua** se crea a través de un generador de corriente continua (c. c) o de un proceso químico entre Ánodo-Cátodo como son baterías, celdas solares, etc. En este sistema se da referencia con 0 volts como polo negativo a un nivel de + 5, + 10, + 15 o + 24 Volts como polo positivo, y con - 5, - 10, - 15 o - 24 como referencia a polo negativo y cero como polo positivo, ambas polaridades se dan a cierto amperaje con respecto al tiempo continuo para que se cierre el circuito eléctrico, el arreglo produce un potencial eléctrico, llamado voltaje o tensión eléctrica en corriente continua (c. c.).
2. **La corriente alterna** se produce por un generador de corriente alterna (c. a.), circulando primero en un sentido positivo y después cambiando al sentido negativo y viceversas, en cierto número de veces en un segundo llamados ciclos,

El comportamiento de la tensión se da en sus diferentes formas:

- Voltaje o tensión en corriente continua y
- Voltaje o tensión en corriente alterna.

El Voltaje o tensión. – Es el trabajo de mover cargas eléctricas contra la fuerza de un campo eléctrico, el cual involucra un gasto de energía.

Así como se comporta el voltaje o tensión en c.c., así se comporta la intensidad de corriente:

- Intensidad en corriente continua e
- Intensidad en corriente alterna

La Intensidad de corriente o corriente continua. – Es el número de cargas en movimiento que pasan de un punto a otro punto en un circuito eléctrico en un segundo.

El voltaje o tensión en corriente continua se conoce en la medición utilizando un Voltímetro con pilas de 3.3, 5V, o una batería de 12V Volts que es una medición constante con respecto al tiempo, así como la corriente de 1 Ampere o más que es constante en una resistencia con respecto al tiempo.

La corriente eléctrica también tiene su comportamiento en corriente alterna (c. a.) cerrando el circuito con una función forzante senoidal según la figura 1.5.1 donde se ve el circuito cerrado en ambas corrientes en c. d. y c. a., y se puede aplicar la ley de ohm en ambas y la ecuación 1.5.7. representa el voltaje alterno.

$$A(\omega t) = A \sin \omega t \quad 1.5.7$$

Donde A es la amplitud definida como el valor máximo de la variable ya sea voltaje, corriente o potencia eléctrica y ωt es el radian o frecuencia angular multiplicada por el tiempo, ambos son llamados argumento de la función $\sin \omega t$, el ejemplo más común es la toma de corriente de nuestra casa (Fase, Neutro y Tierra física), llamada monofásica, bifásica y trifásica y es usada en la industria eléctrica.

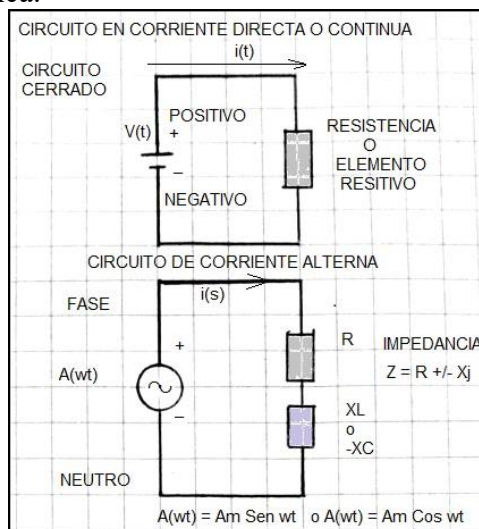


Figura 1.5.1. Circuito cerrado en corriente continua y alterna.

La potencia eléctrica. – Es una variable no lineal y se representa por la potencia suministrada por la fuente en donde la carga absorbe la potencia y es disipada en forma de calor por la carga con respecto al tiempo, y se puede escribir de 3 maneras como se ve en las ecuaciones 1.5.8. [2][3][5].

$$p(t) = v(t)i(t) = Ri^2 = \frac{v^2}{R} \quad 1.5.8$$

Ejemplo 1. – Determine la corriente I y la potencia suministrada en el circuito 1, si el voltaje es 15V y la carga es 20K. De la figura 1.5.2.

Ejemplo 2. – Si se tiene una resistencia de 100 K Ω y absorbe una potencia de 68 mili Watts en el Circuito 2. Determine el valor de la fuente de voltaje V_x .

Ejemplo 3. - En el Circuito 3 la potencia en la resistencia R es de 10 W, si la corriente que circula es de 0.5 Amperes, determine el valor de la carga R .

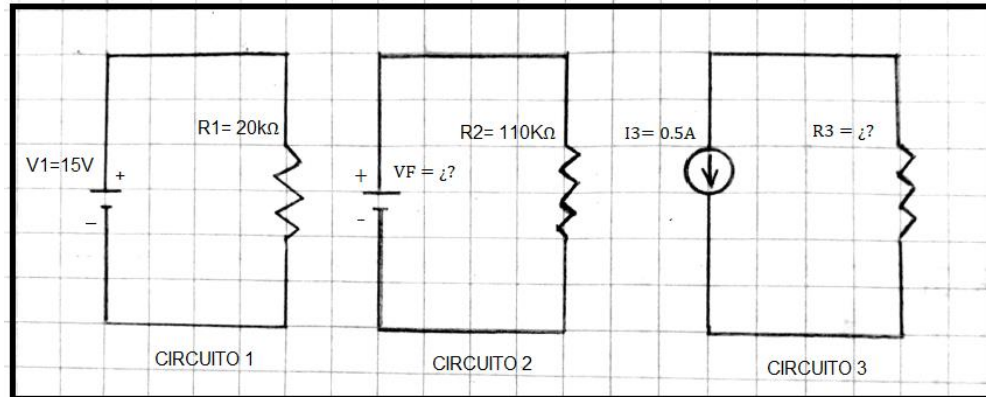


Figura 1.5.2. Circuitos ejemplo 1, 2 y 3.

Solución ejemplo 1. $V = RI$ entonces $I = \frac{V}{R} = \frac{15\text{ V}}{20000} = 0.75\text{ mA}$

$$P = VI = (15\text{ V})(0.00075) = 0.01125 = 11.25\text{ miliwatts}$$

Solución ejemplo 2. $V = \frac{P}{I}$ entonces $I = \frac{V}{R}$ sustituyendo en la ecuación de potencia se tiene: $v = \sqrt{PR} = \sqrt{(68\text{ mW})(10\text{K})} = 2.6\text{ V}$

Solución ejemplo 3. - $V = \frac{P}{I}$ entonces $R = \frac{V}{I}$ sustituyendo en la ecuación de potencia se tiene: $R = \frac{P}{I^2} = \frac{10\text{ W}}{(0.5\text{ A})(0.5)} = 40\ \Omega$

Tarea 6. -Realizar los siguientes ejercicios.

[5]. - Jack, H. W. (2010). *Análisis de circuitos en ingeniería*. Ed. McGraw Hill, 7a. edición

Capítulo 1 página 29

Ejercicios 2.1 (del 1 a 9); 2-2 (del 10-19); 2-3 (20-26); 2-4 (del 27-33)

1.6. Formas de onda.

Las formas de onda son representaciones de variables con respecto al tiempo o con respecto a otra variable, en el caso de variables eléctricas es el voltaje, la corriente, la potencia eléctrica y la energía, entre otras variables y sirven para poder ver sus magnitudes o amplitud, periodos, frecuencias y comportamiento de ellas las características más importantes son:

- La amplitud (eje vertical)
- Tiempo (eje horizontal)
- Patrón de la forma de onda y distorsión.
- Perturbación de la forma de onda de fuentes externas.

La mejor manera de visualizar una forma de onda Analógica o digital es utilizar un instrumento llamado Osciloscopio donde se pueden mostrar este tipo de formas de onda, el origen de las formas de onda es: Generadores de señal, osciladores, circuitos especiales, señales cósmicas, señales del cuerpo humano, señales de la tierra

Forma de onda lineal o constante. – Es generada por una fuente de electricidad constante de corriente directa (c. d.), aunque puede ser corriente o potencia en corriente continua y se observa en un instrumento llamado osciloscopio como una línea recta de magnitud A (ejemplo 5 volts) con respecto al tiempo como se observa en la figura 1.6.1.

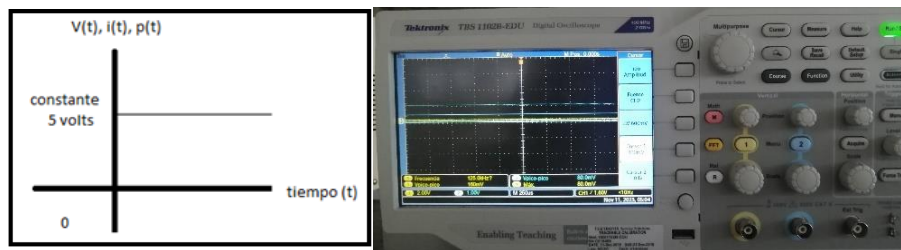


Figura 1.6.1. Forma de onda constante con respecto al tiempo y en el osciloscopio.

Forma de onda cuadrada lineal en corriente directa o continua. – Es generada por un circuito Astable, generador de pulsos, reloj digital o un generador de funciones, tiene parte positiva y parte negativa de magnitud +1 volt, - 1 volts como se observa en la figura 1.6.2.

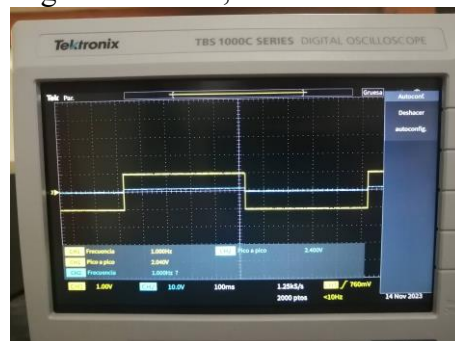


Figura 1.6.2. Onda cuadrada, vista en el osciloscopio.

Forma de onda de diente de sierra. – Es generada por un circuito generador de diente de sierra, integrador o un generador de funciones, tiene parte positiva con pendiente de magnitud +1 volt, como se observa en la figura 1.6.3.

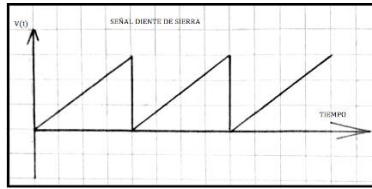


Figura 1.6.3. Onda diente de sierra.

Forma de onda Senoidal o sinusoidal. – Es generada por un circuito oscilador, generador de funciones, tiene parte positiva y parte negativa de magnitud + 60 volt, -60 volts como se observa en la figura 1.6.4.

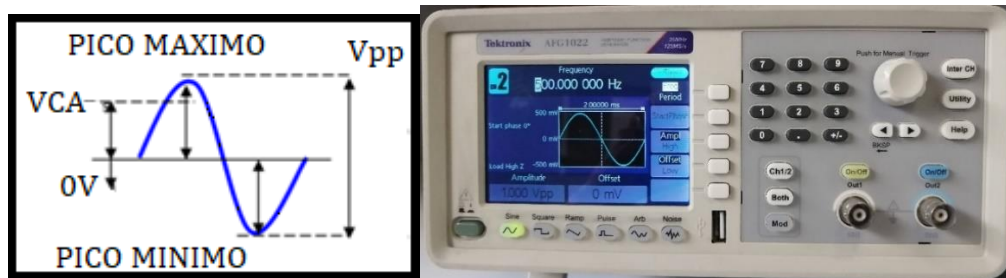


Figura 1.6.4. Forma de onda senoidal vista en el osciloscopio.

Forma de onda de ruido eléctrico o ruido Shockley. Es generada por un circuito de ruido eléctrico, generador de funciones, tiene parte positiva y parte negativa de magnitud + X volt, - X volts como se observa en la figura 1.6.5.

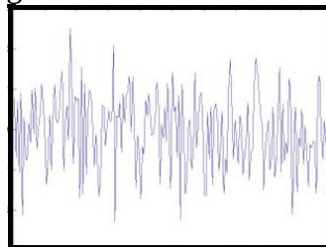


Figura 1.6.5. Ruido eléctrico o simplemente ruido.

- **Otras formas de onda.** - también existen circuitos con generadores de señal Exponencial, Ancho de pulso o PWM, llamadas señales dinámicas como son: portadoras de AM y FM, frecuencia variable, pulsos de radar y sonar, audio y señales biométricas o del cuerpo humano, señales cósmicas entre otras [2]. [8]., figura 1.6.6.

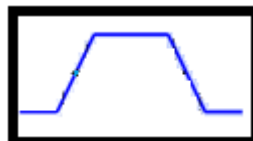


Figura 1.6.6. Señal de ancho de pulso o PWM.

1.7. Frecuencia, Período y Amplitud.

Los conceptos de frecuencia, periodo y amplitud están ligados a las formas de onda de voltaje, corriente u otra variable eléctrica y dependen de estos valores para poder trabajar con ellos y así ser transformados con los circuitos eléctricos o electrónicos.

Entonces el número de veces por segundo que cambia la polaridad se denomina frecuencia, siendo la generación de estas frecuencias en Europa de 50 Hz y 60 Hz en América.

Frecuencia: Es el número de ciclos o número de veces que cambia de polaridad una señal en un periodo de tiempo en segundos, ejemplo señal de voltaje en términos de Hertz.

$$f = \frac{1}{T} \quad 1.7.1$$

Periodo: Es la duración de tiempo de cada variable en un evento repetitivo con respecto al tiempo.

Ciclo. – Tiempo transcurrido en una onda en un periodo.

Fase. – Posición relativa de una señal con otra, ejemplo ($\Theta A - \Theta B$).

Amplitud: es el valor máximo que alcanza una señal en su parte positiva y negativa llamadas crestas o Valor pico a pico.

Entonces un hertzio es el número de ciclos por segundo.

Una Función en corriente directa o continua (c.d.) se comporta idealmente como una línea infinita con respecto al tiempo,

Una función senoidal en Corriente alterna (c. a.) tiene su comportamiento como una función forzante senoidal

$$A(\omega t) = A \sin \omega t$$

Donde A es la amplitud de la variable ya sea voltaje, corriente, energía o potencia eléctrica y ω es $2\pi f$ es el radian o frecuencia angular por el tiempo t , llamados argumento de la función seno, y se pueden graficar con respecto al tiempo, aunque no sea simétrica como se observa en la figura 1.6.7. [5].

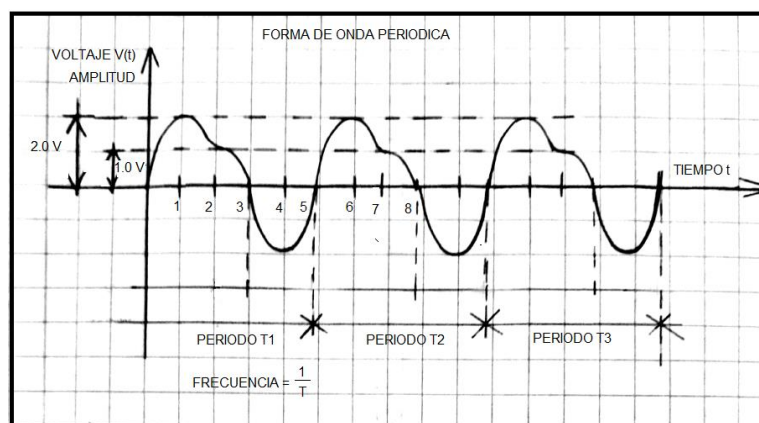


Figura 1.6.7. Representación de periodo y frecuencia.

Tarea 7. - Realizar una diapositiva o hoja en Word de las diferentes formas de onda resaltando las siguientes características, Frecuencia, Periodo, Valor máximo, Vp. Vpp. si es de corriente directa o alterna, dibujando la forma de onda con sus características.

1.8. Valor promedio, valor máximo, valor pico a pico y valor eficaz.

La corriente directa es de lectura practica por lo fácil de calcular los valores de voltaje y corriente máximo, por ser componente en c. d., pero al encontrarnos con valores de voltaje o corriente alterna no es tan fácil hacer el cálculo en su valor promedio, valor pico o en su valor efectivo o RMS (Root Mean Square) raíz cuadrática media o valor efectivo (V_{eff}) de la señal de voltaje o de corriente, y se pueden calcular en modo analítico o en su forma práctica midiendo con un multímetro con TRMS o un osciloscopio.

La mayoría de los instrumentos de medición dan lectura de un RMS True (valor verdadero eficaz) o sea un TRMS, que es en realidad un valor de lectura real en lo que a parámetros estándar se realiza la medición, los conceptos relacionados a la medición RMS son:

Valor promedio o medio. – Matemáticamente el valor promedio de una señal de c. d se calcula tomado el área bajo la curva entre el periodo expresado en segundos, y en c. a el concepto es la forma de onda de corriente variante en el tiempo sobre el periodo como se expresa en las ecuaciones 1.8.1 y 1.8.2.

$$V_{prom} = \frac{\text{Area bajo la curva}}{T(\text{perido})} \quad 1.8.1.$$

$$V_{prom} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad 1.8.2.$$

Valor Máximo. - Es el valor más alto de voltaje o corriente de cualquier forma de onda ya sea en corriente directa o en corriente alterna, un ejemplo es, en el uso del nivel en cargadores o variadores de frecuencia, cuando varia este valor, debido a la carga.

Valor pico a pico. –El valor pico (V_p) es el valor positivo o negativo que alcanza una señal de voltaje o corriente en su valor absoluto, por lo que el valor pico a pico (V_{pp}) es el voltaje máximo entre V de cresta o parte positiva y Voltaje Valle o parte negativa de la forma de onda senoidal.

Valor eficaz. – Es el valor verdadero eficaz preciso en la medición de voltaje o corriente c. a. con instrumentos o multímetros en ondas perfectas o no perfectas, este concepto da referencia de la onda de calcular su capacidad de entregar potencia, por eso se le llama valor efectivo.

Para realizar el cálculo primero se eleva al cuadrado la función o magnitud de la onda instantánea y se integra con límites del período, luego se calcula el valor promedio de la señal y se calcula la raíz cuadrada de la señal, como se observa en la ecuación 1.8.3.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [f(t)]^2 dt} \quad 1.8.3.$$

Para mostrar la potencia promedio absorbida por una carga resistiva y potencia entregada por la fuente de c. d. o c. a., se puede tomar el valor de V_{RMS} o I_{RMS} y decir que la potencia promedio efectiva se puede calcular se ve en la ecuación 1.8.4, y 1.8.5.

$$P = I_{eff}^2 R \quad 1.8.4$$

$$P = \frac{V_{eff}^2}{R} \quad 1.8.5$$

En el cálculo de energía de una señal de corriente directa o c. d. y corriente alterna o c. a. de la misma magnitud, no entregarían la misma cantidad de energía promedio porque en c. d. la señal es continua y en c. a. es variante en el tiempo, se debe aplicar la formula en la parte real del circuito, porque las ondas a veces son similares, pero varían en algunos datos, como el ángulo [2] [5].

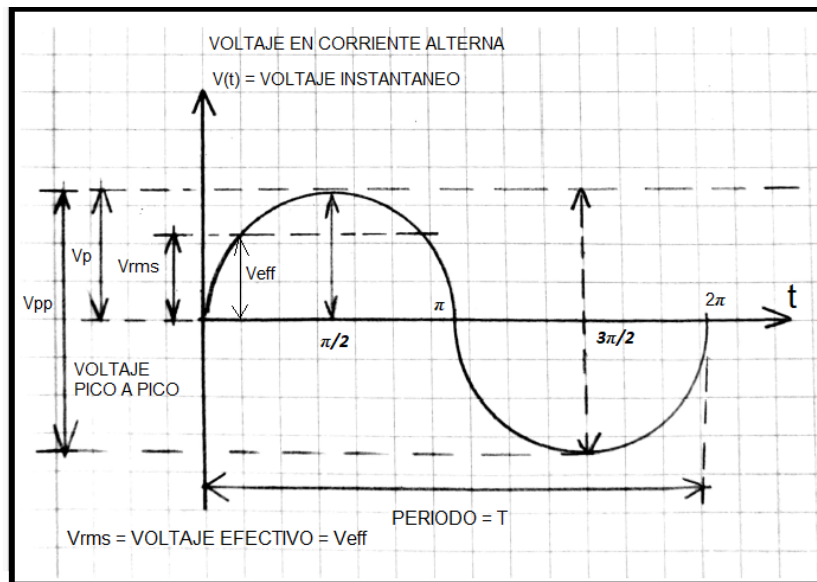


Figura 1.8.1. Curva senoidal con valor pico, valor pico a pico, valor RMS o efectivo.

A veces trabajar con voltaje de la compañía eléctrica siempre va a variar entre 120, 115 o 110 y es necesario hacer el cálculo con la señal de $Ao = A \sin \omega t$ y se hace el cálculo de la integral, donde se conoce el resultado en la ecuación 1.8.5, en caso de no estar seguro se debe de hacer el cálculo de la señal en estudio [5].

$$A_{RMS} = \frac{Ao}{\sqrt{2}} \quad 1.8.5$$

Ejemplo: Calcular el voltaje V_{RMS} de la siguiente señal.

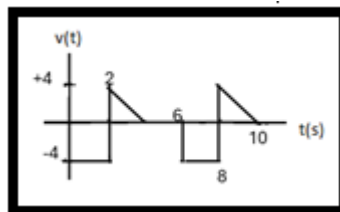


Figura 1.8.2. Señal ejemplo.

Solución $f_1 = -4$ de $0s$ a $2s$

$f_2 = (-2t + 8)$ de $2s$ a $4s$ y

$f_3 = 0$ de $4s$ a 6 segundos, con $T = 6$, las funciones se sustituyen en la ecuación 1.8.3

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{6}(\int_0^2 (-4)^2 dt + \int_2^4 (-2t + 8)^2 dt + \int_4^6 (0)^2 dt)} = 2.62V$$

Tarea 8: Calcular los siguientes valores RMS de la bibliografía

[5]. - Jack, H. W. (2010). *Análisis de circuitos en ingeniería*. Ed. McGraw Hill, 7a. edición

Capítulo 11 página 451

Ejercicios 11.2 (24 y 25); 11.3 (del 26 - 34).

1.9. Normas de seguridad en la medición de variables eléctricas.

Las técnicas de seguridad para evitar choques eléctricos en el manejo de los circuitos eléctricos, el empleo de cables, interruptores y dispositivos de protección de circuitos es necesario tener información de lo que se va a medir y sobre todo de las magnitudes de estas mediciones eléctricas para efectuar mediciones adecuadas y que se realicen de la manera más segura posible, para evitar un accidente peligroso.

Cuando se trabaja en el laboratorio eléctrico o cuando se emplea equipo eléctrico se deben de seguir las instrucciones y precauciones adecuadas de Seguridad para llevar a cabo las mediciones exactas.

Al realizar cualquier trabajo o practica de laboratorio se debe tener en cuenta varias normas de seguridad que se estipulan para reducir el riesgo de lesiones o en casos extremos la muerte.

Seguir estas normas no solamente protegen la integridad de la persona que realiza la práctica sino también de los que están a su alrededor.

Cuando se habla de la electrónica se pueden correr muchos riesgos si utilizamos una herramienta incorrecta para un trabajo determinado o insulso si utilizamos un cable de un calibre equivocado, esto puede generar que el alambre dentro del forro del cable se caliente al punto que pueda lastimar a alguien o provocar un incendio.

Es necesario entender que existe un equipo para cada trabajo y que cuando se trabaja es mejor darse el tiempo necesario para comprobar que todo este correcto.

EVITAR DISTRACCIONES

- Según algunas estadísticas 3 de cada 10 accidentes en el trabajo son provocados por descuidos al no centrarse en el trabajo que se está realizando, por lo general las distracciones son más comunes al hablar por un celular con otra persona de un tema que no se refiera a nada del trabajo que se está realizando.
- Las normas nombradas antes de este párrafo comprenden las normas básicas cuando se trabaja con mediciones eléctricas, conforme la tecnología va avanzando se crean nuevos equipos y nuevas técnicas que vuelven obsoletas a otras prácticas, por lo cual siempre hay que mantenerse actualizado para poder realizar un trabajo de la mejor manera posible y de la forma más segura.

CHOQUE ELECTRICO.

- Cuando la corriente pasa por el cuerpo humano el efecto que origina es el choque eléctrico, y se dar de forma accidental debido a un mal diseño de equipo, fallas eléctricas, error humano o una combinación de circunstancias desafortunadas.
- No depende de la cantidad de corriente que pasa por el cuerpo y del tiempo, ni del valor del voltaje aplicado, puede ser mortal un choque de 100V como uno de 1000V.

- Este varia con la edad, sexo, condición física, el nivel es variable, medio ambiente, por ello se deben de tener en cuenta los siguientes niveles de corriente:
- El umbral de percepción de corriente en un ser humano es de 1mA.
- (hormigueo o calentamiento desagradable en el punto de contacto).
- El nivel de 1mA- 5mA, se siente intensidad (aceptada inofensiva), no produce dolor.
- El nivel de 1mA- 5mA, no es peligroso, pero puede pasar que la reacción sorpresa, haga saltar al individuo a un horno caliente o una pieza móvil de maquinaria, caída de una escalera u otra forma de lastimarse.
- Niveles superiores de los 10 mA a 20 mA. Produce contracciones musculares involuntarias, se pierde el control de los músculos, dolor intenso “No puede soltar” la víctima es incapaz de soltar el cable que sostiene, produce fatiga, colapso y aun la muerte”.
- El nivel mayor a 100 mA. Comienza a interferir con el movimiento coordinado con el corazón. (esta fibrilación evita que el corazón bombee la sangre y sobreviene la muerte en cuestión de minutos a menos que se detenga la fibrilación).
- Mas de 300 mA. Contracciones intensas en el corazón, choque rápido, se detiene la respiración (Respiración artificial), (métodos médicos cardiacos).
- De 1 a más amperes. - Contratación del corazón, parálisis respiratoria, quemaduras causadas por la corriente eléctrica, descenso instantáneo.

Peligros en el Laboratorio.

1. - El uso de herramientas eléctricas debe estar supervisado por el docente o auxiliar del laboratorio para prevenir heridas graves.
2. - Ropa adecuada, cabellos no sueltos, gafas de seguridad o anteojos de seguridad.
3. - Uso del cautín adecuado para evitar quemaduras, prender cuando se use y apagar cuando se deje de usarlo.
4. En el uso de solventes y sustancias peligrosas usar mascarar con filtros o cubrebocas, ropa adecuada para el uso de solventes para la fabricación de circuitos de impresos, empelar guantes.

Normas de seguridad en el Laboratorio.

1. Trabajo en equipo ya sea con sus compañeros, docente o el auxiliar del laboratorio, nunca trabajar solo.
2. Usar equipo con 3 terminales, fase, neutro y tierra física, para evitar choques eléctricos.
3. Conectar el equipo cuando se use, revisión de cables defectuosos. Energizados.
4. Zapatos secos de piso, no tenis, no pulseras, no anillos, ni joyas metalizas.
5. No piel humada o mojada, la impedancia del ser humano disminuye y puede provocar conducción eléctrica con cables sueltos.
6. Uso del cautín cuando se esté usando, y cuando no apagar y esperar a que se enfríe.

7. No al uso de ropa suelta, uso de gafas de seguridad.
8. Conexiones a tierra seguras en la instalación eléctrica, y en los circuitos eléctricos uso de termomagnéticos en la instalación eléctrica y fusibles en buen estado.
9. En la prueba de circuitos, conectar siempre la alimentación cuando se haya supervisado el circuito y coordinarse con el docente.
10. Usos de pulseras estáticas en el uso de circuitos digitales [5].

Seguridad al medir elementos en circuito.

En la práctica de medición de dispositivos y elementos eléctricos y electrónicos se debe de tomar en cuenta que forman parte de un circuito eléctrico, estos dispositivos están hechos de carbón, cerámica, elementos de aleaciones metálicas resistivas o encapsulados en plástico como son los transistores y diodos, todos los elementos se polarizan con tensión o voltaje en la placa, una vez energizada hacen su función de construcción y por inspección visual se localiza el elemento y se mide el voltaje, punto positivo del circuito con la punta positiva del multímetro, y negativo con referencia a cero volts con tierra negativa, a una tierra virtual o referencia negativa en el circuito eléctrico.

El elemento pasivo se puede calentar por efecto joule si es que es una resistencia, no es seguro que se toque con la mano el elemento ya que puede el usuario sufrir una quemadura o descarga eléctrica, el capacitor almacena voltaje en forma de energía en su campo eléctrico, y es muy fácil descargarlo a través de un corto circuito, por lo que no deja de ser peligroso, el usuario no debe de tocar sus pines, en el caso de los inductores o bobinas con núcleo o sin núcleo la corriente en forma de energía se encuentra en el campo magnético y se puede descargar en forma instantánea, es recomendable buscar puntos de referencia seguros con el voltaje positivo y con cero negativo si es que se está energizado el circuito, en caso de que la aplicación necesite de la medición de corriente en un elemento, hay que abrir el circuito para que el amperímetro mida en serie la corriente.

Tarea 9. – Realizar de forma individual o por equipo una diapositiva de una de las normas de seguridad y de ejemplos de la elección o de cada uno de ellos.

Serie de ejercicios de la unidad 1:

[2]. – Stanley Wolf. “Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio”, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 07632. 1992.

Capítulo 1, páginas 24, 25, 26 y 27

Problemas del 1al 30.

Capítulo 2, páginas 45 y 46

Problemas del 1al 16.

[3]. – William D. Cooper, Albert D. Helfrick. “Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición”. Editorial Prentice Hall. 1991.

Capítulo 1, páginas 18 y 19.

Problemas del 1-1al 1-19.

Capítulo 2, páginas 30 y 31.

Problemas del 2-1al 2-17.
Capítulo 3, página 46.
Problemas del 3-1al 3-10.

MEDICIONES ELECTRICAS /ETD-1021

PROFESOR:

Nombre y Numero de la Practica	PRACTICA # 1 CONCEPTOS BASICOS
Objetivo de la práctica.	El alumno será capaz de: a) Elaborar una diapositiva o video de un patrón de variables eléctricas de medición o un sistema de medición primitivo. b) Aprender y explicar el uso de un voltímetro, un amperímetro y un óhmetro analógico y digital, mostrando al docente su uso en un circuito básico. c) Con un circuito básico aplicar la ley de ohm en V c. d. y V c. a., con un multímetro analógico y digital hacer mediciones donde se involucre la exactitud, precisión, repetibilidad, repetitividad, resolución de un instrumento, (utilizar elementos resistivos, capacitivos e inductivos). d) Con una forma de onda en V. c. a. Identificar, frecuencia, periodo, amplitud, valor promedio, valor máximo, valor pico y valor eficaz. e) Hacer mediciones de corriente, voltaje o con resistencias para comprobar el uso de la media, mediana, moda y desviación estándar. f) Elaborar una diapositiva de normas de seguridad y acciones en la medición de variables eléctricas.
Introducción	• Comprender el concepto de medición y los posibles errores en la misma, y utilizar el análisis estadístico para la interpretación de los datos. • Explicar el contexto general histórico de los sistemas de medición y los patrones utilizados. • Investigar en diferentes fuentes los distintos sistemas de medición, sus unidades y patrones. • Reconocer y diferenciar la exactitud y la precisión de un instrumento. • Resolver problemas que involucren el análisis estadístico de los datos arrojados por los instrumentos de medición. • Realizar experimentos de laboratorio que permitan ejercitar el razonamiento, la reflexión y el uso de herramientas matemáticas.
Descripción	• Con la teoría vista en clase y de investigación realizar mediciones • Operar las fuentes de voltaje y los instrumentos de laboratorio para aprender su funcionamiento.
Tiempo estimado	• El propuesto por el docente en los incisos (a), (b), (c), (d), (e), y (f).

Observaciones	i. Tomar nota del seguimiento y desarrollo de cada paso. ii. Tomar nota de cada circuito de medición iii. Comparar los datos obtenidos de la práctica con la teoría. iv. Elaborar un reporte con los siguientes pasos:
Reporte.	a). – Caratula (b). - Objetivos c). – Desarrollo eléctricos e). - Observaciones y conclusiones. bibliográficas d). - Diagramas f). - Referencias
Lista de Materiales	Fuente de voltaje variable de c.d. y c.a, 1 tablilla de experimentos (Proto board), resistencias de valores variables, ejemplo: 1 Ω , 50 Ω , 100 Ω , 1K Ω y 10K Ω de 1/2, 1 Watt, 2 Watts, 1 Multímetro digital, 1 multímetro analógico, cable telefónico o Jumper, pizas de corte y de punta.

TEMA 2

Instrumentos Básicos y Avanzados

2.1. Evaluación y Comparación de Medidores Analógicos y Digitales.

Los instrumentos eléctricos- mecánicos de aguja miden parámetros como: corriente, voltaje, temperatura, presión entre otras variables. sus características son:

- Una escala graduada en las unidades correspondientes y de una aguja indicadora mediante la cual se puede realizar la lectura de la variable.
- El galvanómetro de D'Arsonval, cuya principal característica es producir la deflexión de una aguja cuando a través de él circula una corriente continua, proporcional a la magnitud de la variable que se está midiendo.

Existen 2 tipos de medidores en el uso la práctica de la electricidad y la electrónica, se basan en su forma de operar y su funcionamiento como son:

- **Medidores analógicos**
- **Medidores digitales**

Los multímetros analógicos son instrumentos de campo, así se les conoce en el ambiente industrial y también en los laboratorios, son de gran utilidad, también son versátiles, la mayoría de los medidores miden varias variables y son llamado multímetros, las variables a medir son:

- ✓ Corriente
- ✓ Voltaje
- ✓ Resistencia
- ✓ Voltaje de ruptura en diodos
- ✓ Capacitancia e inductancia
- ✓ Ganancia en transistores (Beta del transistor)
- ✓ Conductividad
- ✓ Y con puntas especiales pueden medir temperatura u otras variables

Los Medidores analógicos

Las mediciones de voltaje efectúan rangos de 0.4 mV hasta 1000 volts con exactitud de 0.1%

Las mediciones de corriente van desde los 0.1 A hasta los 10 A con exactitudes del 0.2% y se miden resistencias hasta 40 M Ω con exactitud del 0.2 % al igual las de baja resistencia.

Las puntas del medidor no se deben de tocar con los dedos.

La ventaja de los multímetros de aguja es la rapidez de indicar la presencia de magnitud de la variable que se ha presentado en la escala, resolviendo gran cantidad de problemas.

Las subestaciones eléctricas utilizan medidores analógicos por las facilidades de observación de las marcas rojas en los límites de seguridad.

La impedancia de los medidores es muy baja y puede tener efectos de carga en la medición de resistencias altas 1000 Ω /V en un movimiento de 1mA y 20000 Ω /V en movimiento de 50 μ A. y polarizarlos erróneamente puede dañarlos al igual que golpearlos.

Operan con el principio electromecánico del movimiento D'Arsonval, que es un miliamperímetro o galvanómetro, que es una pieza hecha de un imán permanente en forma de herradura y una bobina que se encuentra entre el campo magnético del imán permanente a la que se le aplica un voltaje en el punto A-B y que hace deflexionar la bobina móvil, haciendo que se mueva en forma unidireccional indicando la lectura en la escala deseada para un voltímetro, un amperímetro o un óhmetro según sea el diseño del instrumento, como se ve en la figura 2.1.1.

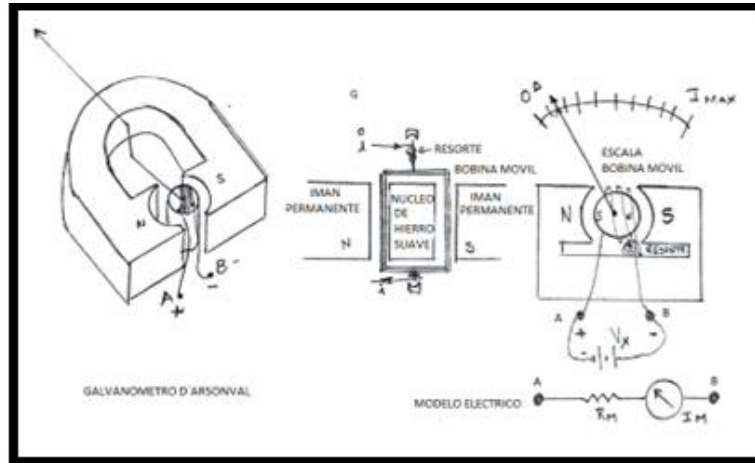


Figura 2.1.1 Galvanómetro D'Arsonval [2][3].

EL MOVIMIENTO D'ARSONVAL

Es el movimiento de un imán permanente desarrollado por D'Arsonval en 1881 y se emplea en los medidores analógicos por su sensibilidad y exactitud extrema, pudiendo detectar corrientes de $1 \mu\text{A}$ y algunos de $1.0 \times 10^{-13} \text{ A}$.

La lectura se mide a través de la aplicación de una corriente en su bobina, haciendo trabajar a esta por la fuerza ejercida en el campo magnético, haciendo deflexionar la bobina móvil de acuerdo con la regla de la mano derecha generando un desplazamiento mecánico en la ajuga indicadora en una escala graduada como se puede ver en la figura 2.1.2.

$$F = iL \times B \quad 2.2.1$$

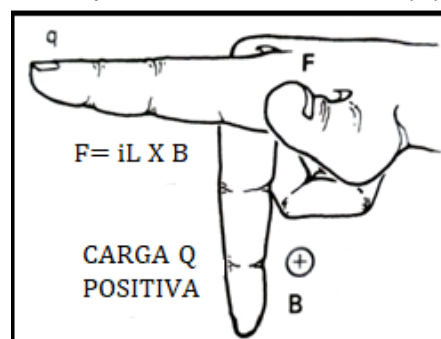


Figura 2.1.2. Regla de la mano derecha

La Fuerza magnética F se define por una ecuación vectorial expresada en Newtons, se transmite por medio de cargas en el conductor de la bobina, la cual genera una corriente i y se orienta dentro de la intensidad de campo magnético B y es cuando se empieza a mover, en el

caso de la regla de la mano derecha el dedo índice indica la dirección de la corriente convencional donde $iL \times B$ es el seno del Angulo que es 90° con valor de 1 y el dedo medio apunta la dirección del campo magnético, este es el principio donde se basa el movimiento de la bobina móvil del medidor, de acuerdo a la ecuación de la bobina móvil. [2][3].

$$\tau = T = B \times A \times I \times N \quad 2.2.2.$$

Donde:

τ es el par torsión (N-m (Newtons- metro)),

B = densidad de flujo en el entrehierro (W/m^2 (Tesla (webers/metro²)))

A = área de la bobina (m^2)

I = Corriente que pasa en la bobina móvil (A(Ampere))

N = número de vueltas en la bobina móvil.

Donde esta ecuación indica el mecanismo bobina móvil de imán permanente, donde el par hace que la bobina deflexione o flote en el campo magnético haciendo que gire la bobina, venciendo la torsión del resorte y así generando una lectura de la variable, estando en equilibrio o estado estable.

Los medidores digitales

Estos medidores han desplazado a los medidores D'Arsonval por mejorar la exactitud y la reducción de errores en la toma de lecturas,

Los multímetros digitales tienen características como: si la exactitud de un medidor analógico es del 0.5%, el medidor digital es de un 0.005%, con exactitudes del +/- 0.1 % o más.

La precisión es mucho mayor según el número de bits de resolución en un microprocesador, haciendo que el procesador sea más rápido y el despliegue de la conversión por comparación sea automática, las partes digitales son complejas y el acondicionamiento de señal se desarrolla con instrumentación. como se ve en la figura 2.1.3.

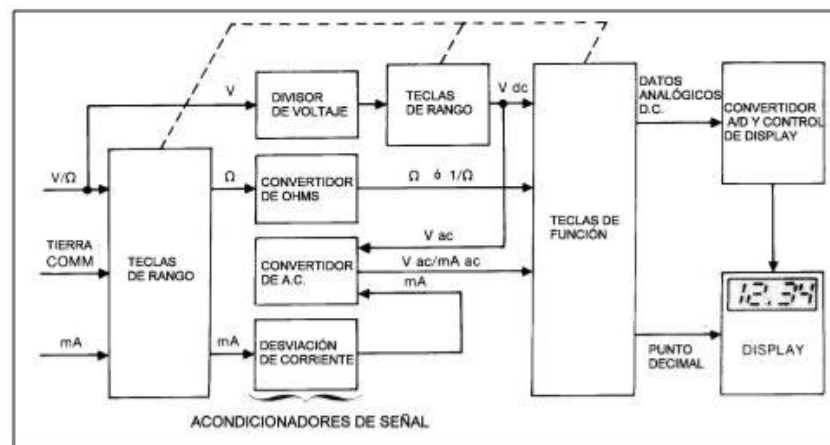


Diagrama de bloques del circuito del multímetro digital

Figura 2.1.3. Diagrama a bloques de un multímetro digital. [9].

Tarea 1. – Describir y explicar con un diagrama a bloques las partes de un multímetro analógico y otro digital de cualquier marca en un documento en Word o en Power Point.

2.1.1. Voltímetro.

Prácticamente se construye el voltímetro medidor de voltaje V con circuito abierto, análogo al modelo Thévenin, para su diseño se conecta en serie con el medidor el miliamperímetro D'Arsonval, que tiene como característica de fabricación una resistencia interna o resistencia del medidor R_m y corriente del medidor I_m como se muestra en la figura 2.1.4. y sus valores de fabricación en la tabla 2.1.1, se proponen rangos de medición como es de 0 - a 10 V, de 0 a 50 V o de 0 a 100 V, según sea el diseño del voltímetro, se basa en un divisor de voltaje y ley de ohm.

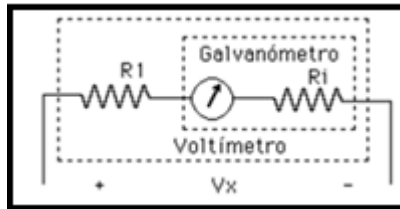


Figura 2.1.4. Resistencia limitadora con el miliamperímetro [2][3].

Tabla 2.1.1 Valores de la resistencia interna del miliamperímetro D'Arsonval

I del miliamperímetro	R_i Resistencia interna o R_M
50 μA	1000 a 5000 Ω
500 μA	100 a 1000 Ω
1 mA	30 – 120 Ω
10 mA	1 a 4 Ω

VOLTIMETRO DE RANGO MULTIPLE

En el diseño de un instrumento de medición de voltaje de corriente directa de c. d. con resistencia multiplicadora se hace la conexión en serie de la resistencia limitadora o multiplicadora R_s con la resistencia del medidor R_m o del galvanómetro donde la corriente del medidor es la corriente de la resistencia limitadora, la calidad de las resistencias determina la exactitud, precisión, linealidad, sensibilidad.

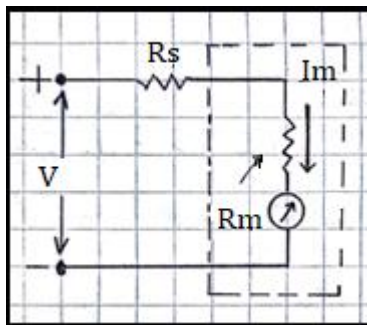


Figura 2.1.5 Voltímetro básico de c. d [2][3].

Aplicando LKV en el circuito de la figura 2.1.5. se tiene:

$$V = V_{R_s} + V_m \quad 2.2.3.$$

Donde:

V = Es el rango de voltaje deseado a plena escala.

I_m = Es la corriente del medidor, según tabla 2.1.1

R_m = Es la resistencia del medidor según tabla 2.1.1

R_s = Resistencia limitadora o resistencia multiplicadora

$$V_{Rs} = I_m \times R_s \text{ y}$$

$$V_m = I_m \times R_m$$

La I de la resistencia R_s y la corriente del medidor I_m son iguales al ser un circuito serie.

$$V = I_m \times R_s + I_m \times R_m = I_m (R_s + R_m),$$

despejando R_s se tiene:

$$R_s = \frac{V}{I_m} - R_m \quad 2.2.4$$

La resistencia R_s va a limitar la corriente del movimiento D'Arsonval en la medición de voltaje para que no exceda la deflexión de la aguja a plena escala.

Para la conexión del voltímetro con varias resistencias de varios rangos se debe de tomar en consideración la relación Ohmio/voltio o sensibilidad del instrumento y los siguientes pasos.

Paso 1.- Calcular R_s en serie con el galvanómetro para cada una de las resistencias.

Paso 2.- Conectar R_1 , y obtener V_1 hasta que llegue hasta plena escala.

Paso 3.- Conectar R_2 , y obtener V_2 hasta obtener la máxima lectura a plena escala

Paso 4.- La relación resistencia interna / voltaje máximo de la escala es una constante del galvanómetro, ya que es igual al inverso que se está utilizando

El principio de operación de un voltímetro de c. d. es el movimiento D'Arsonval conectado en serie con una resistencia multiplicadora serie es la que limita la corriente que pasa por el miliamperímetro de 50Ω o se debe de elegir según el fabricante y tener cuidado que la aguja indicadora no exceda su máximo en la escala graduada del medidor.

Ejemplo 2.1. Se desea construir un voltímetro usando un galvanómetro de c. d. para medir los siguientes rangos, según figura 2.1.6.

(a). - 0 a 1.5 V;

(b). - 0 a 15 V; y

(c). - 0 a 35 V

Si se utiliza un galvanómetro con las siguientes características $I_m = 0.1 \text{ mA}$ y $R_m = 580 \Omega$.

Solución:

(a). – utilizando la ecuación $R_s = \frac{V}{I_m} - R_m$ se tiene $R_s = \frac{1.5 \text{ V}}{0.1 \text{ mA}} - 580 \Omega = 14420 \Omega$

(b). – $R_s = \frac{15 \text{ V}}{0.1 \text{ mA}} - 580 \Omega = 149420 \Omega$

(b). – $R_s = \frac{35 \text{ V}}{0.1 \text{ mA}} - 580 \Omega = 349420 \Omega$

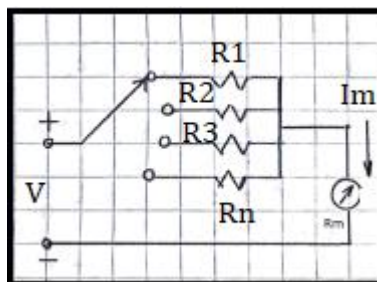


Figura 2.1.6 Voltímetro de c. d. y multi-rango [2][3].

VARIACION DEL VOLTÍMETRO DE RANGO MÚLTIPLE

Otra conexión del voltímetro de rango múltiple es el arreglo de las resistencias en serie con el medidor además tiene un sistema de conmutación tiene resistencias normalizadas son resistencias de precisión y la última resistencia R_m o R_4 se debe de ajustar para que el voltímetro cumpla con su función, para R_T se va tomando la 1ª escala y después la segunda escala hasta completar la última escala como se puede ver en la figura 2.1.7.

$$R_{Tn} = \frac{V}{I_{fsd}} \quad 2.2.5.$$

$$R_4 = R_T - R_m \quad 2.2.6.$$

$$R_3 = R_{T1} - (R_4 + R_m) \quad 2.2.7.$$

$$R_2 = R_{T2} - (R_3 + R_4 + R_m) \quad 2.2.8.$$

$$R_1 = R_{T3} - (R_2 + R_3 + R_4 + R_m) \quad 2.2.9.$$

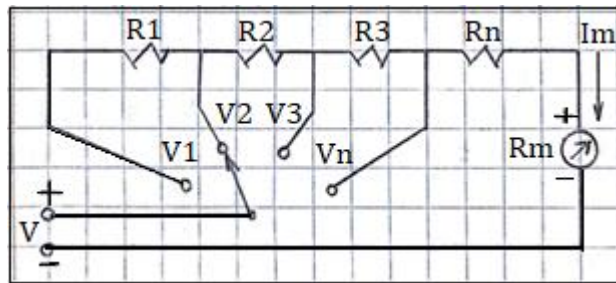


Figura 2.1.7. Voltímetro de Rango Múltiple [2][3].

Ejemplo 2.2. Se va a diseñar un voltímetro multi-rango con resistencias multiplicadoras y se tiene un galvanómetro D'Arsonval con $R_m = 120 \Omega$ y una corriente a plena escala de $I_{fsd} = 1mA$ con escalas de 0a 5V; 0 a 10 V; de 0 a 50 V y de 0 a100 V, según figura 2.1. 7.

Solución:

Para la primera escala de 0 a 5 V se calcula la R_T , para calcular R_4

$$R_{Tn} = \frac{V}{I_{fsd}} R_{T1} = \frac{5V}{1mA} = 5K\Omega, \text{ entonces se calcula } R_4$$

$$R_4 = R_T - R_m = 5000\Omega - 120\Omega = 4880\Omega ; \text{ calculamos } R_{T1}$$

$$R_{T1} = \frac{V}{I_{fsd}} R_{T1} = \frac{10V}{1mA} = 10K\Omega, \text{ entonces se calcula } R_3$$

$$R_3 = R_{T1} - (R_4 + R_m) \quad R_3 = 10k - (4880 + 120) = 5k; \text{ calculamos } R_{T2}$$

$$R_{T2} = \frac{V}{I_{fsd}} R_{T1} = \frac{50V}{1mA} = 50K\Omega, \text{ entonces se calcula } R_2$$

$$R_2 = R_{T2} - (R_3 + R_4 + R_m); R_2 = 50k\Omega - (5k\Omega + 4880\Omega + 120\Omega) = 40K\Omega$$

$$R_{T3} = \frac{V}{I_{fsd}} R_{T1} = \frac{100V}{1mA} = 100K\Omega, \text{ entonces se calcula } R_1$$

$$R_1 = R_{T3} - (R_2 + R_3 + R_4 + R_m)$$

$$R_1 = 100k\Omega - (40k\Omega + 5k\Omega + 4880\Omega + 120\Omega) = 50k\Omega$$

Se observa que solo se normaliza la primera resistencia y las demás resistencias son de precisión.

SENSIBILIDAD DEL VOLTÍMETRO

Se le conoce como **régimen ohms por volt** y es la propiedad que tienen los voltímetros para cada escala de voltaje de tener el cociente de la resistencia total del circuito R_T a responder al voltaje de escala de $1000\Omega/V$, en otras palabras, es el inverso de la corriente de deflexión del movimiento a plena escala.

$$S = \frac{1}{I_{fsd}} \frac{\Omega}{V} \quad 2.1.5$$

Donde S es la sensibilidad del medidor

V = Escala del medidor

I_{fsd} = Corriente del medidor

En el diseño de medidores de voltaje de corriente alterna V c. a. se utiliza el rectificador de onda completa, ya que el de media onda marcaría un error muy grande en la medición, el rectificador de onda completa da como salida un voltaje promedio y un voltaje eficaz, el voltaje rms es el que sirve en el diseño de un voltímetro y se conecta directamente al medidor de D'Arsonval. El proceso debe de considerar el porcentaje de error que marcaría la medición., como se muestra en las figuras 2.1.8 y 2.1.9. [2][3].

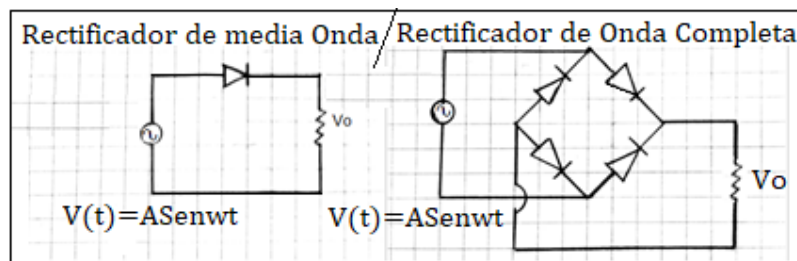


Figura 2.1.8. Rectificadores de media onda y onda completa [2][3].

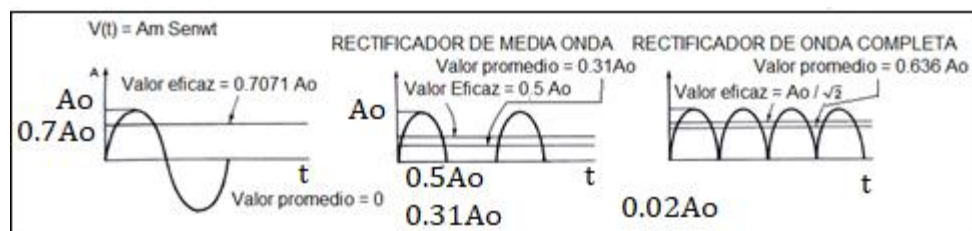


Figura 2.1.9. Rectificación de media onda y onda completa [2][3].

2.1.2. Amperímetro.

Prácticamente se construye el amperímetro medidor de corriente I con el principio del circuito del modelo Norton, para su diseño se coloca en paralelo con el medidor y el miliamperímetro D'Arsonval una resistencia del medidor R_m con características de la tabla 2.1.1, se proponen los rangos de medición como es de 0- a 1 mA, de 0 a 10 mA o de 0 a 100 mA, según sea el diseño del amperímetro y se basa en un divisor de corriente.

Los métodos para medir de corriente emplea instrumentos como son:

- Amperímetros electromecánicos o analógicos
- Amperímetros digitales, directamente o por variable asociada como es el campo magnético efecto hall o por calor.
- Su conexión es en serie entre la fuente y la carga.
- El amperímetro siempre tiene una resistencia interna R_m , que hace que exista inserción en el medidor. (modelo Norton).
- Trabaja por divisor de corriente.
- El amperímetro tiene varias escalas

Si se quiere construir un amperímetro que mida de 0 a I corriente en amperes, se conecta una R_s en paralelo con la R_m formando un circuito Norton, se analiza con como divisor de corriente y se despeja la R_s limitadora, también se puede ver como un arreglo tipo derivación shunt o paralelo y la conexión de un amperímetro se puede diseñar para varias escalas y se debe de calcular cada resistencia shunt para cada escala, como se ve en la figura 2.1.10., las características asociadas son: Corriente máxima a plena escala, resistencia interna, resistencia multiplicadora, exactitud, precisión, linealidad.

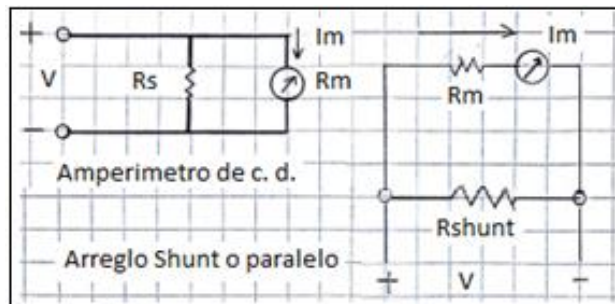


Figura 2.1.10. Amperímetro de c. d. y su arreglo Shunt [2][3].

$$V_{shunt} = V_{movimiento}$$

$$I_s R_s = I_m R_m$$

despejando R_s se obtiene:

$$R_s = \frac{I_m R_m}{I_s}$$

pero como es un divisor de corriente:

$$I_T = I_s + I_m$$

se despeja I_s y se sustituye en R_s

$$I_s = I_T - I_m$$

Se tiene:

$$R_s = \frac{I_m R_m}{I_T - I_m} \quad 2.2.6$$

Ejemplo: Se requiere construir un amperímetro de c. d. con un galvanómetro D'Arsonval con las siguientes características: $I_m = 1\text{mA}$ y una Resistencia del medidor $R_m = 120\ \Omega$, la escala deseada es de 0 a 100mA, calcúlese la Resistencia shunt o en derivación.

Solución:

De la ecuación $I_s = I_T - I_m$ se calcula I_s ; $I_s = 100\text{mA} - 1\text{mA} = 99\text{mA}$

$$R_s = \frac{I_m R_m}{I_s} \quad R_s = \frac{(1\text{mA})(120)}{99\text{mA}} = \underline{1.21\ \Omega}$$

AMPERIMETRO MULTI-RANGO

En el amperímetro multi-rango se pueden derivar varias escalas con interruptor de rango, en la figura 2.1.11 se observa que el circuito tiene 4 derivaciones, entonces para cada rango se puede proponer cada rango de corriente y hay que hacer 4 cálculos para determinar cada resistencia en derivación.

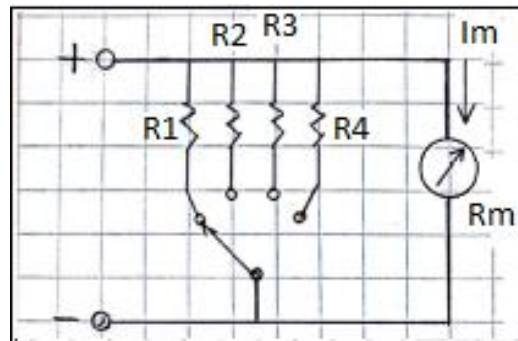


Figura 2.1.11. Amperímetro de c. d. multi-rango [2][3].

AMPERÍMETRO EN DERIVACIÓN AYRTON O DERIVACIÓN UNIVERSAL

Este tipo de arreglo de amperímetro se le llama multi-rango en derivación Ayrton porque tiene 4 derivaciones o pueden ser más para escalas diferentes, la diferencia es que todas las resistencias en derivación quedan en paralelo con el galvanómetro D'Arsonval y el interruptor se posiciona en cada rango seleccionado, hay que recordar que hay que desconectar la energía y conectar en serie el medidor con el elemento a medir la corriente, hay que elegir el rango adecuado para no dañar el galvanómetro, como se observa en la figura 2.1.12. [2][3].

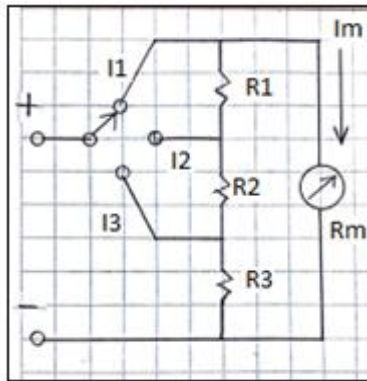


Figura 2.1.12. Amperímetro en derivación Ayrton o derivación universal [2][3].

Este circuito queda en serie con el medidor, por lo que se pueden sumar las resistencias

$$R1 + R2 + R3 = \frac{I_m R_m}{I_s}$$

Ejemplo: Se desea construir un amperímetro en derivación Ayrton con rango de 10 mA, 100 mA y 1 A, con las características del galvanómetro de $R_m = 100$ y $I_m = 1$ mA, y los cálculos son los siguientes.

1.- De la ecuación $I_s = I_T - I_m$ se calcula I_s ; $I_s = 10\text{mA} - 1\text{mA} = 9\text{mA}$

$$R_s = \frac{I_m R_m}{I_s} \quad R_s = \frac{(1\text{mA})(100)}{9\text{mA}} = \underline{11.11\ \Omega}$$

$$R1 + R2 + R3 = 11.11\ \Omega \quad \text{--- 1}$$

$$R2 + R3 = \frac{1\text{mA}(100 + R1)}{9\text{mA}}$$

$$99R2 + 99R3 - R1 = 100\ \Omega \quad \text{--- 2}$$

$$R2 + R3 = \frac{1\text{mA}(100 + R1 + R2)}{9\text{mA}}$$

$$999R3 - R2 - R1 = 100\ \Omega \quad \text{--- 3}$$

Resolviendo las 3 ecuaciones por ecuaciones simultaneas o por determinantes se tiene los siguientes resultados. $R1 = 10\ \Omega$; $R2 = 1\ \Omega$ y $R3 = 0.111\ \Omega$.

2.1.3. Óhmetro.

Un Óhmetro mide el valor de una resistencia R_x como elemento pasivo, por lo que el instrumento debe de tener un elemento activo como es una fuente de voltaje capaz de producir una corriente que pueda ser detectada por el circuito óhmetro, como se observa en la figura 2.1.13.

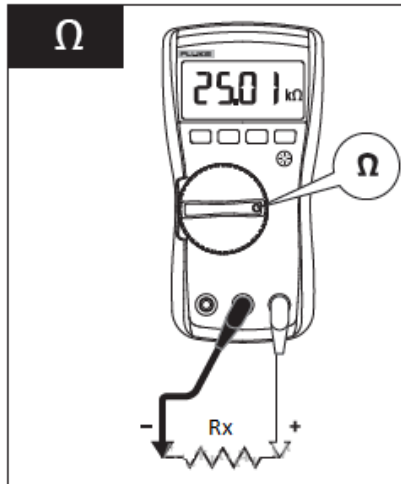


Figura 2.1.13. Medicion de resistencia [9].

La resistencia es una incógnita en circuito abierto ∞ , no circula ninguna corriente por el circuito, entonces se dice que la resistencia incógnita es $R_x = \infty$ o alta impedancia, y la corriente en escala es nula.

Prácticamente se construye un óhmetro si cumple ciertas características para tener una lectura en el instrumento, debe de tener una resistencia para calibrar el ajuste para distintos valores de medicion de resistencias R_d y sí existe una corriente en el circuito con el medidor I_m , como en la figura 2.1.14. se observa que I_d se divide con la resistencia incógnita I_x y I_m .

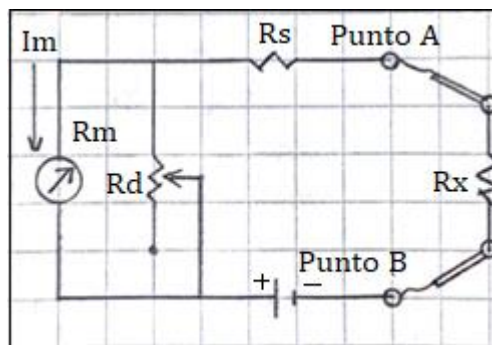


Figura 2.1.14. Óhmetro tipo serie [2][3].

Donde las variables son las siguientes:

R_s = Resistencia limitadora de corriente.

R_d = Resistencia de ajuste a cero en la escala

V = Voltaje de la pila interna

R_m = Resistencia del galvanómetro
 R_x = Resistencia incógnita desconocida.

Pasos para la construcción de un óhmetro.

- Como primer paso se cortocircuita el punto A y el punto B para que exista corriente máxima I_{fsd} y el medidor marque 0Ω en el circuito cerrado, de lo contrario R_d ajustara el valor de la aguja,
- La exactitud de esta calibración depende de la calidad de las resistencias del circuito
- El óhmetro padece de envejecimiento de la batería V para las mediciones de resistencia R_x y es compensado con la resistencia de ajuste R_d .
- Se podría omitir la resistencia de ajuste R_d si no existiera envejecimiento de la batería V , pero el circuito paralelo compensa este efecto mejorando la exactitud del óhmetro.
- Como paso siguiente el diseño del óhmetro se empieza con media deflexión en la escala del medidor y se define como resistencia total del óhmetro R_h reduciendo la corriente a $1/2 I_{fsd}$.

$$R_h = R_s + \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m}$$

- Para asegurar la deflexión a media escala se iguala la R total a $2R_h$

$$I_h = \frac{V}{2R_h}$$

- Y para que exista deflexión a plena escala se duplica la corriente.

$$I_t = 2I_h = \frac{V}{R_h} \quad \text{y la} \quad I_2 = I_t - I_{fsd}$$

- El voltaje del galvanómetro es igual al voltaje en derivación shunt

$$V_{sht} = V_m \quad \text{entonces} \quad I_2 R_2 = I_{fsd} R_m \quad \text{despejando } R_2$$

$$R_2 = \frac{I_{fsd} R_m}{I_2}$$

al sustituir las variables I_2 y I_t queda R_2 y R_s

$$R_2 = \frac{I_{fsd} R_m R_h}{V - I_{fsd} R_h}$$

$$R_s = R_h - \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m}$$

$$R_1 = R_s = R_h - \frac{I_{fsd} R_m R_h}{V}$$

Ejemplo: se desea construir un óhmetro con un galvanómetro D'Arsonval con $R_m = 50 \Omega$ y una corriente de deflexión de $I_m = 1\text{mA}$ con batería interna de 3V , el valor a media escala es R_h de 2000Ω calcule los siguiente:

- Los valores de $R_1 = R_s$ y R_2
- El máximo valor de R_2 para compensar la caída de voltaje en la batería

Solución:

$$\text{a) de la ecuacion } I_t = 2I_h = \frac{V}{R_h} \quad I_t = 2I_h = \frac{3\text{V}}{2000\Omega} = 1.5 \text{ mA}$$

$$I_2 = I_t - I_{fsd} \quad I_2 = 1.5 \text{ mA} - 1\text{mA} = 0.5 \text{ mA}$$

$$R_2 = \frac{I_{fsd} R_m}{I_2} \quad R_2 = \frac{(1mA) 50\Omega}{0.5 mA} = 100 \Omega \text{ y la resistencia en paralelo es}$$

$$R_p = 33.3 \Omega \quad R_1 = R_s = R_h - R_p \quad \underline{R_2 = 100 \Omega}$$

$$R_1 = R_s = R_h - \frac{I_{fsd} R_m R_h}{V}$$

$$R_1 = R_s = 2000 \Omega - 33.3 \Omega = 1966.7 \Omega$$

$$\underline{R_1 = R_s = 1966.7 \Omega}$$

b) $V = 2.7 \text{ V}$ que es menos el 10% de 3V

de la ecuacion $I_t = 2I_h = \frac{V}{R_h} \quad I_t = 2I_h = \frac{2.7V}{2000\Omega} = 1.35 \text{ mA}$

$$I_2 = I_t - I_{fsd} \quad I_2 = 1.35 \text{ mA} - 1 \text{ mA} = 0.35 \text{ mA}$$

$$R_{2Max} = \frac{(1mA) 50\Omega}{0.35 \text{ mA}} = 143 \Omega$$

OHMETRO TIPO DERIVACION

Este tipo de óhmetro en derivación consiste en una batería V con una resistencia de ajuste R_1 y el galvanómetro, la resistencia se conecta en el punto A y el punto B, anexándole un interruptor Sw y opera igual que al óhmetro tipo serie solo con la diferencia que este tipo de óhmetro mide resistencias bajas, el análisis es complejo, ya que se anexa la resistencia en paralelo con el galvanómetro la resistencia shunt R_{sh} y da como resultado R_h , y se ve en la figura 2.1.15. [2][3].

$$R_h = \frac{R_1 R_m}{R_1 + R_m}$$

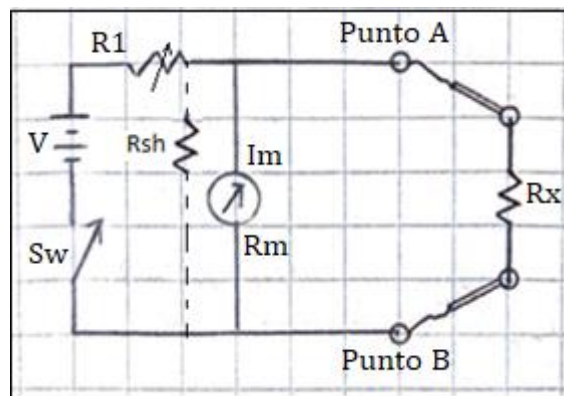


Figura 2.1.15. Óhmetro tipo derivación [2][3].

Ejemplo: Se construirá un óhmetro tipo Shunt, por lo que se supone que se tiene un galvanómetro de 10 mA y se tiene que la resistencia interna del galvanómetro es $R_G = R_m = 5\Omega$, el voltaje de la batería es de 3V, se desea modificar el circuito agregando una resistencia tipo R_{sh} apropiada a través del galvanómetro de tal manera que indique 0.5Ω en el punto central de la escala. Determine:

- i. El valor de la resistencia que se debe de conectar en paralelo.

Solución: Para que deflexione a plena escala se propone

$$I_m = I_G = 0.5 I_{fsd} = 0.5mA \times 10 mA = 5 mA$$

$$Vm = V_G = 5mA \times 5 = 25mV$$

La corriente a través de la resistencia desconocida es $I_x = \frac{25 mV}{0.5\Omega} = 50mA$

$$I_{sh} = I_x - I_G \quad I_{sh} = 50 mA - 5mA = 45 Ma$$

$$R_{sh} = \frac{Vm}{I_{sh}} = \frac{25mV}{45mA} = 0.5555\Omega$$

$$\underline{R_{sh} = 0.5555\Omega}$$

- ii. Así como la resistencia limitadora R_1 .

$$I_T = I_G + I_{sh} + I_x \quad I_T = 5 mA + 45 mA + 50mA = 100 mA$$

La caída de tensión en la resistencia limitadora es de $3V - 25mV = 2.97$

$$R_1 = \frac{2.97}{100mA} \quad 29.75 \Omega$$

$$\underline{R_1 = 29.75 \Omega}$$

Tarea 2: Resolver los siguientes problemas de la siguiente bibliografía.

[2]. – Stanley Wolf. “Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio”, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 07632. 1992.

Capítulo 4 páginas 118 y 119

Problemas 1 al 19 del voltímetro, amperímetro y óhmetro.

[3]. – William D. Cooper, Albert D. Helfrick. “Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición”. Editorial Prentice Hall. 1991.

Capítulo 4 Páginas 99 y 100

Problemas 4-1 al 4-9 del voltímetro, amperímetro y óhmetro.

2.2. Operar y Manejar los medidores Analógicos y Digitales en la medición de corriente y voltaje de c. a. y c. d.

Las partes de un multímetro analógico está compuesto de etapas analógicas construidos con puros circuitos hechos con divisores de voltaje y de corriente, arreglos de circuitos hechos con puentes de medición, físicamente el multímetro analógico se observa en la figura 2.2.1.



Figura 2.2.1. Multímetro analógico.

Como operan y manejan los medidores analógicos y digitales en la medición de corriente y voltaje de c. a. y c. d.

Las reglas que se deben de seguir al utilizar un medidor o multímetro son básicas y son importantes a la hora de utilizarlos como son:

- Un voltímetro se conecta en paralelo con el elemento a medir en el circuito
- Un amperímetro se conecta en serie con el elemento resistivo y la fuente de voltaje, si se conecta en paralelo por equivocación o por negligencia el medidor puede sufrir una avería.
- Se deben de ajustar los niveles de corriente y voltaje del medidor ya que, si es mayor, se puede dañar el medidor de voltaje o corriente, según sea el caso.
- No golpear un medidor analógico, sus partes mecánicas se pueden dañar.
- Se deben de ajustar los niveles de cada rango cada vez que se utilicen y calibrarlos constantemente a cero, antes de conectar la alimentación del voltaje.
- Nunca se debe de conectar un circuito cuando este energizado.
- Todo medidor de c. d. tiene polaridad y se debe de respetar el sentido horario.
- Todo medidor de c. a. no tiene polaridad y se conecta sin importar su polaridad.
- Los campos magnéticos producen interferencia en las mediciones.
- Cuando el medidor no se utiliza Se debe de mantener el medidor en un nivel alto de c. d. para evitar la descarga de la batería interna del medidor o apagarlo.
- Verificar si la batería tiene el mínimo permitido para operar

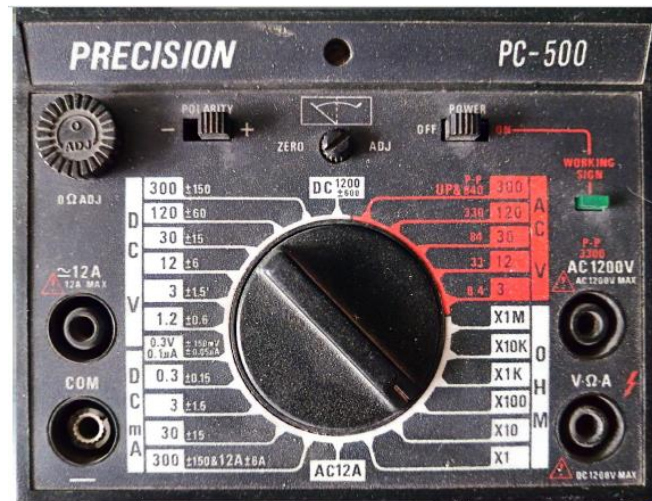


Figura 2.2.3. Escalas de un multímetro analógico.

Los medidores digitales operan con el principio de un convertidor analógico - digital (ADC), además tienen:

- Una pantalla alfanumérica de cristal líquido LCD llamada display
- Un circuito integrado que contiene teclas de rango, teclas de función, convertidor A/D y control de display integrado en un procesador como elemento de conversión y control.
- Circuitos de acondicionadores de señal que conforman (divisor de voltaje, convertidor en ohm, convertidor de a. c. y desviación de corriente)
- Bornes de medición V/Ω, tierra común y borne de medición de corriente en mA.
- El multímetro digital en específico el modelo 87, tiene 7 diferentes funciones:

8. El diseño cuenta con 27 Rangos para la práctica de medición
9. 5 rangos para medir corriente alterna VAC
10. 4 rangos para medir corriente directa VDC
11. 6 rangos para medir resistencia
12. 4 rangos para medir corriente en mA corriente alterna AC
13. 4 rangos para medir corriente en mA en corriente directa DC
14. 2 rangos para medir corriente en μ A en corriente alterna AC y
15. 2 rangos para medir corriente en μ A en corriente directa DC
16. Control en alto contraste
17. fácil lectura, display de 4 $\frac{1}{2}$ dígitos
18. Bajo consumo de energía, y
19. Circuitos de Protección y diseño contra sobrecarga para los rangos seleccionados.
20. Su operación básicamente se basa en el diseño de su circuito integrado de baja escala de integración Low Scale integration (LSI), cuenta con convertidores A/D, como se observa en el diagrama de bloques de la siguiente figura 2.1.4. [2][3][4].

El voltímetro en la medición digital.

Para hacer la medición con un voltímetro se coloca en paralelo el voltímetro con el elemento a medir, la conexión con los elementos que tienen tensión o voltaje, mide la diferencia de potencial eléctrico de un punto positivo (+) con respecto a un punto negativo (-), este método aplica tanto para medir en corriente directa y corriente alterna, además de mV en ambas corrientes, como se observa en la figura 2.2.4.

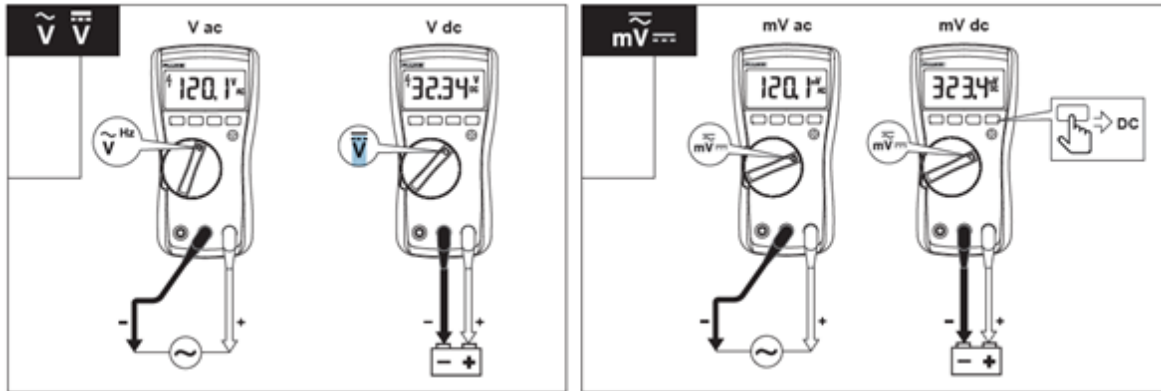


Figura 2.2.4. Medición de voltaje en c. d., en c. a y en mV en ambas corrientes [9].

El amperímetro digital en la medición

Para hacer la medición con un amperímetro se coloca en serie el amperímetro con el elemento a medir, conectando los elementos resistivos donde pasará la corriente I en serie con el medidor, para esto se tiene que hacer lo siguiente: se apaga la alimentación de voltaje, se abre el circuito eléctrico y se conecta el medidor en serie con el circuito, la punta positiva (+) en un extremo y la punta negativa (-) en el otro extremo, si el amperímetro es digital marcará la polarización conectada, pero si es analógico la aguja reflexionara en sentido antihorario, por lo que hay que cambiar las puntas del medidor para que deflexione en sentido horario que es la forma correcta en circuito cerrado y con la alimentación encendida de voltaje se registrara la intensidad de corriente ya sea en μA , mA o amperes como se muestra en la figura 2.2.10.

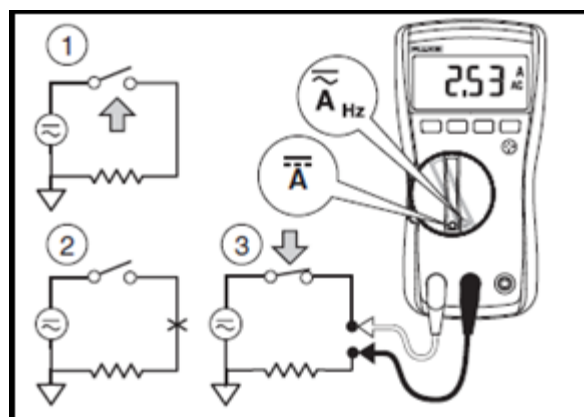


Figura 2.2.10. Amperímetro conectado en serie con el circuito [9].

2.3. Funcionamiento, Operación y Aplicación de otros instrumentos.

Los instrumentos que trabajan en conjunto son: El generador de funciones o de señales y el osciloscopio, la función del primero es de generar las señales básicas para que se apliquen a un circuito electrónico con el propósito de ver el tratamiento de la señal a monitorear por medio del osciloscopio y se pueda medir la señal o el diseño de un circuito electrónico.

Los instrumentos encargados de generar señales de c. d. y c. a. con potencia adecuada como instrumentos y fuentes de voltajes variables con respecto al tiempo se adecuan como generadores de señal o los que pertenecen a una familia de generadores de c. a. y se pueden subdividir como:

- Osciladores de onda senoidal variables y fijos
- Generadores de barrido de frecuencia
- Generadores de pulsos
- Generadores de señal y generadores de funciones

Osciladores de onda senoidal variables y fijos.

Existen osciladores de 1 Hz hasta cientos de Giga Hz con frecuencia amplia e infinidad de diseños electrónicos con componentes resistivos, capacitivos e inductivos para producir este tipo de señales, la combinación en la retroalimentación RC es para salida Senoidal, la combinación en la retroalimentación LC es para salida cuadrada o triangular, puede haber más combinaciones como el corrimiento de fase y los osciladores clásicos Colpitts y Hartley a diferentes frecuencias que generan las frecuencias adecuadas como se muestra en la tabla 2.3.1.

Tabla 2.3.1. Tipos de osciladores.

Tipo de oscilador	Rangos de Frecuencia
Puente de Wien RC Senoidal	1 Hz a 1 MHz
Corrimiento de fase RC (senoidal)	1 Hz a 10 MHz
Hartley LC	10 k Hz a 100 MHz
Colpitts LC	10 k Hz a 100 MHz
Resistiva de factor negativo	> 100 MHz
Cristal de cuarzo	Frecuencias Fijas

Generadores de barrido de frecuencia.

Son instrumentos que generan señales senoidales de una frecuencia inicial a una frecuencia final llamado barrido o sweep de magnitud lineal o logarítmica, usados para medir respuesta de los amplificadores, filtros y en aplicaciones en anchos de banda WB en televisores y circuitos de radar.

Generadores de pulsos.

Son instrumentos diseñados para generar **periodos** de trenes de pulsos de **Amplitud** constante de voltaje pico (V_p) o con polaridad positiva o negativa, con **ciclos de trabajo** con tiempos del 50 % de encendido (on) y 50 % de apagado (off), con **ancho de pulso** generado como una onda cuadrada principalmente, aunque se le puede variar el ciclo también la frecuencia, se puede controlar las características aproximadas a lo real. [5][6][7][9].

2.3.1. Generador de señales.

Los generadores de señal y los generadores de funciones o multifunción se diferencian en que el primero puede generar unas señales básicas, además de específicas para Rf, oscilador modulador, señales de AM o FM, y los segundos tienen las señales estándar que todo laboratorio de electrónica debe de tener.

Los generadores de señal están diseñados para poder excitar un circuito o un sistema, con el objetivo de simular cualquier condición de señal de entrada que pueda darse en la práctica y facilitar el análisis y procesamiento de la señal en condiciones de amplificación, de análisis y construcción de un circuito.

Los generadores analógicos y digitales están diseñados internamente con osciladores de señal que generan formas de onda con señales senoidales, triangulares, onda cuadrada, señal arbitraria y ruido, a diferentes frecuencias, con su respectiva amplitud en c. d. y c. a. que pueden controlarse a través de mandos externos con escalas numéricas, todo integrado en un equipo generador de funciones o generador de señales.

El generador de funciones y sus controles

Los generadores de funciones son equipos que producen señales de voltaje en c. a. y en c. d. seleccionable aparte de las fuentes de voltaje de corriente continua son equipos complementarios de los osciloscopios donde se observan las señales de entrada o de salida.

El Funcionamiento de un generador se compone de la generación de señales cuadradas, triangulares y senoidales, un circuito VCO u oscilador controlado por voltaje también llamado biestable, que genera tensión en forma de onda cuadrada que trabajan en conjunto con los moduladores de frecuencia o FM, cuentan con ajuste de frecuencia, además los moduladores de amplitud dan el voltaje de amplitud a la salida con su ajuste de amplificación y ajuste de offset. Las etapas de construcción de un generador de funciones se observan en la figura 2.3.1.

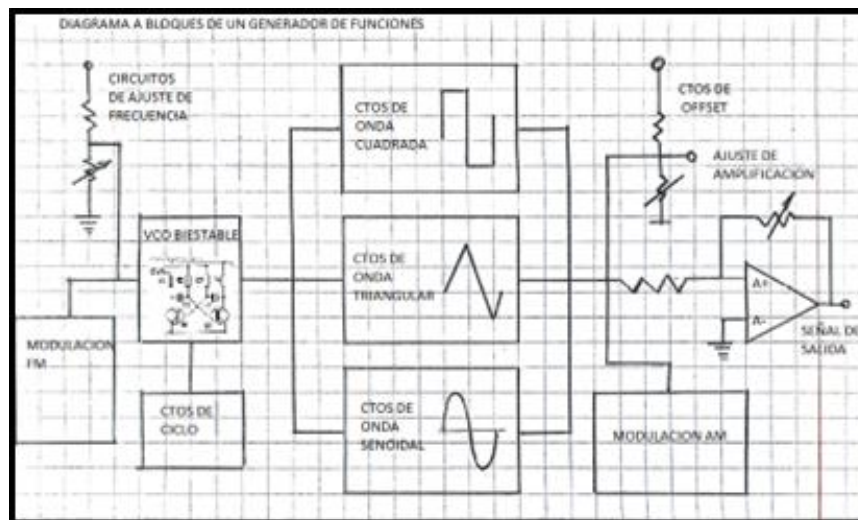


Figura 2.3.1. Diagrama a bloques de un generador de funciones analógico.

La operación y aplicación de un generador de señales se da con el uso de los controles en su panel frontal, que muestran la operación de sus circuitos de señal de este equipo electrónico y se debe de conectar el canal 1 o 2 a la entrada de circuito propuesto para su análisis o al proyecto electrónico y por la salida del circuito observar a través del osciloscopio las señales deseadas, los botones de selección dan las características de la señal, frecuencia deseada, comandos y funciones controlan la señal y estas son:

- **Señales senoidales**, Esta señal es la de más aplicación en el diseño de circuitos por la facilidad de mostrar el comportamiento de un inicio de señal hasta un voltaje pico y después regresar a un nivel mínimo pasando por un cruce por cero, es aplicable a la electrónica analógica, electrónica digital, electrónica de potencia, circuitos amplificadores, circuitos de sonido, entre otros circuitos.
- **Señal Triangular**. – Es una señal generada de forma de triangulo con una variación lineal de señal con 2 rampas, una con pendiente positiva o creciente, llegando a un nivel de voltaje pico (V_p) y después con una pendiente negativa o decreciente ($-V_p$).
- **Señal cuadrada**. – Es una señal que tiene 2 niveles de tensión fijos: una con nivel positivo y otra con nivel negativo con variaciones bruscas en el cruce por cero, formando un escalón unitario, que pasa de un nivel a otro.
- **Las 3 señales** pueden ser controladas para variar su nivel, periodo, semi periodos o cuasi – complementarias, simétricas y otras funciones que marca el generador
- **Ciclo de Trabajo**. – Esta función es conocida como **Duty-Cycle**, porque su operación es del 50 % y puede variar el ciclo de acuerdo con el porcentaje deseado.
- **Barrido**. - Función conocida como sweep, que produce una variación continua de frecuencia entre dos extremos prefijados inicialmente, y pueden verse en una cuadrícula del osciloscopio, aplicables a diseño de filtros, cortes de frecuencia, gráficos de señal, circuitos de amplificación, entre otras aplicaciones. Los dos métodos para efectuar un barrido de frecuencias son: lineal y logarítmica.
- **Variación lineal**. - Es una variación de la frecuencia con respecto al tiempo en intervalos, transcurrido el tiempo en un periodo.
- **La variación logarítmica**. - Se obtiene el incremento de la frecuencia con múltiplos de 10, en décadas, de 0 a 10 Hz, 100 Hz, 1 KHz, 10 KHz, 100KHz, 1MHz, 10MHz o 25 MHz o en múltiplos de octavas, 16 avas, 32 avas, 64 avas, o de modo manual, todos los generadores de señal tienen funciones básicas, otros tienen más funciones.
- **Variación de amplitud**. Esta función controla el nivel de amplitud de la señal en volts con una corriente de 100 mA o más, de amperaje limitado.
- **Banda de frecuencias**. – Tiene controles externos de frecuencia y amplitud de salida para generar barridos o sweep a través de sus comandos, modulación FM y modulación AM, entre otros barridos).
- **Margen de medicion**. – las señales que produce el generador de funciones son medibles con el osciloscopio.
- **Ajuste de Frecuencias**. – cuentan con ajuste por conmutación de frecuencias o por ajuste fino por potenciómetro.

- **Precisión.** – En selección fina cuentan con un 0.1 % de exactitud en generación de señal ajustable.
- **Formas de Onda.** – Producen las básicas, senoidal, cuadrada, triangular, ruido y señal arbitraria, aunque se puede consultar el manual de operación del generador.
- **Distorsión.** – Según hoja de datos cuentan con 0.1 % de THD.
- **Nivel de salida.** – Ajustable a la amplitud de voltaje de 1 milivolt, de 0 a 1 V o de 0 a 10 V, según hoja de datos del fabricante.
- **Resistencia interna.** – Según fabricante es de 50 Ω , 100 Ω hasta 1 K Ω .
- **Carga máxima.** – La carga máxima después de los K Ω a los Mega Ω , donde sufre los efectos de carga y la atenuación de la señal es generada.
- **Atenuador.** – La atenuación es de 1 x 10, aunque esta función se encuentra en algunos equipos o la tiene la punta de los osciloscopios o de los controles de este.
- **Precisión del nivel de salida.** – Según fabricante del 0.1 % o más exacto.
- **Respuesta en frecuencia.** – Se encuentran en el orden de los GHz.
- **Barrido y margen de barrido frecuencias.** – Se da con el ajuste fino y con el conmutador de selección de frecuencias.
- **Sincronización de señales externas.** – Se opera a través del Trigger externo para sincronización de señales externas.
- **Modulación de amplitud.** – Algunos generadores cuentan con esta función, aunque es característica de los generadores de señales.

La representación en forma lineal se da por la variación proporcional de frecuencia con respecto al tiempo a través de una perilla manual, y de forma logarítmica se da en rangos de barridos de 1Hz, 10Hz, 100Hz, 1 kHz, 10 kHz y 1-25MHz por selectores de rango.

Las partes de un generador de funciones se muestran en la figura 2.3.2 y son:

- a) Botón de Power. – Función de encendido y apagado con monitoreo de señal de encendido.
- b) Botones selectores. – De señal senoidal, cuadrada, rampa, pulse, señal arbitraria y ruido o noise.
- c) Botones de selección de comandos como son: frecuencia, offset, fase, entre otras funciones.
- d) Funciones de control. - Source, mod, reset, help.
- e) Teclado numérico. – Sirve para dar el ajuste fino a la amplitud y a las frecuencias seleccionadas, se elige (freq) y después se da el valor numérico por el teclado, lo mismo sucede con la amplificación.
- f) Perilla de ajuste, el numeral digital se puede cambiar por un ajuste fino con la perilla manual.
- g) Conectores de Salidas. - Dispone de 2 canales, canal 1 y canal 2, seleccionables por el output.
- h) Entrada USB. – Sirve para grabar una señal o interactuar con funciones del manual del generador.

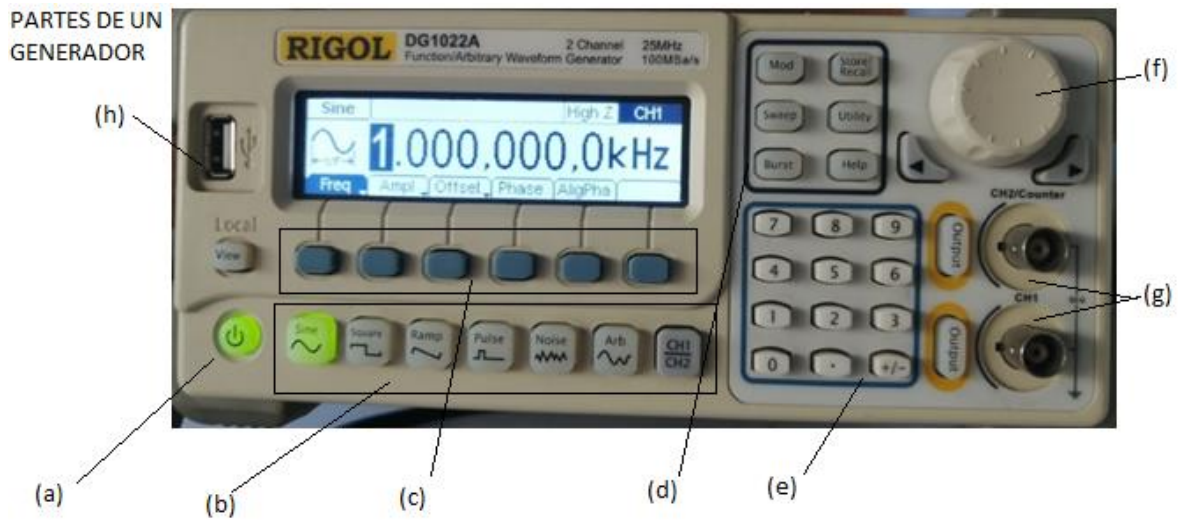


Figura 2.3.2. Generador de funciones de una marca comercial [33].

2.3.2. Osciloscopio analógico y digital

El osciloscopio analógico o digital es un instrumento de los llamados universales de uso en laboratorios, talleres de electrónica y desarrollo de circuitos electrónicos, permite visualizar las magnitudes de voltaje, tiempo, diferencia de fase, variaciones de frecuencia y corriente con un circuito convertidor de corriente a voltaje y poder observar la variable en cualquier punto del recorrido de la señal en un circuito, en la entrada, en la salida o en un punto determinado mostrando en la pantalla variaciones de voltaje en milisegundos, microsegundos o de cualquier magnitud con respecto al tiempo en segundos y en magnitud limitada, auxiliando al estudiante, docentes, técnicos en electrónica o profesionistas a medir lo que pasa en el circuito ya sea de tipo eléctrico o electrónico.

Las ventajas del osciloscopio con respecto al multímetro son el mayor rango de medición en sus diferentes magnitudes (V_{rms} , V_{pp} , V_p , mV, entre otras) y el multímetro está más limitado a mediciones básicas V_{rms} , V_p , entre otros, aunque hay multímetros que se acercan a un osciloscopio, destacando ventajas sobre otros equipos de medición, mostrando solo valores de voltaje y corriente, pero de muestreo en frecuencia.

Funcionamiento, operación y aplicación

El funcionamiento de un osciloscopio básico se basa en el control de sus funciones que hacen que este equipo sea versátil en su forma de mostrar las señales y por medio de ellas lograr ver lo deseado de una señal, las características principales son:

- Pantalla o tubo de rayos catódicos CRT
- Amplificadores horizontales y verticales
- Número de entradas
- Puntos de calibración
- Impedancia de entrada
- Respuesta en frecuencia
- Sensibilidad
- Sincronización
- Memoria
- Trigger o disparo
- Puntas de prueba y multifunción o multiuso
- Fuente de poder o de energía
- Pantalla o tubo de rayos catódicos CRT

La pantalla fluorescente de fósforo está formada por un tubo de rayos catódicos o CRT donde se muestran las señales a analizar, el haz de electrones parte de un cañón electrónico donde se generan los electrones por un circuito excitador como cátodo positivo y llegan a la pantalla donde se muestra la señal a analizar y pasa por una rejilla de intensidad luminosa como polo negativo, en los controles del osciloscopio se debe cuidar la intensidad para no quemar la pantalla con exceso de luminosidad, ya que el 90 % es energía y el 10 % es brillantez.

Este CRT está fabricado al alto vacío donde se encuentran los filamentos de enfoque y de una rejilla de intensidad de haz como polo negativo.

- Circuitos amplificadores de deflexión horizontal y vertical

Los amplificadores de deflexión se le llama directamente acoplados porque amplifican c. d. y c. a. Controlan la dirección del haz, que es dirigido por 2 campos electrostáticos con las placas de deflexión horizontal y las placas de deflexión vertical controladas por una diferencia de potencial en los campos magnéticos de las bobinas, si no hay diferencia de potencial en ellas el haz golpea la pantalla en el centro, y para desviar el haz un centímetro en la pantalla, la diferencia de potencial en las bobinas de estas placas debe de ser de +/- 50 volts y esto hace que el haz se mueva en la pantalla hacia arriba o hacia abajo y con los circuitos de control se pueda controlar el haz.

- Número de entradas

Hay osciloscopios que tienen una entrada simple o de un solo canal, pero la mayoría tiene 2 canales de entrada, de forma diferencial, 4 canales y con generador de funciones integrado, cada canal registra los barridos (sweep) de cada señal de onda aplicada por el generador de funciones, como se observa en la figura 2.3.2. se pueden ver las señales de las ondas senoidales, cuadradas, triangulares, señal arbitraria y ruido blanco, y con puntas especiales se pueden ver otro tipo de señales, con sus respectivos periodos o ciclos de trabajo (Duty-cycle), entregando una variación de frecuencias y periodos en forma lineal y logarítmica de cada una de ellas, cada señal se puede muestrear por partes con sus respectivos controles de frecuencia y o de atenuación.

- Impedancia de entrada

Se encuentra en el orden de 1 M Ω , aunque se puede elevar con sondas especiales.

- Respuesta en frecuencia

Varía según los modelos y fabricantes, hay de 50 kHz, 25 MHz, 100 MHz, 200MHz hasta 500MHz los típicos son de 25 MHz, entre otras respuestas en frecuencia.

- Sensibilidad

Se pueden ver señales de milivoltios, decenas, centenas de voltios, y con sondas especiales se pueden ver de más voltaje.

- Base de tiempos

Se pueden observar a través del control de volts/división la lectura de los voltajes en forma sincronizada y repetida.

También se observa a través del control de tiempo/división los barridos de frecuencia, las señales aplicadas influyen en la sincronización de las placas deflectoras horizontal y vertical. Se pueden muestrear señales de fracciones de microsegundos a segundos.

- Sincronización

Puede haber sincronismo interno y sincronismo externo según el conmutador de selección, el interno se da por la señal de entrada que da referencia a un generador de pulsos, que genera pulsos de referencia para hacer los disparos para el generador de barrido y se empieza a producir la onda deseada sincronizada con los periodos de tiempo en los amplificadores horizontales y verticales.

En el caso de sincronismo externo (line Trigger) y se controla a través del nivel de disparo (Trigger level) y la señal de la fuente.

- Memoria

Algunos osciloscopios ofrecen el recurso de imagen de persistencia o de stop, donde se congela la señal y puede ser salvada en una memoria externa ya sea USB o micro USB,

Un diagrama a bloques muestra las partes más importantes de un osciloscopio como se muestra en la figura 2.3.3.

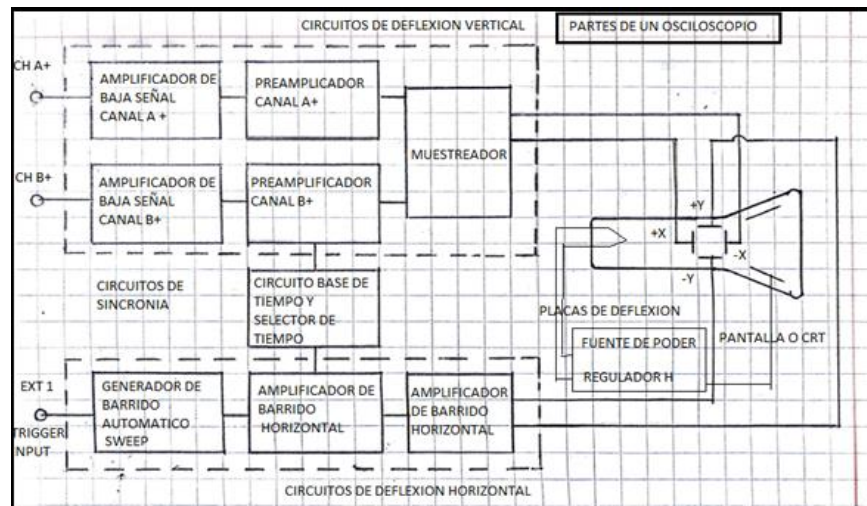


Figura 2.3.3. Diagrama a bloques de un osciloscopio típico [11].

La operación de un osciloscopio empieza en la estrictamente en seguir los siguientes pasos:

Paso 1.- Calibración del osciloscopio.

- Para calibrar el osciloscopio de debe de conectar la punta de un canal con una punta a la vez del canal 1 o 2, esta conexión genera una medición de un pulso de 5 Volt p-p con una frecuencia de 1 KHz. Esta señal se debe de visualizar en la pantalla, calibrando volts división y tiempo división.
- Se conecta la punta del osciloscopio del canal 1 en la entrada del circuito electrónico junto con el generador de funciones, este inyecta señal al circuito, y el canal 2 se conecta a la salida del circuito a analizar.
- Se utilizan las utilerías de los comandos, funciones del osciloscopio, para eso hay que leer partes del manual del osciloscopio parte por parte conforma se va utilizando las partes de este.

Las partes de un osciloscopio se muestran en la figura 2.3.4. y son:

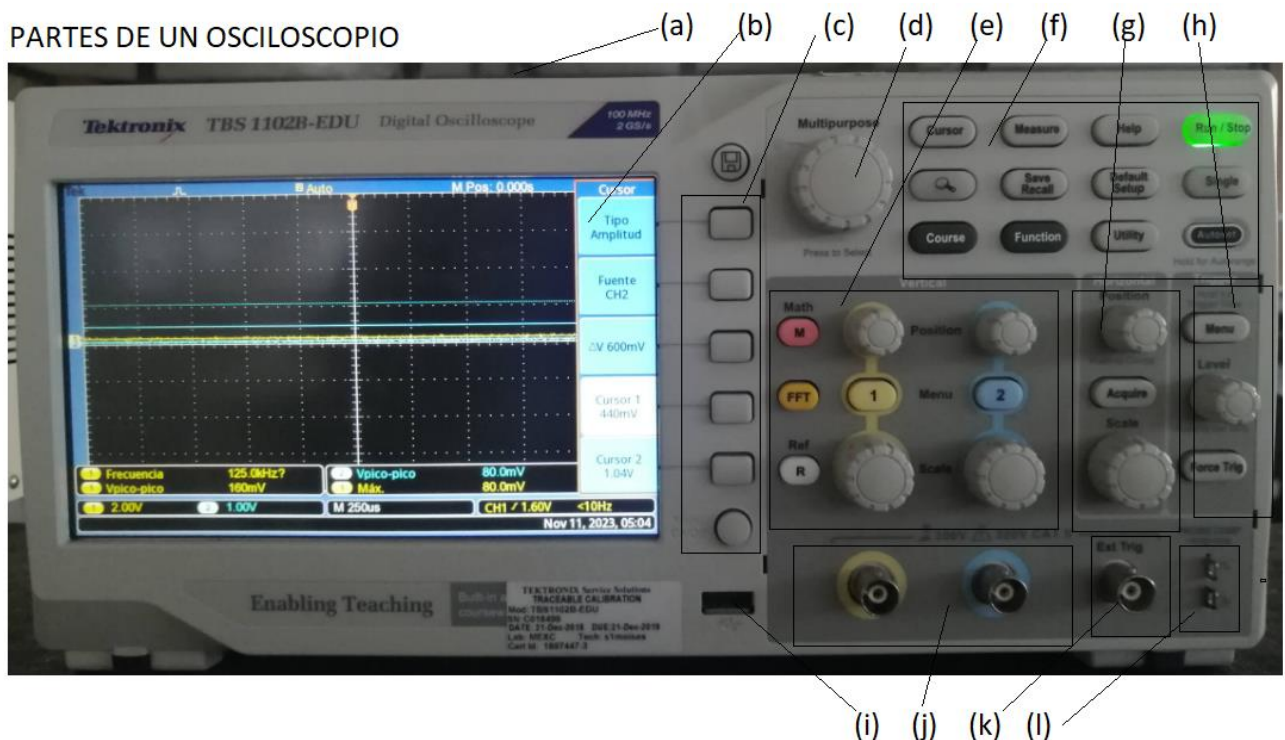


Figura 2.3.4. Partes de un osciloscopio de 2 canales [11].

- d. - Botón de Power. – Función de encendido y apagado con monitoreo de señal de encendido.
- e. – Pantalla del osciloscopio donde muestra las señales, los comandos y los valores de las mediciones de voltaje, así como los canales en operación.
- f. - Botones de selección. Muestra la selección de los comandos mostrados en la pantalla del osciloscopio.
- g. - Botón multipropósito, trabaja con los comandos de la pantalla.
- h. - Control vertical o control del canal 1 y canal 2, activa y desactiva los canales a trabajar, controla la posición de la señal en magnitud del voltaje, menú y escala de la magnitud a medir.
- i. - Botones de utilerías como control de cursores, measure, help, run/stop, auto-set, entre otras funciones.
- j. - Control horizontal o tiempo división, controla la posición, adquisición y escala de la frecuencia o control del tiempo.
- k. - Trigger, control de la entrada de disparo externo
- l. - Entrada USB para salvar los oscilogramas de pantalla.
- m. - Puertos de entrada del canal 1 y canal 2, donde se conecta la punta del osciloscopio.
- n. - Entrada del Trigger o disparo externo.
- o. - Puntas de calibración de los canales 1 y 2, un conector genera un pulso de 5 Volts pico a pico con una frecuencia de 1 KHz.

Los comandos se pueden consultar en los manuales de cada osciloscopio a manejar [8][10].

La aplicación de un osciloscopio es análisis, observación y medición de un circuito electrónico, proyecto prototipo, prácticas de electrónica analógica y electrónica digital o una tarjeta electrónica, conectando un canal 1 en la entrada utilizando una punta de osciloscopio especial como se observa en la figura 2.3.5., con atenuadores y multiplicadores de señal 1 x 10 y otro al canal 2 en la salida del circuito, observando y analizando la señal utilizando los controles de volts/división y tiempo /división y salvando los oscilogramas. [11].



Figura 2.3.5. Punta de un osciloscopio básico [11].

Actividad del osciloscopio y generador se ven en la practica 2.

MEDICIONES ELECTRICAS /ETD-1021
PROFESOR:

Nombre y Numero de la Practica	PRACTICA # 2 Instrumentos básicos y avanzados. Osciloscopio y generador de funciones.
Objetivo de la práctica.	El alumno será capaz de: Utilizando el simulador Proteus u otro simulador, electrónico y basándose en los problemas de diseño vistos en clase simule y construya los siguientes diseños: - Un voltímetro analógico de 3 rangos - Un amperímetro analógico de 3 rangos - Un óhmetro analógico de 3 rangos - Explicar los conceptos básicos de valor pico, promedio, RMS, utilizando mediciones reales según los siguientes puntos. – Con circuitos básicos de c. d. y c. a. hacer mediciones de valores de voltaje pico, rms, pico-pico, promedio, de señales generadas por el generador de funciones y medición de periodos, fijar con el generador a diferentes frecuencias y diferentes voltajes, con un circuito oscilador 555 u otro circuito oscilador que genere tiempo aleatorio medir en un osciloscopio Según tabla G1. • Con un generador de señales, osciloscopio analógico y/o digital, realizar mediciones de voltaje, frecuencia, tiempo división, y lo que indique el docente en diferentes escalas, usando las fuentes de voltaje de c. d y c. a. con el osciloscopio y generador de funciones con circuitos de prueba. 3). - Conectar el osciloscopio en forma X- Y para generar figuras de Lissajous igualando las frecuencias involucradas. Mostrar al docente su medición.
Introducción	• Explicar el funcionamiento del generador de funciones y del osciloscopio de forma general para la medición de voltaje y tiempo. • Investigar en diferentes fuentes de información, las aplicaciones y características de los instrumentos avanzados, como son el generador de señales, la fuente de voltaje y el osciloscopio. • Realizar prácticas de laboratorio donde emplee de manera correcta los instrumentos básicos y avanzados.
Descripción	• Con la teoría vista en clase y de investigación realizar mediciones con el osciloscopio. • Pedir el manual de operación de los generadores de funciones, fuentes de voltaje y los osciloscopios del laboratorio para leer y aprender su funcionamiento.
Tiempo estimado	• El propuesto por el docente, incisos (a), (b), (c), (d) y (1), (2) y (3).
Observaciones	v. Tomar nota del seguimiento y desarrollo de cada paso. vi. Tomar nota de cada circuito de medición vii. Comparar los datos obtenidos de la práctica con la teoría.

	iii. Elaborar un reporte con los siguientes pasos:
Reporte.	a). – Caratula b). - Objetivos c). - Desarrollo d). - Diagramas eléctricos e). - Observaciones y conclusiones.
Lista de Materiales	Fuente de voltaje variable de c.d. y c.a, 1 tablilla de experimentos (Proto board), resistencias de valores variables, ejemplo: 1Ω , 50Ω , 100Ω , $1K\Omega$ y $10K\Omega$ de 1/2, 1 Watt, 2 Watts, 1 Multímetro digital, 1 galvanómetro o multímetro analógico, Generador de funciones, osciloscopio, cable telefónico o Jumper, pizas de corte y de punta.

TABLA_G1

GENERADOR DE SEÑALES ANALOGICO	OSCILOSCOPIO ANALÓGICO		GENERADOR DE ONDAS DIGITAL	OSCILOSCOPIO DIGITAL	
ONDA SENOIDAL, CUADRADA, TRIANGULAR, RUIDO ALESTORIO Y MULTIVIBRADOS ASTABLE Y MONOESTABLE.					
10 Hz	Vp:	f :	10 Hz	Vp:	f :
	Vm:	T:		Vm:	T:
	Vrms:			Vrms:	
100 Hz	Vp:	f :	100 Hz	Vp:	f :
	Vm:	T:		Vm:	T:
	Vrms:			Vrms:	
1 kHz	Vp:	f :	1 kHz	Vp:	f :
	Vm:	T:		Vm:	T:
	Vrms:			Vrms:	
10 kHz	Vp:	f :	10 kHz	Vp:	f :
	Vm:	T:		Vm:	T:
	Vrms:			Vrms:	
100 kHz	Vp:	f :	100 kHz	Vp:	f :
	Vm:	T:		Vm:	T:
	Vrms:			Vrms:	

1 MHz	V _p :	f :	1 MHz	V _p :	f :
	V _m :	T:		V _m :	T:
	V _{rms} :			V _{rms} :	
10 MHz	V _p :	f :	10 MHz	V _p :	f :
	V _m :	T:		V _m :	T:
	V _{rms} :			V _{rms} :	
20 MHz	V _p :	f :	20 MHz	V _p :	f :
	V _m :	T:		V _m :	T:
	V _{rms} :			V _{rms} :	
25 MHz	V _p :	f :	25 MHz	V _p :	f :
	V _m :	T:		V _m :	T:
	V _{rms} :			V _{rms} :	

TEMA 3

Medición de Parámetros

3.1. Medición y prueba de dispositivos y elementos.

El objetivo de esta unidad es determinar cómo medir, evaluar y saber si los elementos pasivos (resistencia (R), inductancia (L) y capacitancia (C) y elementos activos (diodos, transistores y transistores efecto de campo, circuitos integrados (C.I.) como son compuertas digitales) tienen propiedades idóneas para utilizarlos en las prácticas de diseño de circuitos.

Para la medición y prueba de estos elementos es necesario contar con un multímetro analógico o digital.

Medición de los Dispositivos Pasivos:

Para medir los elementos pasivos como son las resistencias, capacitores e inductores es necesario saber cómo se construyen y saber que son ejemplos de estos dispositivos porque la potencia entregada a estos dispositivos a lo largo de un periodo de tiempo infinito siempre es mayor o igual a cero, excepto en las resistencias la potencia se transforma en calor.

Elementos Pasivos. – Son elementos que aseguran la transmisión de las señales eléctricas o modifican su nivel, no producen amplificación y controlan la electricidad de alguna manera, se polarizan junto con los elementos activos y modifican la señal que pasa a través de ellos. Los elementos pasivos son dispositivos que se polarizan con voltaje y corriente, los capacitores e inductores son ejemplo de elementos de almacenamiento de energía, las resistencias disipan la potencia en forma de calor a lo largo de un periodo infinito de tiempo y siempre es mayor o igual a cero en un sistema de referencia con respecto al tiempo.

Elementos Activos. – Son elementos que pueden generar excitación eléctrica en un circuito eléctrico, son generadores eléctricos y dispositivos de amplificación como son los semiconductores y dispositivos con comportamiento no lineal, los ejemplos de estos elementos son: las fuentes de alimentación de C.D. generadores de C.A. elementos que modifican las señales como son: transistores bipolares BJT (Bipolar Junction Transistor) y FET's (Field Effect Transistor) llamados transistores efecto de campo o unipolares, amplificadores operacionales (OpAmp), y los dispositivos de electrónica de potencia como son los DIACs y TRIAC, los circuitos digitales o compuertas lógicas, dispositivos de optoelectrónica, entre otros dispositivos, además, pueden modificar la señal de entrada, amplificada o recortada.

Medición de los Dispositivos Activos:

Para medir los elementos activos, es necesario saber cómo trabajan estos elementos.

3.1.1. Resistencias.

La medición y prueba del elemento llamada resistencia consiste en medir la propiedad de la resistividad del material que se opone al flujo de electrones, dejando pasar solo una cantidad de carga eléctrica o la corriente que pasa a través del flujo de electrones, su unidad es el ohmio (Ω), los electrones que pasan en forma de carga y colisionan con los átomos del material producen temperatura en la resistencia y son liberados en forma de calor o de energía.

En electrónica las resistencias se usan para regular el voltaje o limitar la corriente en los circuitos eléctricos o de diseño de redes eléctricas, el inverso de la resistencia se llama conductancia.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad 3.1$$

Donde:

R = Resistencia en ohmios

ρ = Resistividad en ohmios- metros

l = Longitud en metros

A = área transversal en metros²

Algunos de los valores de resistividad de materiales diversos se pueden ver la tabla 3.1.1.

Tabla 3.1.1. Resistividades de diferentes materiales [1].

Material	Resistividad ρ (ohmios- metro)
Plata	1.47×10^{-8}
Cobre	1.72×10^{-8}
Aluminio	2.63×10^{-8}
Oro	4.7×10^{-8}
Hierro	10.0×10^{-8}
Constantán	49.0×10^{-8}
Nicromo	100.0×10^{-8}
Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$
Madera	$10^8 - 10^{11}$
Sulfuro	10^{15}
Caucho duro	$10^{13} - 10^{16}$

Ejemplo 3.1. Se sabe que el oro tiene cierta resistividad, por lo que se pretende obtener la resistencia de un alambre de oro de 2 metros de longitud y área transversal de 1 mm^2 .

$$\text{Solución: } R = \rho \frac{l}{A} \quad R = 4.7 \times 10^{-8} \frac{2 \text{ m}}{1 \times 10^{-6}} = 0.094 \Omega$$

Nota: Se observa que su resistencia es muy pequeña, ya que es un conductor.

La fabricación de los tipos de resistencias se muestra en la tabla 3.2. y en la figura 3.1.2.

Tabla 3.1.2. Rangos de diferentes resistencias [12].

Tipos	Rangos	Tolerancias	CT Cef. Temp.	Potencia Max.
Compuesto de carbón	1Ω-22 MΩ	5- a 20 %	0.1%/°C	2 W
Alambre devanado	1Ω-100kΩ	0.0005%	0.0005%/°C	200 W
Película de metal	0.1Ω-10 ¹⁰ Ω	0.005%	0.0001%/°C	1W
Película de carbón	10Ω-100 MΩ	0.5 %	0.15-0.05%/°C	2W

La fabricación de las resistencias más comunes de características lineales y no lineales y por su fabricación las hacen de composición de carbón, alambre devanado, película de metal, película de carbón, potenciómetros, porcelana, de plata, oro o dicromo, entre otros materiales.

El objetivo de producir caídas de tensión en puntos determinados de los circuitos y limitar la corriente que pasa por diversos puntos se fabrican elementos resistivos de los que se conoce sus características más comunes comercialmente hablando y son:

El valor nominal óhmico está marcado en el cuerpo del elemento resistivo.

La **tolerancia** es el porcentaje, más o menos, sobre el valor nominal, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ según fabricante de los diferentes resistores.

El coeficiente de temperatura: la resistencia varía con la temperatura. Es la variación de la temperatura con respecto al tiempo, y se puede calcular en función de la formula del coeficiente de temperatura: $R_T = R_0 (1 + \alpha T)$.

La potencia nominal, es la potencia que se disipa en el resistor a temperatura ambiente de 20 a 25°C. si la potencia es mayor, mayor será el tamaño del cuerpo del resistor.

La tensión límite nominal, es la máxima tensión que soporta el resistor.

Existen tres tipos de resistencias, fijas, variables y dependientes.

Las resistencias fijas son resistencias lineales y mantienen un valor óhmico fijo, pero para potencias inferiores a 2 W son de carbón o de película metálica, como se observa en la figura 3.1.1. y para potencias mayores se utilizan las de alambre devanado o las bobinadas, hay resistencias variables como son los potenciómetros, y las que están hechas de película de metal, película delgada y de película de carbón, las resistencias no lineales se fabrican para circuitos especiales como son foto-resistores, termistores, varistores de montaje superficial.

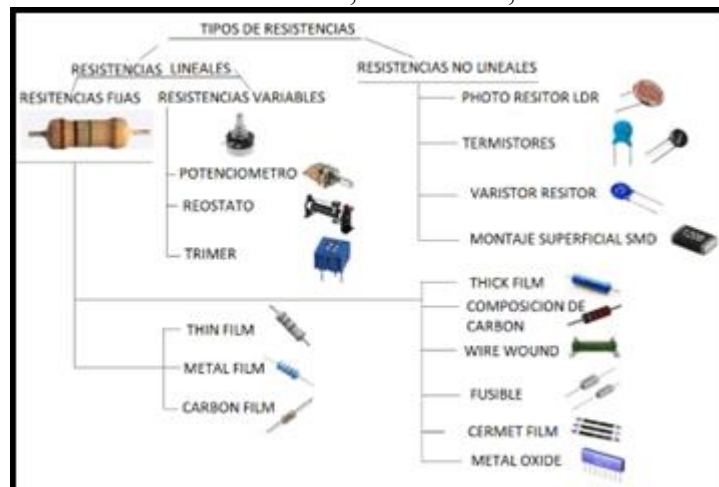


Figura 3.1.1 Tipos de resistencias [12].

Métodos para medir resistencias:

1.- Ley de Ohm. $R = V/I$, $V = Ri$.

La ley de Ohm dice que: El voltaje instantáneo en una resistencia es directamente proporcional a la corriente que fluye a través de ella, por lo que, si se sabe 2 variables, es posible encontrar una tercera variable, en este punto es la resistencia y su potencia. [2].

Ejemplo 3.2. ¿Cuál es el valor de una resistencia limitadora para un circuito que consume?, 0.25. A y esta alimentado por 5V?, ¿Cuál sería su potencia disipada?

Solución: $R = \frac{V}{I} = \frac{5V}{0.25 A} = 20 \Omega$

$P = V \times I = 5V \times 0.25A = 1.25 \text{ Watts.}$

Nota: Como se puede observar todas las variables de este ejemplo son medibles con el multímetro, voltaje, corriente, potencia y resistencia con el óhmetro.

En la figura 3.1.2. Se observan los símbolos de las resistencias fijas y variables.

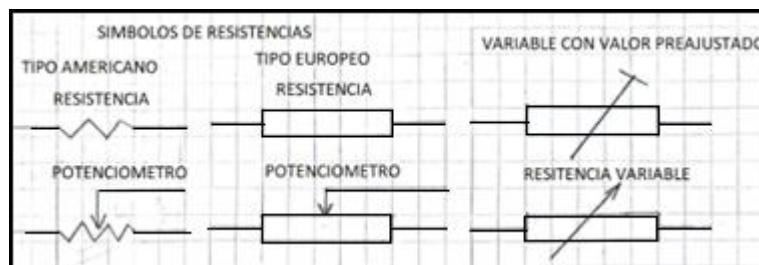


Figura 3.1.2. Símbolos de resistencias [12].

2.- Identificación por colores (4 Bandas y 5 bandas).

Las resistencias de carbón utilizan un código de colores para identificar visualmente el valor de ellas y su tolerancia en su valor nominal, se fabrican con 3 o 4 Colores en las bandas sin tener que medirlas con su valor nominal, y se puede observar en la tabla 3.1.3. también existen las de precisión de 5 bandas, [2][3][5][12].

$R = (\text{color1}), (\text{color2}), \text{multiplicador (número de ceros)} + \text{tolerancia (\%)}$

Esta fórmula es para resistencias de 4 bandas.

$R = (\text{color1}), (\text{color2}), (\text{color 3}), \text{multiplicador (número de ceros)} + \text{tolerancia (\%)}$

Esta fórmula es para resistencias de precisión de 5 bandas.

Tabla 3.1.3. Tabla de código de colores de resistencias de carbón [2][3][12][31].

Color	Valor color1, color 2 y color 3	Multiplicador y color 4	Tolerancia, %
Negro	0	1	
Café	1	10	1%
Rojo	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
Naranja	3	$\times 10^3$	
Amarillo	4	$\times 10^4$	
Verde	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$
Azul	6	$\times 10^6$	± 0.25
Violeta	7	$\times 10^7$	$\pm 0.10\%$
Gris	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$
Blanco	9	$\times 10^9$	
Dorado, oro		$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
Plata		$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
Sin color			$\pm 20\%$

Ejemplo 3.3. Hallar el valor de las siguientes resistencias con las siguientes bandas:

- a) - C1= amarillo, C2= rojo, C3= naranja, C4= plata
- b) - C1= café, C2= verde, C3= rojo C4= dorado
- c) - C1= azul, C2= gris, C3= naranja, C4= sin color
- d) - C1= rojo, C2= rojo, C3= café, C4= café, C5= café

Solución: a). - $42 \times 1000, \pm 10\%$ $42 \text{ k}\Omega, \pm 10\%$

b) - $15 \times 100,$ 1500Ω o $1.5 \text{ k}\Omega, \pm 5\%$

c). - $68 \times 1000, \pm 20\%$ $68000 \Omega, \pm 20\%$

d) - Resistencia de precisión por tener 5 colores, 2210Ω 1%

3.- Medicion de resistencias por multímetro analógico o digital.

La medicion de una resistencia con un multímetro sigue estos pasos:

- Prender el multímetro y Seleccionar en conmutador de ohms.
- Si No se sabe el valor de la resistencia se puede medir el voltaje en paralelo y la corriente en serie, aplicar ley de ohm y calcular el valor de la resistencia desconocida.
- Medir en paralelo la resistencia si el multímetro es auto rango, además si es un multímetro digital, si no, elegir el rango adecuado en ohms, kilo ohms o mega ohms, según sea el caso como los multímetros analógicos, ver figura 3.1.3.
- Visualizar la lectura y anotarla en notas de prácticas o de proyectos [2][3][8].

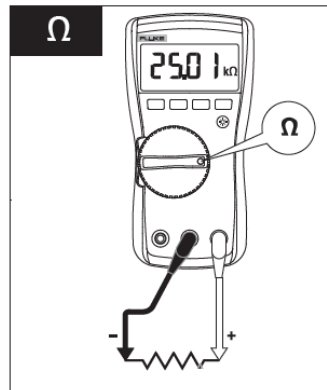


Figura 3.1.3. Medición de resistencia con multímetro digital [9].

4.- Medición por puentes: Wheatstone, Thompson (Kelvin) y Maxwell

Este punto se explicará en la sección 3.1.3. Mediciones con puentes

Resistencias en serie y en paralelo

En la figura 3.1.4. se tienen las resistencias en serie con la fuente y se sabe que:

$$V_T = V_{R1} + V_{R2}$$

$$R_T * I_T = R_1 * I_1 + R_2 * I_2; \text{ Pero } I_T = I_1 = I_2,$$

Entonces:

$$R_T = R_1 + R_2,$$

Nota: Lo que indica que en un circuito serie el voltaje total V_T , es la suma de sus voltajes $V_1 + V_2$ y se suman, la corriente es la misma en un circuito serie, y la resistencia total es igual a la suma de sus resistencias, este mismo circuito sirve para el análisis del divisor de voltaje.

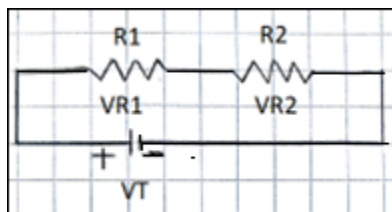


Figura 3.1.4. Resistencias en serie y divisor de voltaje [5].

De la figura 3.1.5. se tiene las resistencias en paralelo con la fuente de corriente y se sabe que:

$$I_T = I_{R1} + I_{R2} \text{ y por ley de ohm se sabe que } I_T = V_T / R_T$$

$$\frac{V_T}{R_T} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \text{ pero } V_T = V_1 = V_2, \text{ Entonces:}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Nota: Lo que indica que en un circuito en paralelo la corriente total I_T , es la suma de sus corrientes $I_1 + I_2$ y se suma, El voltaje es el mismo, y la resistencia total es igual a la suma de sus recíprocos de las resistencias, este mismo circuito sirve para el análisis del divisor de corriente.

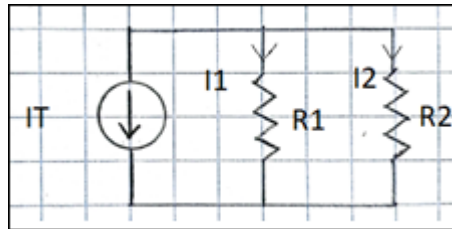


Figura 3.1.5. Resistencias en paralelo y divisor de corriente [5].

Divisor de voltaje

El divisor de voltaje se basa en calcular el voltaje V_{R1} y V_{R2} sin realizar la suma en serie de resistencias y después aplicar la ley de ohm por una formula simple, según figura 3.4.

$$V_{R1} = V_T \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{R2} = V_T \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Divisor de corriente

El divisor de corriente se basa en calcular la corriente I_{R1} y I_{R2} sin realizar la suma en serie de resistencias y después aplicar la ley de ohm por una formula simple, según figura 3.5.

$$I_{R1} = I_T \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_{R2} = I_T \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Circuito mixto

El objetivo de este circuito se basa en reducir los circuitos serie- paralelo, calcular todos los voltajes, todas las corrientes, y las potencias de cada elemento resistivo, aplicando la ley de ohm. Así como calcular la potencia total, y calcular todas las potencias de cada elemento, así como comprobar que la suma de potencias es igual a la potencia total, también obtener la competencia de la práctica de visualizar el arreglo serie-paralelo del circuito resistivo, como se observa en la figura 3.1.6.

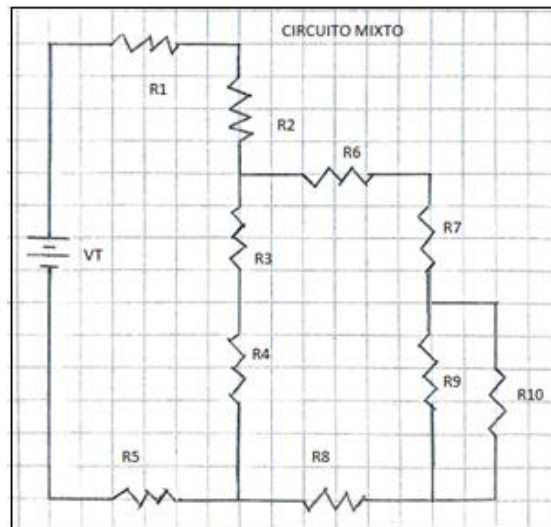


Figura 3.1.6. Circuito mixto arreglo serie-paralelo [5].

Ejercicio: calcule:

- La resistencia total utilizando los arreglos de resistencias serie y paralelo, si las resistencias son todas iguales de $1k\ \Omega$ y el voltaje es de 12 volts.
- La corriente total, la corriente en cada resistencia.
- El voltaje total y voltaje en cada resistencia y
- La potencia total y la potencia en cada elemento resistivo, elabore una tabla resumen de cada elemento.

Solución:

Se descompone el circuito mixto en arreglos serie y paralelos posibles como se observa en la figura 3.1.6.1.

$$Req1 = R1 + R2 + R5 = 1k + 1k + 1k = 3k\ \Omega$$

$$Req2 = R3 + R4 = 1k + 1k = 2k\ \Omega$$

$$Req3 = R6 + R7 + R8 = 1k + 1k + 1k = 3k\ \Omega$$

$$Req4 = 1/(1/R9 + 1/R10) = 1/(1/1k + 1/1k) = (1k)(1k)/(1k + 1k) = 1k^2/2k = 500\ \Omega \text{ o } 0.5K\ \Omega$$

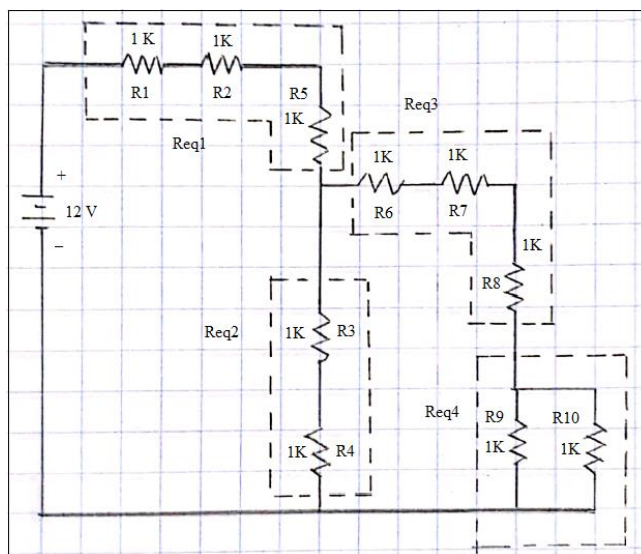


Figura 3.1.6.1. Descomposición del circuito serie paralelo.

Quedando el circuito como se muestra en la figura 3.1.6.2.

$\text{Req5} = \text{Req3} + \text{Req4} = 3\text{ K} + 0.5\text{ K} = 3.5\text{ K } \Omega$, donde Req5 y Req2 quedan en paralelo.

$$\frac{1}{\text{Req6}} = \frac{1}{\text{Req5}} + \frac{1}{\text{Req2}} = \frac{1}{3.5\text{ K}} + \frac{1}{2\text{ K}} = \frac{(3.5\text{ K})(2\text{ K})}{3.5\text{ K} + 2\text{ K}} = \frac{7\text{ K K}}{5.5\text{ K}} = \frac{7\text{ K}}{5.5} = 1.27\text{ K} = 1270\text{ } \Omega$$

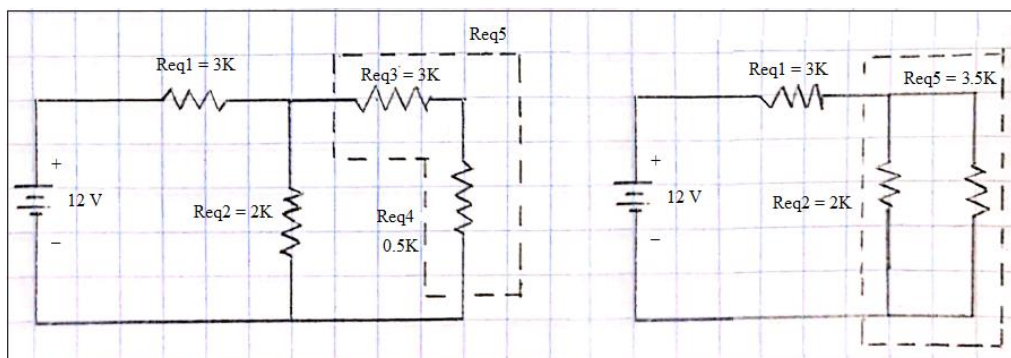


Figura 3.1.6.2. Descomposición del circuito en resistencias equivalentes.

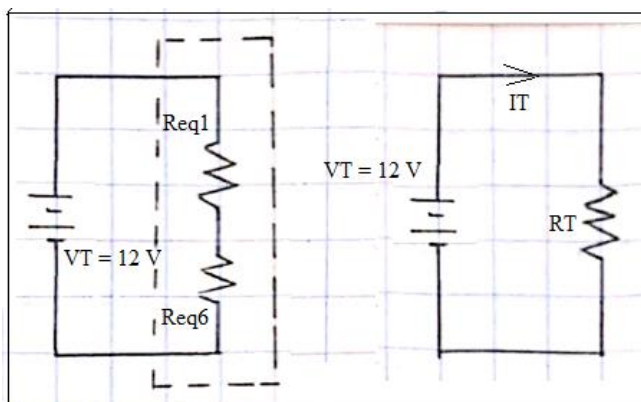


Figura 3.1.6.3. Corriente y resistencia totales.

La resistencia total es:

a). $R_T = R_{eq1} + R_{eq6} = 3K + 1.27 K = 4.27 K = 4270 \Omega$

b). Por ley de ohm se calcula corriente total: $I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{12 V}{4270 \Omega} = 2.810^{-3} = 2.8 \text{ mA}$

d). La potencia total $P = V \times I = (12 V) (2.8 \text{ mA}) = 0.03372 \text{ watts} = 33.72 \text{ mW}$.

La corriente en un circuito serie es la misma en R_{eq1} y $R_{eq6} = 2.8 \text{ mA}$.

Por ley de ohm se calcula el voltaje en R_{eq1} y R_{eq6}

$$V(R_{eq1}) = (2.8 \text{ mA}) (3000 \Omega) = 8.4309 \text{ V}.$$

Pero aquí se divide el voltaje entre las 3 resistencias de 1000Ω .

$$V_{R1} = (1000 \Omega) (2.8 \text{ mA}) = 2.81 \text{ V}, \text{ es el mismo calculo para la } R2 \text{ y } R5.$$

$$P(R_{eq1}) = (2.81 \text{ V}) (2.81 \text{ mA}) = 7.8969 \text{ mW}.$$

$$V(R_{eq6}) = (2.8 \text{ mA}) (1270 \Omega) = 3.569 \text{ V}.$$

En este punto de hacen los cálculos tomando en cuenta los conceptos básicos que la corriente es la misma en un circuito serie y el voltaje se divide, así como en un circuito paralelo el voltaje es el mismo y la corriente se divide.

Por lo que el voltaje en $R_{eq6} = V_{R2} = V_{R5} = 3.569 \text{ V}$

$I(R_{eq2}) = I(R3) = I(R4) = 3.569 \text{ V} / 2000 \Omega = 1.7845 \text{ mA}$, que es la misma en $R3$ y $R4$.

El voltaje se divide $V(R3) = (1000) (1.7845 \text{ mA}) = 1.7845 \text{ V}$. y la potencia es $V \times I$ en esos elementos, $P = (1.7845 \text{ V}) (1.7845 \text{ mA}) = 3.1844 \text{ mW}$.

$$I(R_{eq5}) = (3.569 \text{ V}) / (3.5 K) = 1.0197 \text{ mA}.$$

$$V(R6) + V(R7) + V(R8) + V(R_{eq4}) = (3500 \Omega) (1.0197 \text{ mA}) = 3.569 \text{ V}$$

$$V(R6) = (1000 \Omega) (1.0197 \text{ mA}) = 1.0197 \text{ V}.$$

$$V(R_{eq4}) = V(R9) = V(R10) = (500 \Omega) (1.0197 \text{ mA}) = 0.5098 \text{ V}.$$

$$I(R9) = 0.5098 \text{ V} / 1000 \Omega = 0.5098 \text{ mA}$$

Por lo que se obtiene la siguiente tabla resumen 3.1.4.

Tabla 3.1.4. Tabla resumen del circuito mixto.

Elemento	Voltaje	Corriente	Potencia
$R1 = 1K$	2.81 V	2.8 mA	7.8969 mW
$R2 = 1K$	2.81 V	2.8 mA	7.8969 mW
$R3 = 1K$	1.7845 V	1.7845 mA	3.1844 mW
$R4 = 1K$	1.7845 V	1.7845 mA	3.1844 mW
$R5 = 1K$	2.81 V	2.8 mA	7.8969 mW
$R6 = 1K$	1.0197 V	1.0197 mA	1.0397 mW
$R7 = 1K$	1.0197 V	1.0197 mA	1.0397 mW
$R8 = 1K$	1.0197 V	1.0197 mA	1.0397 mW
$R9 = 1K$	0.5098 V	0.5098 mA	0.2599 mW
$R10 = 1K$	0.5098 V	0.5098 mA	0.2599 mW
$R_T = 4270$			$P_T = 33.72 \text{ mW}$

USOS DE LAS RESISTENCIAS

- Limitar la corriente en un circuito eléctrico o electrónico.
- Protección de elementos pasivos y partes de un circuito.
- Como divisores de voltaje y divisores de corriente.
- Como elementos de calefacción y resistencias de calentadores.
- Disipadores de energía en circuitos osciladores y como elemento -shunt de baja resistencia [2][3][5][8][16].

Actividad en la practica 3.

3.1.2. Inductancia y Capacitancia.

La Medición y prueba de los elementos llamados inductancia y capacitancia consiste en medir la propiedad del dispositivo que son generados por el campo magnético y el campo eléctrico del material, fenómenos que hacen que exista estas 2 propiedades, primero se abordara el tema del inductor y después del capacitor.

3.1.2.1. -Inductancia

En electrónica los inductores son elementos pasivos usados en diferentes circuitos eléctricos o de diseño de circuitos complejos electrónicos gracias a su comportamiento en combinación con el condensador y la resistencia, su unidad es el Henrio.

El fenómeno de almacenar energía en el campo magnético de una bobina o solenoide se produce cuando una fuente de voltaje polariza el circuito eléctrico produciendo líneas de flujo magnético que se crean en un conductor enrollado o bobina y crea una corriente en el campo magnético que se opone a la fuerza que lo origina, almacenando esa energía en el campo magnético produciendo cambios de corriente en sentido horario en el inductor o bobina, polarizándola a través de la ley de Lenz, produciendo una relación entre el flujo magnético (Φ) y la intensidad generada por la corriente eléctrica (I), que circula por la bobina y el número de vueltas (N) del devanado, llevando a la deducción de la ley de Faraday, existen bobinas fijas y variables. (Núcleo de aire, de hierro, de ferrita, toroidales) como se observan en la figura 3.1.7.

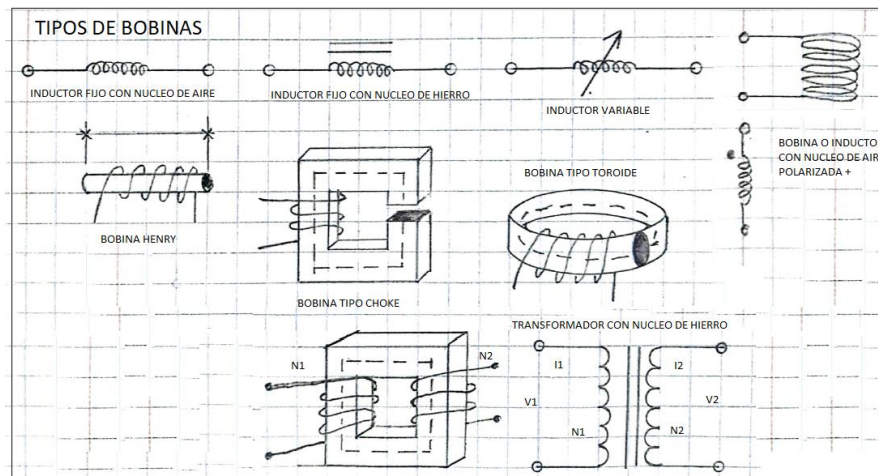


Figura 3.1.7. Tipos y símbolos de bobinas o inductores.

Los componentes de la ley de Faraday dicen que Φ es el flujo magnético que se forma en una espira de alambre con N vueltas y da como resultado un voltaje de inducción

$$V = N \frac{d\Phi}{dT} \quad 3.1$$

Donde:

V = Es el voltaje inducido

N = Numero de vueltas del inductor;

$fem(\mathcal{E}) = \frac{d\Phi}{dt}$ es el voltaje inducido o la fuerza electromotriz inducida, y se da como la razón de cambio de la variación del flujo magnético que pasa en una espira o bobina con respecto al tiempo, dada en webers, pero se sabe que $\Phi = Ki$, y $L = NK$

$$Fem(\mathcal{E}) = \frac{d\Phi}{dt} \quad 3.2$$

Entonces

$$V = NK \frac{di}{dt} \quad 3.3.$$

$$V = L \frac{di}{dt} \quad 3.4$$

Se observa que el voltaje de inducción depende de la autoinductancia o inductancia y es la base para el funcionamiento de motores, y generadores eléctricos

Métodos para medir la Inductancia.

1. - Método de sustitución por fórmula para los inductores

Para la medición de una inductancia es por cálculo de una formula directa y se define como:

La Autoinductancia es la capacidad de una bobina para oponerse a cualquier cambio de corriente

$$L = \frac{N^2 \mu A}{l} \quad 3.5$$

Donde L es la autoinductancia en Henry,

N = número de vueltas de la bobina

l = longitud media de núcleo

μ = permeabilidad del núcleo

A = área de la sección transversal.

Permeabilidad. - Es la medida de facilidad con que se puede establecer en un material las líneas de flujo magnético. Y es igual a B/H . con valor: $\mu = 4 \times 10^{-7} \frac{wb}{Am}$ en el vacío o aire.

Los materiales perfectos para una buena permeabilidad son: Fe, Ni, Acero, polvo de hierro y ferrita.

En el caso de que la corriente que pasa por el inductor sea de c. a. la propiedad cambia a reactancia inductiva, dada en ohmios.

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = \frac{V}{I} \quad 3.6$$

La energía E en una inductancia es: $E = \frac{1}{2} Li^2 \quad 3.7$

Ejemplo: Calcular la inductancia de una bobina tipo Henry con numero de vueltas $N=100$, y longitud de: $l = 5$ cm con radio $r = 0.5$ cm para núcleo de (a) aire y (b) hierro; con $\mu_r = 1$.

Solución: $A = \pi r^2 = (3.1416) (0.005)^2 = 7.85398 \times 10^{-5}$ y $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-5} = 12,6 \times 10^{-7}$ H/m.

$$L = \frac{N^2 \mu A}{l} = \frac{100^2 \cdot 12,6 \cdot 10^{-7} (7.85398 \times 10^{-5})}{5 \times 10^{-2}} = 1,9 \times 10^{-5} \quad L = 19 \mu \text{ H.}$$

$$L_{\text{hierro}} = \mu_r L_{\text{aire}} = 1.000 * 19 \mu \text{ H} = 19 \text{ mH.}$$

2. – Método práctico por multímetro de un inductor, capacitancia y resistencia (LCR).

La medición de un inductor con un multímetro LCR sigue los siguientes pasos:

- Prender el LCR y Seleccionar el conmutador de inductores.
- Medir en paralelo el inductor si el multímetro LCR es auto rango, si es un LCR digital, si, No, con su perilla conmutable, según sea el caso como los LCR analógicos es más complejo porque están hechos con puentes y lleva un procedimiento de prueba y error, ver figura 3.1.8.
- Visualizar la lectura y anotarla en notas de prácticas o de proyectos.



Figura 3.1.8. Multímetro LCR, medición de inductancias y capacitancias.

3.- Método de puente de Maxwell, y Hay

Este punto se explicará en la sección 3.1.3. Mediciones con puentes

Usos de inductancias en electrónica

- Como filtros selectivos pasa altos, y filtros pasa bajos, según el arreglo en el tratamiento de señales.
- Bobinas de arranque para encender bujías.
- En osciladores electrónicos.
- En circuitos transductores.
- Como bobinas deflectoras para controlar el haz de una pantalla CRT.

Bobinas en serie y paralelo.

Si se conectan bobinas en serie, el voltaje total es igual a la suma de los voltajes en cada bobina, por lo que se tiene $V_T = V_{L1} + V_{L2} + \dots + V_{LN}$, entonces ocurre:

$$V_T = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + \dots + L_n \frac{di}{dt}, \quad 3.8$$

Entonces inductores en serie se suman, como se ve en la figura 3.1.9.

$$L_T = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad 3.9$$

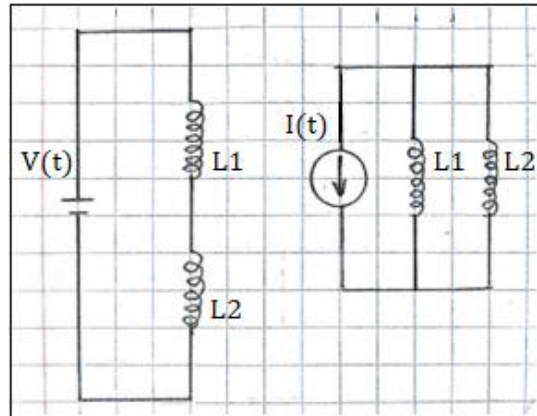


Figura 3.1.9. Bobinas en serie y paralelo.

Si se conectan bobinas en paralelo, la corriente es la suma de la corriente total en cada bobina, entonces se propone que $i(t)_{\text{total}} = i(t)_{L1} + i(t)_{L2} + \dots + i(t)_{Ln}$

$$i(t)j = \frac{1}{L_j} \int_{t_0}^t v(t) dx + i(t_0)jn; \text{ con } i(t_0) = 0, \text{ se tiene que}$$

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_N} \quad 3.10$$

Nota: En un circuito en paralelo la INDUCTANCIA total L_T , es la suma de sus inductancias $L_1 + L_2$ y se suman sus recíprocos, el voltaje es el mismo, y la Inductancia total es igual a la Suma de sus inductancias. [2][3][5].

Ejemplo. Calcular la inductancia equivalente L_T reduciendo el arreglo serie paralelo de la figura 3.1.10. proponer valores.

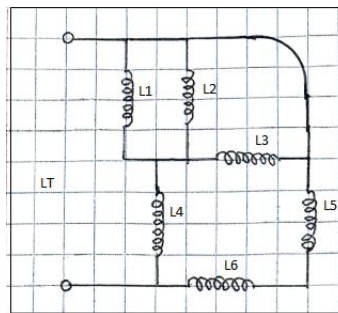


Figura 3.1.10. Arreglo serie paralelo de inductores.

3.1.2.2. – Capacitancia.

Los capacitores son elementos pasivos usados en electrónica en varios circuitos eléctricos y electrónicos, en el diseño de circuitos complejos y gracias a su comportamiento en combinación con el inductor y la resistencia suelen ser indispensables, su unidad es el Farad. En electrónica se usan cantidades pequeñas del Farad, como son: $1\text{pF} = 1 \times 10^{-12} F$ y $1\mu\text{F} = 1 \times 10^{-6} F$, ya que el farad es una cantidad muy grande, su aplicación va del uso en las fuentes de alimentación como filtros de 1 a 1000 μF , y en radio frecuencia se usan de 20 a 500 pF, aunque también se pueden encontrar en nF.

El fenómeno de almacenar energía en el campo eléctrico de un condensador o filtro como se le conoce, se produce cuando una fuente de voltaje polariza el circuito eléctrico produciendo líneas de fuerza de campo eléctrico que se crean en las placas con potencial positivo en una de ellas y un potencial negativo en el otro extremo de ellas, separados por un dieléctrico, almacenando energía, polarizándola a través de la ley de Coulomb, produciendo una relación entre la carga (Q) que está directamente proporcional a la capacitancia (C) generada por la carga en sus configuraciones geométricas para poder almacenar inversamente el voltaje o diferencia de potencial entre sus placas (V).

Existen capacitores fijos y variables. (dieléctrico de aire, polietileno, papel, parafina, mica, cerámica, etc.) como se observan en la figura 3.11, la fórmula de la capacitancia es:

$$C = \frac{q}{v} = 1 \text{ Faradio} = \frac{1 \text{ colombio de carga almacenada}}{1 \text{ voltio}} \quad 3.11$$

Así también los capacitores se usan para filtrar las señales rectificadas, para acoplar voltajes, para aislar circuitos de c. d. y los métodos de medición son:

Métodos para medir la conductancia,

1. – Método de sustitución por fórmula para los capacitores.

La construcción de un condensador se hace a través de 2 placas paralelas y la ecuación que rige ese comportamiento es:

$$C = \frac{K\epsilon_0 A}{d} \quad 3.12$$

Donde K = es la constante dieléctrica relativa

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ faradios por metro.

A = Área de las placas en metros cuadrados.

d = distancia entre las placas del condensador en metros.

La energía almacenada en un condensador se calcula por la siguiente ecuación.

$$w = \frac{1}{2} C v^2 \quad 3.13$$

La permitividad (llamada también constante dieléctrica) es una constante física que describe cómo un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio.

La permitividad del vacío es $8,8541878176 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{Nm}^2$.

Se determina por la tendencia de un material a polarizarse ante la aplicación de un campo eléctrico y de esa forma anular parcialmente el campo interno del material. Está directamente relacionada con la susceptibilidad eléctrica. en un condensador una alta permitividad hace que la misma cantidad de carga eléctrica se almacene con un campo eléctrico menor y, por ende, a un potencial menor, llevando al capacitor una mayor capacidad, en la tabla 3.1.4 se observan diferentes valores de esta variable.

Tabla 3.1.5. Valores de permitividad relativa o constantes dieléctricas.

Materiales	Constante dieléctrica. $K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$	Rigidez dieléctrica. (V/cm)
Vacío	1.0	
Aire	1.0006	3×10^4
Papel, Parafina	2-4	5×10^5
Mica	5.0	2×10^6
Petróleo	2.5	
Caucho	3	
Vidrio	4-7	
Mica	5-6	2×10^6
Mármol	8	
Glicerina	50	
Agua	80	
Cerámica (baja perdida)	8.0	8×10^4
Cerámica (alta K)	100-1.000	
Película de oxido	5-25	

Ejemplo 1: Se diseñará un capacitor cuadrado de 5 x 5 cm con una separación de 2 mm con dieléctrico de núcleo de mica calcular:

- La capacitancia del condensador.
- La intensidad del campo eléctrico entre las placas
- La carga de cada placa para una diferencia de potencial de 120 Volts.

Solución 2.

a) **Solución en el SI** $C = \frac{K\epsilon_0 A}{d}$

$$C = \frac{(5)(8.85 \times 10^{-12})(0.05)^2}{2 \times 10^{-3}} = 5.53125 \times 10^{-11} = 55.31 \text{ pf}$$

b) $E = \frac{V}{d} = \frac{120}{2 \times 10^{-3}} = 60,000 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

c) $Q = C V = 5.53125 \times 10^{-11} \times 120 = 6.63744 \times 10^{-9} \text{ Colombios}$

Ejemplo 2: En condensador de 10 μF se carga con 120 volts, ¿Cuál es la energía almacenada en el condensador?

Solución 2:

$$w = \frac{1}{2} C v^2 = \frac{1}{2} (10^{-6}) (120)^2 = 0.072 \text{ julios.}$$

2. - Método de medición práctico por multímetro con capacitancia (LCR).

La medición de un capacitor con un multímetro LCR sigue los siguientes pasos:

- Prender el LCR de la figura 3.1.8, y Seleccionar el conmutador de capacitores o capacitancia.
- Medir en paralelo el capacitor si el multímetro LCR es auto rango, si es un LCR digital, si, No, con su perilla conmutable, según sea el caso como los LCR analógicos es más complejo porque están hechos con puentes y lleva un procedimiento de prueba y error, ver figura 3.1.8.
- Visualizar la lectura y anotarla en notas de prácticas o de proyectos.
- **3.- Método de puente de Maxwell, y Hay**
- Este punto se explicará en la sección 3.1.3. Mediciones con puentes

Tipos de Capacitores en electrónica, ver figura 3.1.11.

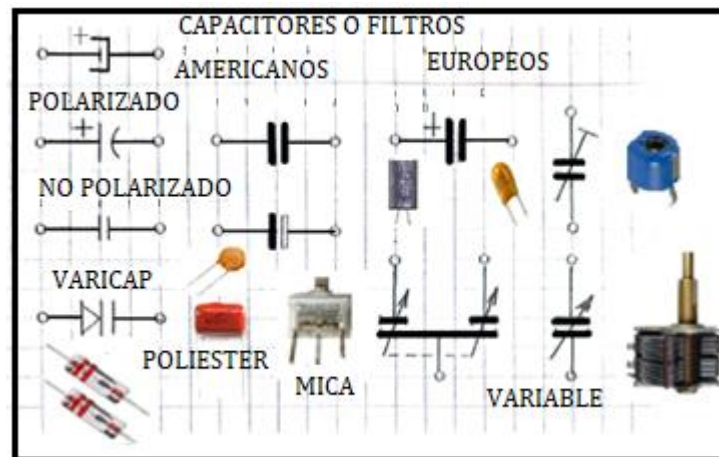


Figura 3.1.11. Símbolos y tipos de capacitores [2][3][5].

Capacitores en serie y paralelo

Si se conectan capacitores **en serie**, el voltaje total es igual a la suma de los voltajes en cada capacitor, por lo que se tiene $V_T = V_{C1} + V_{C2} + \dots + V_{CN}$, entonces ocurre:

$$V(t)j = \frac{1}{Cj} \int_{t_0}^t i(t) dx + V(t_0)jn;$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N} \quad 3.14$$

Nota: En un circuito serie, la CAPACITANCIA total C_T , es la suma de sus capacitancias $C_1 + C_2$ y es la suma de sus recíprocos, el voltaje es el mismo.

Si se conectan capacitores en paralelo, la corriente es la suma de la corriente total en cada capacitor, entonces se propone que $i(t)_{\text{total}} = i(t)_{C1} + i(t)_{C2} + \dots + i(t)_{Cn}$

$$i_{CT} = C1 \frac{di}{dt} + C2 \frac{di}{dt} + \dots + Cn \frac{di}{dt},$$

Entonces las capacitancias en serie se suman como en la figura 3.1.12.

$$C_T = C1 + C2 + \dots + Cn, \quad 3.15$$

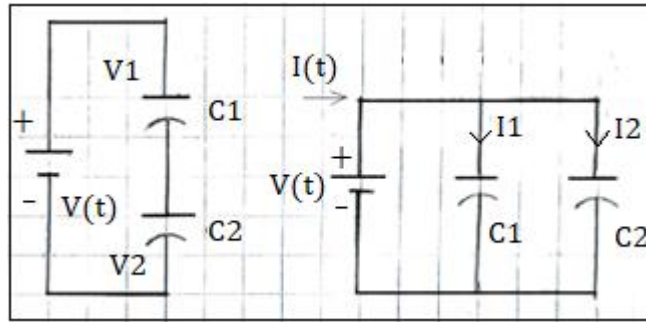


Figura 3.1.12. Capacitores en serie y paralelo [2][3][5].

Usos de los capacitores

- Se usan como elementos de bloqueo de c.d., entre circuitos, solo pasan las señales.
- Elementos para desviar señales de c. a. y de aislamiento.
- Elementos de almacenamiento de energía, a través de su campo magnético.
- Elementos de formación de circuitos como osciladores, amplificadores, filtros.
- Elementos de filtraje en fuentes de señal.
- Elementos transductores y corrección del factor de potencia.
- Para circuitos de flash en cámaras fotográficas
- Para circuitos de retardo. [2][3][5].

EJEMPLO: Calcular la capacitancia equivalente C_T del siguiente arreglo serie paralelo, de la figura 3.1.13. proponer valores.

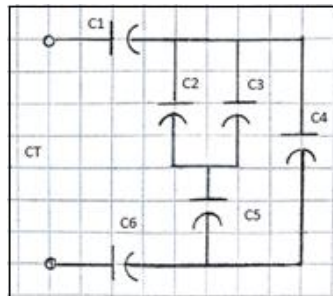


Figura 3.1.13. Arreglo serie- paralelo de capacitores [2][3][5].

Lectura de los capacitores según su fabricación:

Tabla 3.1.6. Lectura de los capacitores de cerámica [6].

Capacitancia	código	código	código
010 = 1pf	101 = 100pf	103 = 10nf	105 = 1μf
100 = 10pf	102 = 1nf	104 = 100nf	474 = 470nf

Actividad en la práctica de la unidad 3.

3.1.3. Mediciones con puentes.

Los puentes de propósito general tienen sus mediciones específicas y no todos realizan la misma medición, algunos son especiales en alguna medición física como resistencias muy altas o resistencias menor a un ohm, capacitancia e inductancia, impedancia a alta frecuencia, la condición de medir con un puente es determinar electrónicamente la condición nula del puente, que la rama central marque cero o tenga condiciones de balance para hacer la medición con precisión generalmente es un galvanómetro D'Arsonval o un medidor sensible a la corriente o un zumbador.

Los puentes de medición son:

- Puente de Wheatstone. - Mide resistencias muy altas y bajas.
- Puente de Kelvin. - Mide resistencias menores a un ohm.
- Puente de Maxwell. – Mide inductancias, a partir de capacitancias conocidas.
- Puente de Hay. – Mide bobinas de alto valor de Q.
- Puente de Schering. – Mide capacitancia en general.
- Puente Wien. – Mide frecuencia.
- Conexión a tierra Wagner.

Medición con Puente de Wheatstone

El puente de Wheatstone mide resistencias en el rango de fracciones de ohms hasta varios Megas ohms, se compone de 4 ramas resistivas, una alimentación y un detector a cero, el cual puede ser un galvanómetro D'Arsonval, el cual debe de marcar cero en condiciones de equilibrio de corrientes en la rama 1 y 2, como se ve en la figura 3.1.14.

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad 3.16$$

Si se cumple esta condición, entonces se cumple que $I_1 = I_3 = \frac{V}{R_1 + R_3}$ y $I_2 = I_4 = \frac{V}{R_2 + R_4}$

Igualando ambas corrientes queda $\frac{V}{R_1 + R_2} = \frac{V}{R_2 + R_4}$ de esta relación queda una sola ecuación:

$R_1 R_4 = R_2 R_3$ relación conocida como equilibrio en el puente de Wheatstone, y para encontrar la resistencia desconocida se despeja $R_4 = R_x$ y R_3 es la resistencia patrón, y R_1 y R_2 son resistencias de relación, y la resistencia desconocida se calcula como:

$$R_X = R_3 \frac{R_2}{R_1} \quad 3.17$$

El galvanómetro debe ser sensible a la medición ya que debe de marcar cero en estado de equilibrio, y cuando esto ocurra la resistencia desconocida se hará presente.

Causas de error en la medición utilizando el puente de Wheatstone es:

- Detector no muy sensible.
- Efecto térmico en las ramas de las resistencias, errores en las resistencias debido a los contactos de los nodos y
- Calentamiento en la fuente de alimentación debido a resistencias bajas, puede marcar corto circuito y calentarse la fuente.

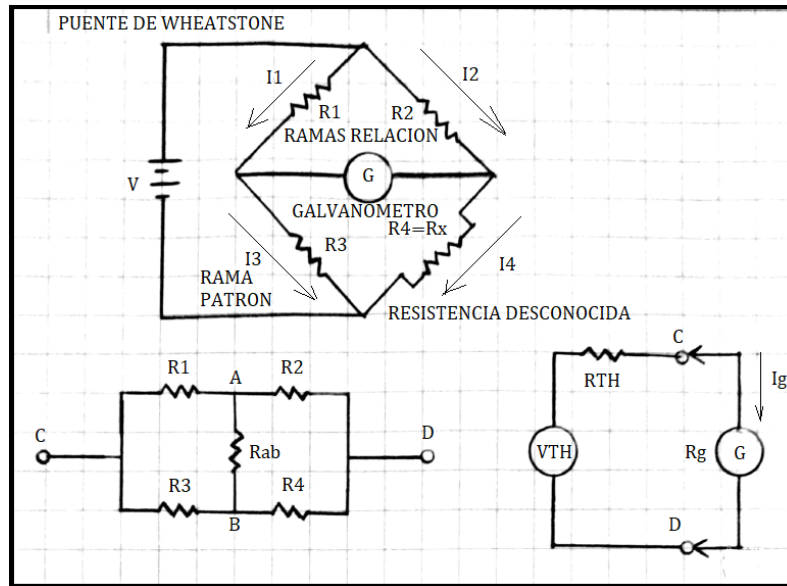


Figura 3.1.14. Puente de Wheatstone, equivalente Thévenin [2][3].

Se calcula la corriente del detector para saber si el galvanómetro tiene sensibilidad para detectar el estado de desequilibrio y para analizar el puente en estado en desequilibrio se calcula la resistencia Thévenin en los puntos c y d y se calcula lo siguiente:

- Se calcula el voltaje en los puntos c y d, quitando la carga, o sea el galvanómetro y ese será el voltaje Thévenin
- La corriente I_g en el galvanómetro depende la diferencia de potencial entre los puntos c y d, entonces se dice que el puente esta balanceado o en equilibrio en 0V.
- la condición se cumple si el voltaje c-a = d-a y el voltaje de c-b = d-b, por lo que no hay paso de corriente en el galvanómetro y el puente de Wheatstone está en equilibrio.
- Tres de las resistencias tiene valores conocido y la resistencia desconocida, $R_x = R_4$ es la que puede calcularse con la relación.
- Se calcula el equivalente Thévenin resistivo entre los puntos c y d y se redibuje el circuito
- Se calcula la corriente del galvanómetro en su equivalente Thévenin y se hace su análisis de desequilibrio.
- Las ecuaciones de equilibrio son las siguientes:

$$V_{CD} = V_{AC} - V_{AD} = I_1 R_1 - I_2 R_2$$

$$\text{donde: } I_1 = \frac{V}{R_1 + R_3} \text{ y } I_2 = \frac{V}{R_2 + R_4}$$

$$\text{por lo que el voltaje queda: } V_{CD} = V \left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4} \right) \quad 3.18$$

$$\text{Y la resistencia Thévenin es: } R_{TH} = \left(\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \right) \quad 3.19$$

$$\text{Y la corriente en el galvanómetro es: } I_g = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_G} \quad 3.20$$

Tarea: Calcular la resistencia desconocida del puente de Wheatstone, si el voltaje de la batería es 12V con una resistencia interna despreciable y el galvanómetro con una sensibilidad de 10mm/ μ A y resistencia interna de 100 Ω . La resistencia de la rama bc es de 2000 Ω calcular:

- a) – La deflexión del galvanómetro causada por el desequilibrio de 5 Ω en la rama bc

Puente de Kelvin

El puente de Kelvin es una Modificación del puente de Wheatstone, y proporciona incremento en la exactitud de las mediciones de resistencias de valor bajo, menor a 1 ohm, R_y representa la resistencia de alambre en derivación de R_3 a R_x , entonces son 2 posibles conexiones en el punto m o n.

Cuando el galvanómetro se conecta en el punto m, la resistencia R_y se suma a R_x , será menor que el que debería ser. Porque R_3 es más alto que su valor nominal debido a R_y .

Si se conecta al punto p, entonces la razón de n-p y m-p es igual a la razón R_1 y R_2 , entonces.

La ecuación similar a la Wheatstone indica que el efecto de resistencia de alambre de conexión al punto m al n se elimina conectando el galvanómetro en la posición p y se puede hacer la medición.

$$R_X = R_3 \frac{R_1}{R_2} \quad 3.21$$

Puente doble de Kelvin

Al puente de kelvin se le agrega un segundo juego de ramas y se elimina el efecto R_y , por lo que el galvanómetro llega ser acero cuando K sea igual al potencial en p, cuando $V_{kl} = V_{imp}$.

Se utiliza para medir resistencias muy bajas, de 1 Ω a 0.00001 Ω . Y R_3 es la resistencia patrón variable y en R_1 y R_2 se coloca mediante una década de resistencias.

La ecuación de equilibrio es similar al puente de kelvin.

Los puentes de kelvin y de doble kelvin se encuentran en laboratorios de investigación y resulta difícil obtener las resistencias calculadas.

Medición con Puentes de C. A.

Los puentes de C.A se componen de 4 ramas **Z1**, **Z2**, **Z3** y **Z4**, un detector de cero, que puede ser unos audífonos y una fuente de corriente alterna con frecuencia fija a 60 Hz o 50 Hz, la frecuencia de línea es suficiente, y para frecuencia variable se utiliza un oscilador para poner la frecuencia deseada, y así dar las condiciones de equilibrio. Estos puentes son ideales para la Medición de bobinas y la Medición de capacitancias, como se observa en la figura 3.1.15.

Son necesarias las cantidades complejas para representar las impedancias o admitancias, los voltajes y las corrientes, así como la frecuencia deseada responde a la fuente de potencia suministrada.

Las condiciones de equilibrio se dan en $V_B = V_A = V_C = V_D$ en magnitud y fase.

En notación compleja se puede expresar de la siguiente manera:

$$V_{BA} = V_{BC} \text{ y } I_1 Z_1 = I_2 Z_2$$

y las corrientes quedan similar al análisis de c. d.

$$I_1 = \frac{V}{Z_1 + Z_3} \text{ y } I_2 = \frac{V}{Z_2 + Z_4}$$

Sustituyendo las ecuaciones de corriente en las ecuaciones de equilibrio se tiene:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \text{ o en términos de admitancias } Y_1 Y_4 = Y_2 Y_3$$

En términos de coordenadas polares:

$$Z_1 \angle \theta_1 Z_4 \angle \theta_4 = Z_2 \angle \theta_2 Z_3 \angle \theta_3 \quad 3.22$$

$$Z_1 Z_4 \angle \theta_1 + \theta_4 = Z_2 Z_3 \angle \theta_2 + \theta_3$$

Queda la relación de equilibrio.

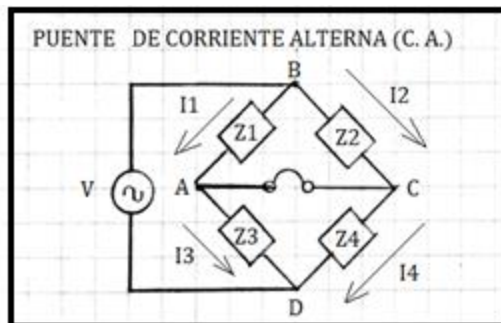


Figura 3.1.15. Puente de c. a. [2][3].

Medición con Puente de Maxwell

El **puente de Maxwell** es utilizado para medir Inductancias desconocidas en términos de una capacitancia conocida. La rama 1 de relación tiene una resistencia R_1 y una capacitancia C_1 (*farads*) en paralelo, es más fácil utilizar su admitancia Y_1 para la ecuación de equilibrio, la rama 2 se compone de solo una resistencia conocida R_3 , la rama 3 se compone de una resistencia variable R_3 , la rama 4 es la resistencia R_X (*Ohms*) y el valor del inductor desconocido L_X (*Henrios*).

El método de medición es el siguiente:

- Se proponen valores conocidos para la ecuación de equilibrio para la condición

$$Z_X = Z_2 Z_3 Y_1 \quad 3.23$$

- Los valores conocidos son: $Z_2 = R_2$; $Z_3 = R_3$; $Y_1 = \frac{1}{R_1} + j\omega C_1$

- Sustituyendo estos valores en la ecuación de equilibrio queda:

$$Z_X = R_X + j\omega L_X = R_2 R_3 \left(\frac{1}{R_1} + j\omega C_1 \right)$$

- Separando termino real y termino complejo quedan las variables.

- $R_X = \frac{R_2 R_3}{R_1} + j\omega C_1 \quad 3.24$

- $L_X = R_2 R_3 C_1 \quad 3.25$

- Este puente se limita en la medición de bobinas de Q media ($1 < Q < 10$).

La suma de los ángulos debe ser igual

$$\theta_1 + \theta_4 = \theta_2 + \theta_3$$

- Los valores de inductancia mayor se miden con el puente Hay
- No es recomendable medir las bobinas con menor $1 < Q$.
- La interacción de equilibrio empieza variando R_1 y R_3 para el ajuste de equilibrio, pero un capacitor variable no siempre es el adecuado, hay que seleccionar uno a la frecuencia de la fuente, para ver las condiciones de equilibrio se van moviendo las variables hasta que el detector emita un sonido de mayor volumen y así sucesivamente hasta encontrar el equilibrio deslizante, la figura 3.1.16 muestra el puente.

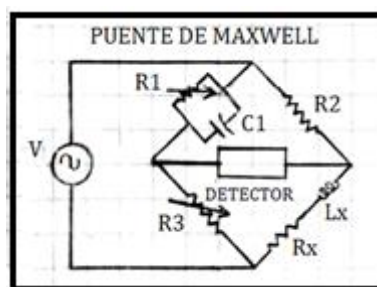


Figura 3.1.16. Puente de Maxwell [2][3].

Medicion con Puento de Hay

El puente de Hay mide Inductores o bobinas con Q de alto valor, y difiere del puente de Maxwell porque tiene una resistencia R_1 en serie con el capacitor patrón C_1 y en serie. La figura 3.1.17. muestra los elementos del puente y las condiciones de desequilibrio son las siguientes:

- Para valores grandes de ángulos de fase, R_1 debe tener un valor muy bajo de resistencia.
- Se proponen valores conocidos para la ecuación de equilibrio de condición

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad 3.26$$
- Los valores conocidos son: $Z_1 = R_1 - \frac{j}{\omega C_1}$; $Z_2 = R_2$; $Z_3 = R_3$; $Z_X = R_X + j\omega L_X$
- Sustituyendo estos valores en la ecuación de equilibrio queda:

$$(R_1 - \frac{j}{\omega C_1})(R_X + j\omega L_X) = R_2 R_3$$
- Separando termino real y termino complejo quedan las variables.
- $$R_X = \frac{\omega^2 C_1^2 R_1 R_2 R_3}{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2} \quad 3.27$$
- $$L_X = \frac{R_2 R_3 C_1}{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2} \quad 3.28$$
- La suma del ángulo capacitivo debe ser igual al inductivo

$$\tan \theta_L = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L_X}{R_X} = Q \quad 3.29$$

$$\tan \theta_C = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\omega C_1 R_1} = \tan \theta_L,$$
- Las condiciones de frecuencia se deben de saber con exactitud.
- El termino $(1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2)$ desaparece y las ecuaciones equilibrio quedan:

$$L_X = \frac{R_2 R_3 C_1}{1 + (\frac{1}{Q})^2} \text{ donde } Q \text{ es muy alta y despreciable en e la expresión.}$$
- $$L_X = R_2 R_3 C_1 \quad 3.30$$
- La interacción de equilibrio empieza variando R_1 y R_3 para ajuste de equilibrio, y se van moviendo las variables hasta que el detector emita un sonido de mayor volumen y así sucesivamente hasta encontrar el equilibrio.

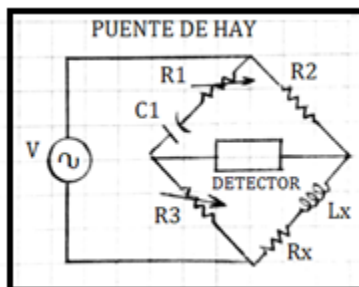


Figura 3.1.17. Puento de Hay [2][3].

Medición con Puente de Schering.

Es un puente de c. a. se usa en la medición de capacitores y capacitancias, es útil en la medición de propiedades de aislamiento. Con ángulos de fase cercanos a los 90 grados., y las condiciones de equilibrio son las siguientes:

La rama 1 de relación tiene una resistencia R_1 en paralelo con una capacitancia C_1 (*farads*), donde es más fácil utilizar su admitancia Y_1 , para la ecuación de equilibrio, la rama 2 se compone de solo una resistencia conocida R_2 variable, la rama 3 se compone de una capacitancia patrón de mica de alta calidad, de pérdidas muy bajas o nulas C_3 y un capacitor de aire si es que se utiliza para medición de aislamiento, ya que tiene un campo eléctrico muy pequeño de valor estable, la rama 4 son las incógnitas a medir, la resistencia R_X (ohms) y el valor del capacitor desconocido C_X (farad), como se observa en la figura 3.1.18. El método de medición es el siguiente:

- Se proponen valores conocidos para la ecuación de equilibrio para la condición;

$$Z_X = Z_2 Z_3 Y_1 \quad 3.23$$

- Los valores conocidos son: $Z_2 = R_2$; $Z_3 = -\frac{J}{\omega C_3}$; $Y_1 = \frac{1}{R_1} + j\omega C_1$
- Sustituyendo estos valores en la ecuación de equilibrio queda:

$$Z_X = R_X - \frac{J}{\omega C_1} = R_2 \left(-\frac{J}{\omega C_3} \right) \left(\frac{1}{R_1} + j\omega C_1 \right)$$

- Separando termino real y termino complejo quedan las variables.

$$R_X = R_2 \frac{C_1}{C_3} \quad 3.31$$

$$C_X = C_3 \frac{R_1}{R_2} \quad 3.32$$

- La suma de los ángulos 1 y 4, y 2 y 3 debe ser igual a 90°

$$\theta_1 + \theta_4 = 90^\circ$$

$$\theta_2 + \theta_3 = 90^\circ$$

- Como se ve en la figura los elementos de desequilibrio son C_1 y R_2 y es el mismo principio, se empieza primero a variar un elemento y después el otro hasta que entre en equilibrio.
- El factor de potencia y el factor de disipación son circuito RC por lo que se pueden iguales la reactancia y la impedancia.

$$PF = \frac{R_X}{Z_X} = \frac{R_X}{X_X} = \omega C_X R_X \quad 3.33$$

- Y el factor de calidad es $Q = \frac{X_L}{R_L}$ y se observa que D es el cuál es el reciproco de Q.
- $D = \frac{1}{Q}$ esto indica que el factor de calidad es muy alto y está cercano a 90°, entonces

$$D = \omega C_1 R_1 \quad 3.34$$

- Si R_1 es fijo, entonces el Dial de C_1 se puede calibrar a una determinada frecuencia.

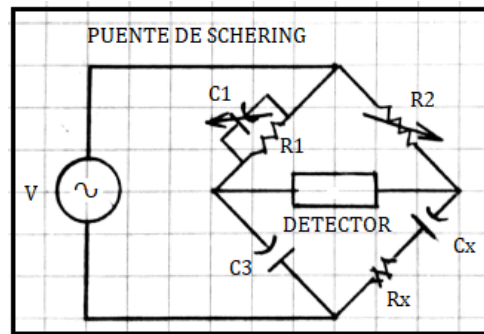


Figura 3.18. Puente de Schering [2][3].

Medición con Puente de Wien

El uso de este puente es para medir y determinar frecuencias específicas, analizador de distorsión armónica como filtro pasa banda, osciladores de audio, la base de operación de este puente es la combinación RC en serie en la rama 1 y RC en la rama 3 pero en paralelo, como se observa en la figura 3.1.19. y las condiciones de equilibrio son:

- $Z_1 = R_1 - \frac{J}{\omega C_1}$; la admitancia en la rama 3 es: $Y_3 = \frac{1}{R_3} + j\omega C_3$
- Se proponen valores conocidos para la ecuación de equilibrio y sus valores son:
- $R_2 = (R_1 - \frac{J}{\omega C_1})R_4(\frac{1}{R_3} + j\omega C_3)$
- Expandiendo la ecuación con los valores en la ecuación de equilibrio queda:

$$R_2 = \frac{R_1 R_4}{R_3} + j\omega C_3 R_4 R_1 - \frac{J R_4}{\omega C_1 R_3} + \frac{R_4 C_3}{C_1}$$

- Separando termino real y termino complejo quedan las variables.

$$R_2 = \frac{R_1 R_4}{R_3} + \frac{R_4 C_3}{C_1} \quad 3.35$$

$$\frac{R_2}{R_4} = \frac{R_1}{R_3} + \frac{C_3}{C_1} \quad 3.36$$

- Y los términos imaginarios son: $j\omega C_3 R_4 R_1 = \frac{J R_4}{\omega C_1 R_3}$ y $j\omega = 2\pi f$
- Queda la ecuación de frecuencia $f = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_1 C_3 R_1 R_3}}$ y si las 2 resistencias son iguales

Y los 2 capacitores son iguales la expresión se simplifica como:

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad 3.37$$

En este tipo de puente los capacitores son fijos y los resistores son variables.

También hay que hacer un estudio de armónicas ya que ellas distorsionan la lectura, la solución es utilizar una onda senoidal puramente senoidal.

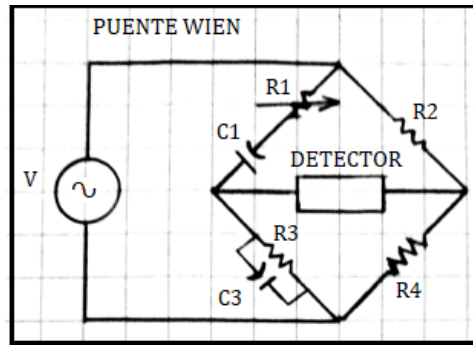


Figura 3.1.19. Puente de Wien [2][3].

Conexión a Tierra Wagner.

Cuando se tiene un puente con impedancias puras, prácticamente existen capacitancias parásitas en paralelo con las ramas del puente y entre los elementos del puente y la tierra, las cuales originan errores, en la medición de capacitores pequeños o inductancias grandes, por lo normal a altas frecuencias, por lo que la solución es blindando las ramas y conectando capacitores a tierra.

Este método se le llama conexión a tierra Wagner y elimina el problema de las capacitancias parásitas entre el detector y la tierra, haciendo un arreglo de un oscilador R_w y C_w que hacen el ajuste en el detector, disminuyendo el efecto de las capacitancias parásitas. Mas no eliminando las capacitancias en la rama, por lo que se debe ajustar en el interruptor 1 y calibrar el puente, y después al interruptor 2 y ajustar, y si sucesivamente hasta que se disminuya considerablemente los efectos del ajuste. [2][3][5].

Ejercicios de la unidad 3:

[3]. – William D. Cooper, Albert D. Helfrick. “Instrumentación electrónica Moderna y técnicas de medición”. Editorial Prentice Hall. 1991.

Tarea:

Problemas del capítulo 5. Ejercicios del 5-1 hasta el 5.8

Practica: Realizar una simulación para medir resistencias desconocidas por puentes.

Medición de resistencia de 0-100 ohm, 100-10K Ω , 10k Ω a 100k Ω , y 100k Ω a 100M Ω

3.1.4. Prueba de Dispositivos Semiconductores.

Medición de los dispositivos activos:

Para medir los **elementos activos** es necesario saber que son dispositivos que se polarizan externamente, cuentan con una entrada y salida de una señal, pueden modificarla, amplificarla, recortarla, bloquearla o excitarla si es un circuito conmutador, también es necesario saber cómo funcionan para poder medir si están buenos o están malos, todos estos dispositivos se basan en el principio de la unión NP a nivel atómico, que en la práctica es básico aprender para poder medirlos, los dispositivos semiconductores son: diodo, transistor bipolar (BJT) y transistor unipolar (FET), amplificador operacional (OpAmp), las fuentes de alimentación, los dispositivos tiristores y compuertas lógicas, entre otros dispositivos ya que es muy extensa la electrónica.

El Diodo Semiconductor, es un componente electrónico de dos pines que funciona en forma unidireccional y permite que circule la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido (polarización directa, región P, ánodo positivo (+) y región N, cátodo negativo (-)) y bloqueado el paso de la corriente en sentido contrario (polarización inversa, región P, ánodo negativo (-) y región N, cátodo positivo (+)), la mayoría de los diodos se miden similarmente, la diferencia radica en el voltaje de rompimiento es diferente en cada diodo.

- Medición con multímetro, si se utiliza el óhmetro en polarización directa, ánodo positivo y cátodo negativo, el óhmetro marcará conducción $0\ \Omega$ y el diodo conducirá, y en polarización inversa marcará alta impedancia o circuito abierto, y el diodo no conducirá, como se observa en la Figura 3.1.20.
- Si se utiliza el voltímetro, en polarización directa marcará el voltaje de rompimiento, $V_i = 0.5$ o 0.6 , según el diodo que se mida, los diodos leds se miden similarmente.
- Cada diodo tiene voltaje V_i de rompimiento diferente, según la tabla 3.1.5.
- Los diodos zener son reguladores de voltaje y se encuentran en diferentes voltajes de regulación desde 2.4 volts hasta 200 volts.

La ecuación del diodo es la ecuación de Shockley, y su gráfica se puede ver en la figura 3.1.20.

$$I_D = I_S(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1)$$

- Las formas en que se encuentran los diodos son en forma individual para rectificar la onda senoidal en todas las potencias o se presentan en forma de puentes de diodos con 4 diodos en arreglo puente completo, o arreglo de varios diodos dentro de un C.I., pareados con las mismas características y varias aplicaciones.
- Se usan en procesamiento de señal, en alta frecuencia, estabilizadores de tensión y especiales.
- Las características nominales son: corriente máxima (I_f), tensión directa (V_d), tensión inversa máxima de pico de trabajo (V_{RWM}), corriente máxima pico (I_{fsm}), potencia total de encapsulado (P_{tot}), estos valores varían según las variables de hoja de datos de cada diodo semiconductor [14].

Tabla 3.1.7. Tabla de valores de voltaje umbral o de rompimiento de algunos diodos [14].

Diodo, rectificador, leds, color	Construcción	Voltaje en polarización directa
Si	Silicio	0.5, 0.6 y 0.7
Ge	Germanio	0.3
Shockley	Silicio Enriquecido	0Volts y 0.1
Led Ámbar	AlInGaP	2.1
Led Azul	GaN	5.0
Led verde	GaP	2.2
Led naranja	GaAsP	2.0
Led rojo	GaAsP	1.8
Led blanco	GaN	4.1
Led amarillo	AlInGaP	2.1

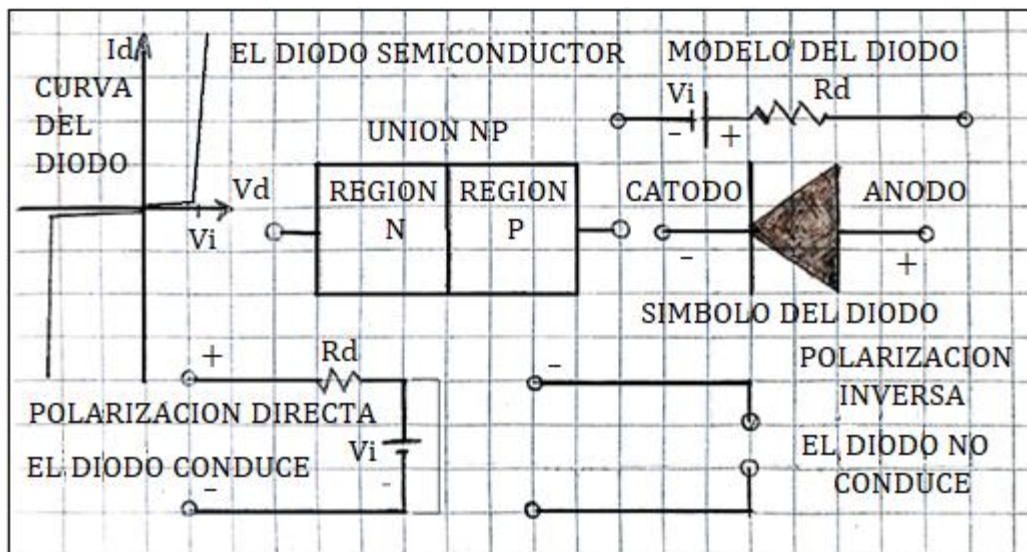


Figura 3.1.20. Símbolo, polarización, curva del diodo y polarización directa e inversa [14].

Usos del diodo. - En rectificación del voltaje de c. a. a c. d., recortadores, sujetadores, en combinación con elementos pasivos se pueden construir multiplicadores de voltaje, en circuitos conmutados se usan diodos de recuperación rápida y del tipo Shockley, una vez que se sabe cómo funciona se puede medir si está bien o está mal o está en fuga o en corto circuito, o está abierto y por qué, funciona como un switch o interruptor, como conmutador (on/off), si la lectura varía mucho y no se detiene en el óhmetro, el diodo está en fuga y se pondrá en corto circuito al operar el circuito electrónico con voltaje, y si marca conducción en la medición de polarización directa e inversa el diodo está en corto circuito.

Los tipos de diodos son: diodo de silicio, diodo de germanio de cristal, diodo túnel o esaki, gunn, diodo emisor de luz o LED's, avalancha, foto diodos, laser térmico, PIN, Schottky, stabistor, varicap, entre otros más [14].

El Transistor BJT (Bipolar Junción Transistor (transfer resistor o resistencia de transferencia)). - Es un dispositivo electrónico semiconductor que funciona como resistencia de transferencia, pero su mayor uso es como amplificador e interruptor, se compone de 3 capas de unión NPN o PNP.

El transistor consta de tres partes dopadas artificialmente (contaminadas con materiales tipo n y tipo p en cantidades específicas) que forman dos uniones bipolares NP y PN, el pin llamado emisor es el que emite portadores, El pin llamado colector amplifica o acumula portadores, recolecta y el 3er pin se encuentra entre las 2 uniones intercaladas, controla el paso de los portadores N o P llamada base.

- Medición con multímetro. - Se pone el multímetro en modo diodo y se busca la combinación de un pin que sea común para los otros 2 pines, la polarización directa debe de ser de 0.5 volts, con respecto a los otros 2 pines, en este caso el pin común para los otros 2 pines es la Base, el voltaje de rompimiento del pin que sea de menor lectura será el colector, por ser mayor área y poco dopado 0.543 volts y el pin de mayor lectura será el de mayor dopado, el pin es el emisor 0.59 volts, en otra combinación de lectura de pines será de alta impedancia.
- Se fabrican transistores de germanio con encapsulado TO - 92, transistores de potencia con encapsulado TO-3, TO-98, TO-293, SP-92, TO-220, entre otros encapsulados, según la aplicación.
- Cada encapsulado tiene la diferencia de su forma, capacidad de manejo de corriente, y potencia a manejar.
- La medición es la misma para los diversos transistores que se fabrican, para encontrar emisor, base, colector es el mismo procedimiento, de todos modos, hay que checar la hoja de datos y comparar lecturas, como se ve en la figura 3.1.21.

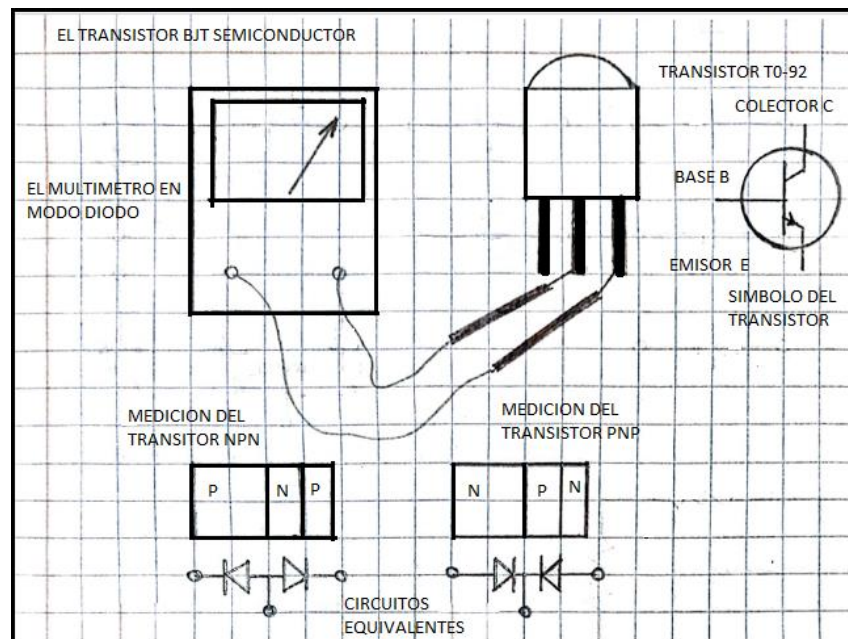


Figura 3.1.21. Símbolo, polarización del transistor BJT, polarización directa e inversa. [14].

Su Uso: Funciona como amplificador, oscilador, conmutador o rectificador, se usa prácticamente en circuitos de radio, fuentes de voltaje, televisores, impresoras, grabadoras, computadoras, reproductores de audio y vídeo, video juegos, hornos de microondas, lavadoras, teléfonos, reproductores mp3, celulares, y en los microprocesadores y microcontroladores, entre otros aparatos de línea blanca, comercial e industrial.

El transistor es un dispositivo controlado por corriente (β , Beta) y trabaja en 3 configuraciones de amplificación, base común, colector y emisor común [14].

El transistor de Efecto de Campo, Metal-óxido Semiconductor o MOSFET (*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*)

El transistor JFET es un transistor unipolar o de un solo sustrato, con 2 terminales de sustrato n opuesto al canal o viceversa, que funciona como resistencia variable controlada por voltaje, es utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas con alta calidad en el procesamiento de señales, ver figura 3.1.22.

El MOSFET es un dispositivo de tres o cuatro terminales llamados fuente (S, Source), drenador (D, Drain), puerta (G, Gate) y sustrato (B, Bulk). Sin embargo, el sustrato generalmente está conectado internamente al terminal de fuente y por este motivo se pueden encontrar dispositivos MOSFET de tres terminales, ver figura 3.1.23. [14].

El JFET y el MOSFET se miden de similar manera ya que trabajan con la ecuación de Shockley. $I_D = I_{DSS}(1 - \frac{V_{GS}}{V_P})^2$

El efecto más usado en electrónica que producen los transistores se le llama amplificación y como conmutador o switch, así también como reguladores de voltaje y corriente [14].

- Medición con multímetro. – Se coloca el multímetro en modo diodo y se miden un JFET de empobrecimiento o de agotamiento en las combinaciones de 3 terminales, entre drenador (D) y source (S), medirá el multímetro alta impedancia, y al tocar el pin con un voltaje en compuerta (G) o con electricidad estática de nuestro cuerpo, se disparará la conducción y conducirá de drenado a fuente marcando 0 Ω . En el caso de que el FET no tenga canal en el sustrato.
- Para el caso en el que el FET sea de enriquecimiento o de crecimiento si tiene un canal, el multímetro en modo diodo, medirá entre el drenador y source conducción o sea 0 Ω . y al inyectarle voltaje marcará resistencia o impedancia controlada entre drenador y source.
- EL transistor efecto de campo es un amplificador de corriente de drenador de salida y entrada es una fuente de controlada de voltaje.
- Es el transistor más utilizado en la industria microelectrónica, por su calidad de procesar señales con un mínimo de ruido eléctrico o de interferencia, ya sea en circuitos analógicos o circuitos digitales
- Son estables en cuanto a temperatura de encapsulado.
- Los JFET y MOSFET de enriquecimiento trabajan con una variante de ecuación de Shockley $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$.
- Prácticamente los microprocesadores y microcontroladores comerciales e industriales se basan en transistores JFET, MOSFET, BJT's.

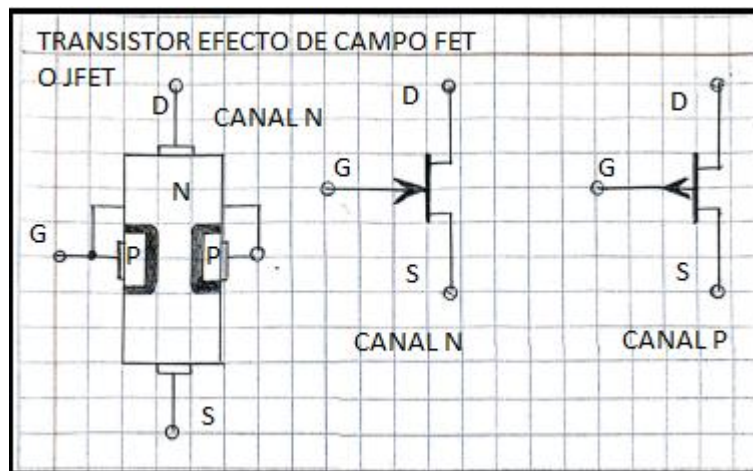


Figura 3.1.22. Transistor efecto de campo FET o JFET, canal n y canal p. [14].

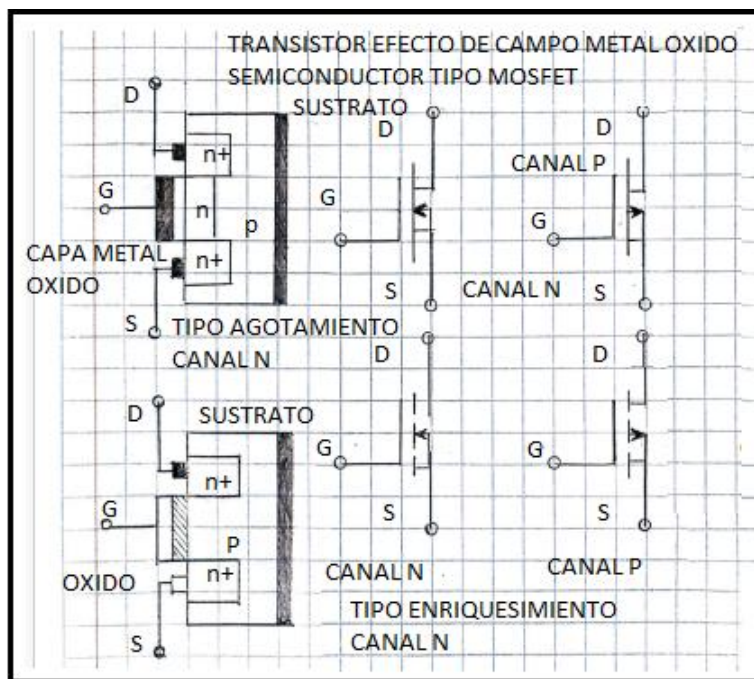


Figura 3.1.23. Transistor efecto de campo MOSFET, tipo empobrecimiento y agotamiento [14].

Tarea de medicion de dispositivos semiconductores.

- Investigar el funcionamiento básico y medicion de los dispositivos tiristores.
- Investigar cómo funciona una compuerta TTL o CMOS digital y como se mide con un multímetro.

Actividad: Medicion de dispositivos elementales semiconductores en la practica 3.

3.2. Medición de potencia y energía.

Cuando se mide potencia eléctrica en c. d. solo hay que hacer el arreglo del voltímetro y el amperímetro adecuado para no sufrir efectos de carga en la medición y tener cuidado de la disipación de los elementos que generan calor para no sufrir daño o una quemadura en el manejo de los instrumentos, la potencia eléctrica genera calor que es la liberación de energía acumulada en el dispositivo que dependen del tiempo y va generando más calor.

En la medición de potencia en corriente alterna c. a. se necesitan el método del wattmetro que dependen del rango de frecuencia, nivel de disipación de potencia, y del tipo de carga que se suministre resistiva o en combinación con un elemento reactivo como R, RL, RLC.

La potencia suministrada es la cantidad de trabajo efectuado en una cantidad de tiempo de la fuente a la carga y la potencia absorbida es la que disipa la carga en forma de calor, pero con la combinación de elementos reactivos la fuente de voltaje puede consumir potencia. En la energía se efectúa como un trabajo de la carga.

3.2.1. Potencia y energía en c.d.

En un circuito eléctrico o electrónico existen variables de voltaje, corriente, resistencia y la variable que va a permitir que el circuito no se degrade es la **potencia eléctrica** y la **energía** que disipa en un instante de tiempo.

La **potencia instantánea** en un circuito eléctrico se calcula con la siguiente ecuación:

$$p(t) = V(t)i(t) \quad 3.2.1$$

Su unidad es el Watt o Vatio (W), que es la razón de un ampere en circular en un conductor, y que tiene una caída de potencial de un voltio en la carga con respecto al tiempo.

Se tiene que calcular la carga para seleccionar una resistencia que no sobre pase el valor nominal al medir c. d. ya que se puede dañar la carga, y al tratarse de corriente directa la frecuencia no tiene efecto en la carga, la figura 3.2.1 muestra un circuito donde se puede medir y calcular la potencia involucrando la carga, como en las ecuaciones 3.2.2. y 3.2.3.

$$p(t) = i(t)^2 R \quad 3.2.2$$

$$p(t) = \frac{v(t)^2}{R} \quad 3.2.3.$$

La medición en el circuito donde está el amperímetro primero es el más aceptado ya que no tiene efectos de carga en la medición y se observa en la figura 3.2.1.

Análisis: Se sabe que $P = V_L I_L$ y la corriente total $I = I_V + I_L$ de la cual se despeja I_L

$I_L = I - I_V$ y se sustituye en la ecuación de potencia con $I_V = \frac{V_L}{R_V}$

$P = V_L I_L = V_L (I - I_V) = V_L (I - \frac{V_L}{R_V})$ y como resultado queda:

$$P = V_L I - \left(\frac{V_L}{R_V}\right)^2 \quad 3.2.4.$$

lo que indica que tiene poco efecto de carga del amperímetro, lo que hay que tener cuidado al seleccionar un buen medidor voltímetro y amperímetro con impedancia adecuada.

En el circuito de debajo de la figura 3.2.1. tiene efectos de carga del amperímetro y la medición de potencia tendrá un porcentaje de error.

Análisis: Se sabe que $P = V_L I_L$ y el voltaje total es $V = V_A + V_L$ de la cual se despeja V_L

$V_L = V - V_A$ y se sustituye en la ecuación de potencia con $V_A = R_A I_L$
 $P = V_L I_L = (V - R_A I_L) I_L = (V I_L - R_A I_L^2)$ y como resultado queda:
 $P = (V I_L - R_A I_L^2)$ 3.2.5.

con efecto de carga en la medición, como se observa en la figura 3.2.1.

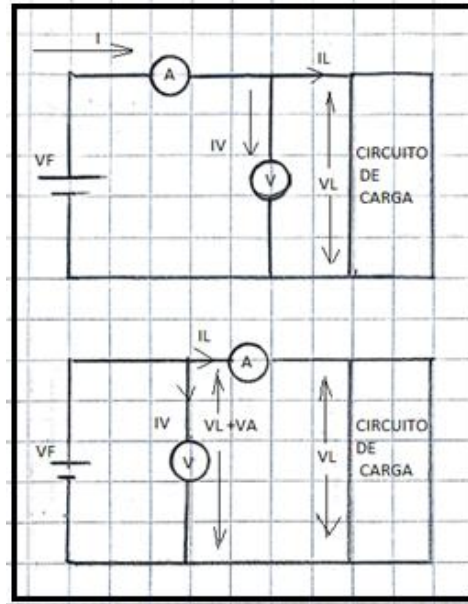


Figura 3.2.1. Arreglo de la medición en corriente directa c. d. [2][3].

3.2.2. Potencia y energía en c. a.

Para la medición en c. a. se utilizan los voltampérmetro, varímetros, wattmetro analógico y digital, estos instrumentos miden la potencia instantánea suministrada $P = v(t) \times i(t)$ como producto instantáneo que varía con el tiempo en un circuito resistivo, en un circuito RL, o en un RLC.

La potencia promedio es una medición que disipa la carga y las formas de fase de corriente y voltaje tiene diferencias en los ángulos y es válida si se miden los valores V_{rms} y I_{rms} y los ángulos están en fase.

$$P_{prom} = V_{rms} I_{rms} \cos \theta \quad 3.2.6$$

Al producto de $V_{rms} I_{rms}$ = potencia aparente, y al $\cos \theta$ es el ángulo entre el voltaje y la corriente de carga, entonces la diferencia entre los ángulos se le llama factor de potencia ($\theta_v - \theta_i$) y

$\cos(\theta_v - \theta_i)$ = Volts-Amperes o KVA.

y si los ángulos están en fase entonces el $\cos(0)$ es igual a 1 y también el

$$fp = \cos \theta = \frac{P_{prom}}{P_A} \quad 3.2.7$$

las potencias serian iguala a:

$$P_{prom} = I_{rms}^2 R \quad 3.2.8$$

$$P_{prom} = \frac{V_{rms}^2}{R} \quad 3.2.9$$

Y se podría medir la potencia en el vatímetro.

Y la potencia no disipada en la carga se calcula por la siguiente ecuación con unidades (volt-amperes-reactivos) o potencia reactiva.

$$P_{var} = V_{rms} I_{rms} \sen\theta \quad 3.2.10$$

Esta potencia está en el campo magnético de los conductores y es disipada en forma de energía y se mide con los varímetros.

La potencia aparente presente en la carga se define como $P_A = V_{rms} I_{rms}$ y está presente en la carga, que mide la parte resistiva también como:

$$P_A = \sqrt{P_{prom}^2 + P_{var}^2} \quad 3.2.11$$

Generalmente el wattmetro mide P_A expresado en volt-amperes o VARS.

El wattmetro se compone de una bobina de corriente y una bobina de voltaje con el principio del medidor D'Arsonval con frecuencia debajo de 400hz, la IC es la corriente de la fuente de potencia o de energía, y pasa por la bobina fija llamada bobinas de corriente de campo que está en serie con la carga, la resistencia shunt de la bobina de voltaje se calcula igual que un instrumento de medición de voltaje controlando la corriente de rama de 10 a 50 mA, I_P , la corriente en la bobina móvil es proporcional al voltaje a través de la carga midiendo lo que se espera $P = V \times i$, miden hasta 20 A. y rangos de voltaje de 300V, y su lectura nominal es de 115 a 125Volts con 5A. Ver figura 3.2.2. [2][3][14].

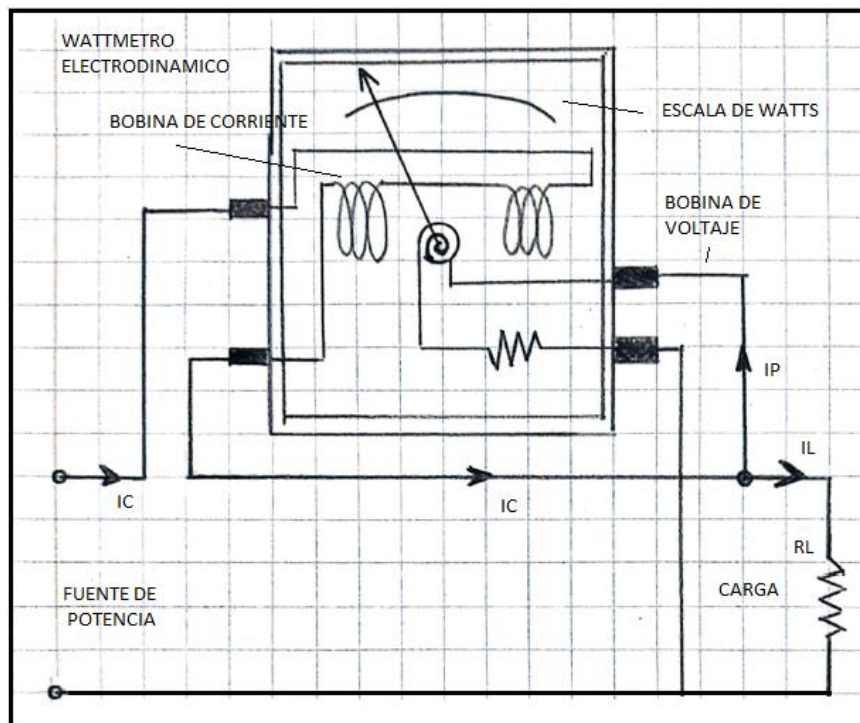


Figura 3.2.2. Wattmetro, medidor de potencia monofásica de c. a. [2][3].

Actividad: Practica del wattmetro:

a). - Elaborar un circuito medidor de potencia en Watts de un circuito monofásico con arreglos de cargas, para analizarlo en clase y hacerlo en la práctica junto con el docente.

3.3. Efectos de carga de los instrumentos en las mediciones.

El **efecto de carga en los instrumentos de medicion** se da al tomar una lectura de un instrumento con elemento del circuito electrónico o eléctrico, llamado también elemento de carga ya sea midiendo voltaje o corriente y tiene un efecto adverso a la medición, este efecto se debe a los componentes internos con los cuales funciona el instrumento, y puede ocurrir en cualquier instrumento de medición.

El concepto de efecto de carga está ligado al concepto de impedancia interna en un instrumento de medición y se establece por la ley de ohm $V = RI$ donde la resistencia del medidor en c. d es análoga a la impedancia del instrumento en c. a., despejando, queda como:

$$Z_{MEDIDOR\ C.D.} = \frac{V}{I} \quad 3.2.12$$

$$Z_{MEDIDOR\ C.A.} = \frac{V_{RMS}}{I_{RMS}} \quad 3.2.13$$

La **impedancia** de un medidor se presenta en dispositivos o circuitos e indica la magnitud donde el término de la parte real es resistencia interna y la de los componentes reactivos son los inductores X_L y capacitores X_C internos del instrumento y se caracteriza en oponerse al paso de la corriente alterna en una frecuencia determinada y tienen su efecto en el instrumento. La impedancia se representa con la letra “Z”, y se ve como un número complejo en un plano vectorial, las coordenadas rectangulares están en forma $R \pm jX$, o en forma polar como una magnitud y ángulo de fase: $|Z| \angle \emptyset$.

Un punto importante en la medicion de potencia de un instrumento, en medir la parte real que se ve reflejada en los instrumentos de medicion y en sus diferentes conceptos de potencia como son: potencia promedio, reactiva, aparente y compleja, donde la potencia compleja se encuentra en el campo magnético y ese sería otra medicion reactiva.

3.3.1. Impedancia de los instrumentos de medición.

La impedancia en un **voltímetro** está en paralelo e idealmente es una resistencia infinita, muy alta, pero prácticamente la resistencia interna es de $10\text{ M}\Omega$ o más, por lo que la resistencia a medir queda en paralelo cuando se mide con un voltímetro, por lo que existe un error porcentual de medicion y sus variables son Ω/V y se le conoce como sensibilidad del voltímetro. Si la resistencia del voltímetro fuera baja tendría más error al hacer la medición.

La impedancia en un **amperímetro** idealmente es un alambre o 0Ω , se encuentra en serie, y prácticamente es de baja magnitud para no afectar la medicion. Se le Conoce como sensibilidad de corriente y es el inverso del voltímetro [12].

El **error en el efecto de carga** se puede calcular y determinar cuáles son las mediciones correctas, para así comparar el error y que tan **preciso y exacto** es el instrumento de medición. Ver figura 3.3.1. [2][3][5].

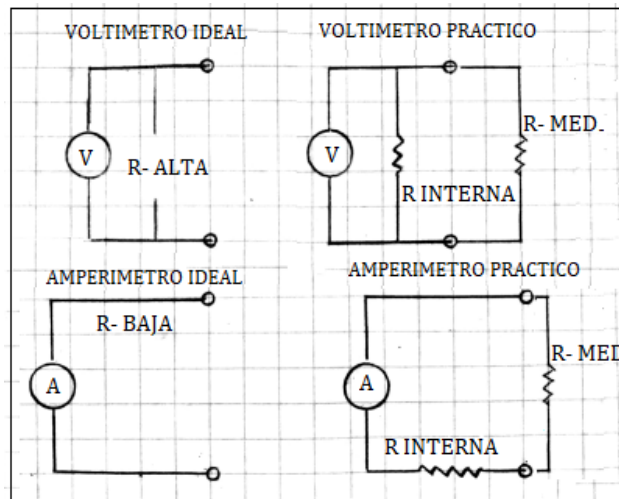


Figura 3.3.1. Modelos de voltímetro y amperímetro en la medición [2] [3].

Ejemplo 3.3.1.

En una aplicación con un circuito serie, los valores de las resistencias $R_1 = 5K\Omega$ y $R_2 = 10K\Omega$ se alimentan con una fuente de 24 Volts, el voltímetro con sensibilidad de $20,000 \Omega / V$. Se conecta en paralelo para medir el voltaje de la resistencia, determine:

- El voltaje en la resistencia R_2 .
- El porcentaje de error por efecto de carga en el multímetro.
- Dibuje el circuito.

Solución: por divisor de voltaje se obtiene V_{R2} .

a). $V_{R2} = \frac{24V \times 10K\Omega}{10K\Omega + 5K\Omega} = 16V$

b). La sensibilidad del voltímetro es $5,000 \Omega / V$.

$$5,000 \Omega / V \times 16 \text{ volts} = 80,000.$$

La resistencia equivalente es:

$$R_{EQUIVALENTE} = \frac{80k \times 10K\Omega}{10K\Omega + 80K\Omega} = 8,888.88\Omega$$

V_1 es igual:

$$V_1 = \frac{24V \times 8.8K\Omega}{8.8K\Omega + 5K\Omega} = 15.36 \text{ Volts}$$

c). El porcentaje de error por efecto de carga es:

$$\text{Error} = \frac{V_f - V_v}{V_v} = \frac{15.36 - 16V}{16V} \times 100 = 4\%$$

En la práctica, se realiza con mediciones de un circuito con valores e instrumento reales.

3.3.2. Sondas o Puntas de prueba

Las puntas de prueba también llamadas sondas, son dispositivos que realizan una conexión física entre el punto de prueba donde está la señal y el instrumento de medición práctico, que por excelencia es el osciloscopio u otro instrumento de prueba, se utilizan en la toma de lecturas de circuitos eléctricos y electrónicos; una diferencia entre estas sondas y las puntas de los medidores prácticos como el multímetro, tiene que ver con **el efecto de carga**, lo que provoca un error en la medición del circuito a analizar.

Las características que deben de tener las puntas de prueba para que sean ideales son:

- Facilidad en la conexión en el punto de prueba y el instrumento
- Una fidelidad completa de la señal que se va a medir, libre de interferencias
- Cero cargas presentadas con respecto a la fuente de señal
- Inmunidad al ruido eléctrico

las sondas poseen un porcentaje de error muy bajo ya que han sido diseñadas y construidas para que el efecto de carga no sea un factor de relevancia a la hora de tomar las mediciones del circuito de prueba, esto se logra porque algunas sondas poseen un atenuador pasivo, generalmente de X1, X10, X100 y X1000 según la aplicación.

- **Las sondas activas** son del tipo de sondas que han sido desarrolladas para uso específico de medición de corriente, se caracterizan por brindar una amplificación adecuada antes de aplicar la señal a un canal del osciloscopio que se esté utilizando. En general las sondas activas son utilizadas cuando el circuito a medir y posee una potencia de salida muy baja.
- **Las sondas pasivas** se fabrican con un factor de atenuación y de amplificación, depende del punto de vista que se observe, la más común es de X10 y X100. Si es de amplificación la señal se puede reducir o atenuar por factor de 10, y trabajan a cierta frecuencia recomendándose a 5kHz o superior, con señales superiores a 10 mV.
- **Sondas pasivas de baja impedancia.** Se caracterizan porque a diferencia de la pasiva común es que tiene una carga capacitiva baja y su carga resistiva alta, con el fin de soportar anchos de banda mayores, hasta 9 GHz. La desventaja es tener baja capacitancia y la medida de amplitud de la señal se ve afectada.
- **Las sondas diferenciales** están protegidas contra voltaje estático, y cuentan con atenuación 10 a 1, trabajan muy bien a frecuencia debajo de 600MHz, sus reactancias inductivas y capacitivas de la punta se mantiene en estado crítico, pero ajustable en modo diferencial ya que una punta se conecta a tierra y la otra a la señal, manteniendo una respuesta a mayor ancho de banda, cosa que las demás sondas no tienen para trabajar a altas frecuencias.
- La principal diferencia entre las sondas activas y las pasivas, es que las activas requieren de una fuente externa para poder funcionar.

La sonda x 1 es similar a la anterior e introduce más carga en el circuito de prueba, para medir señales con niveles bajos de voltaje.

Cuando se utilizan este tipo de sondas hay que asegurarse de la posición del selector del instrumento antes de realizar la medición, su uso es en osciloscopios de 50 MHz, 100 MHz y

200 MHz de ancho de banda en adelante, con baja capacitancia y alta carga resistiva en la entrada.

Por convenio entre los laboratorios, se anexa la letra X como característica principal de factor de atenuación [10].

La impedancia de entrada de un osciloscopio es de $1\text{ M}\Omega$, y está en paralelo con un capacitor que oscila entre 10 y 30 pf, y auto compensa la lectura normal y la de atenuación de 10 a 1, y dentro de la punta contiene una resistencia de $9\text{ M}\Omega$ en paralelo una capacitancia ajustable de 10 pf dándole sensibilidad a la lectura de la señal ya que cumple con la resistencia de entrada.

$R_{ent} = R_{osciloscopio}$, por máxima transferencia de potencia, para la resistencia del osciloscopio existe una capacitancia de entrada $C_{int} = \text{capacitancia del cable} + \text{capacitancia del osciloscopio}$, para darle mayor compensación a la señal de uno a uno, de lo contrario la señal aparecerá sub compensada (efecto amplificador) o sobre compensada (efecto atenuación), distorsionando la señal, la figura 3.3.2. muestra las ubicaciones de los resistores y los capacitores para ajustar la relación uno a uno.

Las figuras 3.3.3. y 3.3.4. son ejemplos de algunas sondas. [11][13].

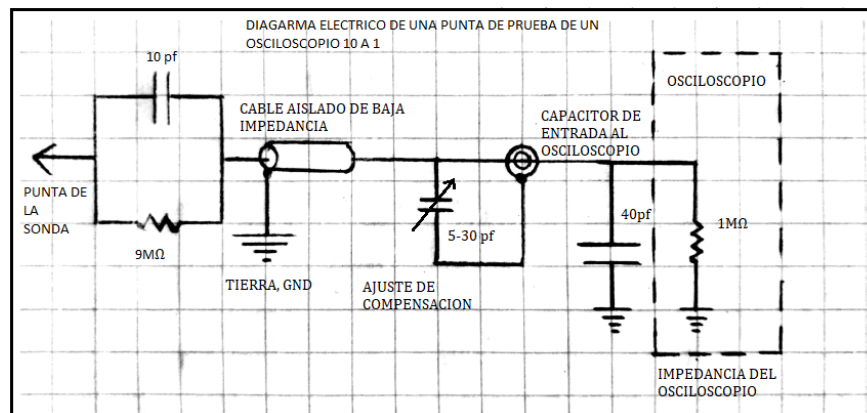


Figura 3.3.2. Diagrama eléctrico de una punta de prueba de un osciloscopio básico [11].



Figura 3.3.3. Puntas de generador, cable de extensión y punta de osciloscopio [11].

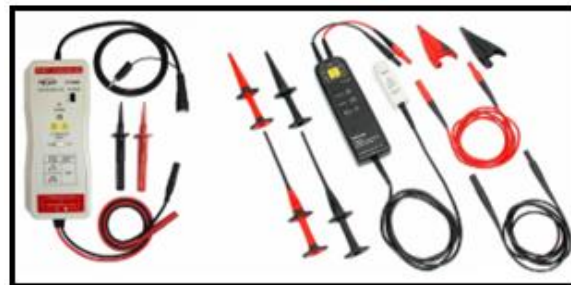


Figura 3.3.4. puntas o sondas diferenciales [11].

Ejercicios de la unidad 3

[3]. – William D. Cooper, Albert D. Helfrick. “Instrumentación electrónica Moderna y Técnicas de Medición”. Editorial Prentice Hall. 1991.

Capítulo 4, páginas 99 y 100.

Problemas del 4-1al 4-17.

Capítulo 5, páginas 129 y 130.

Problemas del 5-1al 5-8.

Capítulo 6, página 185.

Problemas del 6-1al 6-7.

PRACTICA UNIDAD III/ETD-1021

PROFESOR:

Nombre y Numero de la Practica	PRACTICA # 3 MEDICION DE PARAMETROS Medición con Puentes y Potencia Eléctrica
Objetivo de la práctica.	El alumno será capaz de: - Diseñar y simular un voltímetro de rango múltiple, escala 0-1V, 0 - 10V, 0-100V, 0-1000V. - Diseñar y simular un amperímetro de rango múltiple de escala 0-1mA, 0-10mA, 0-100mA, 0-1A, y 0-10A. - Diseñar y simular un óhmetro de rango múltiple de escala de 0-10Ω, 0-100Ω, 0-1000Ω y 0 a 10000Ω - Medir con el LCR elementos pasivos como son: • Elementos inductivos y • Elementos capacitivos. - Diseñar un multímetro básico de voltaje y corriente de c. a. - Construir y simular un circuito con puente de Wheatstone, con valores propuestos en cada uno de los elementos, el voltaje de la batería es 9 V, que es un voltaje standard, y la resistencia interna del galvanómetro según fabricante, considere la sensibilidad del galvanómetro de 1mA. Calcule la deflexión del galvanómetro causada por el desequilibrio de resistencias de 1-100 y 100 a 1 K en la rama desconocida, mida por lo menos 3 valores desconocidos, ajuste valores. - Utilizando algún simulador como es el proteus u otro simulador, simule los puentes de c. a. para la medición de al menos 3 elementos. - Medir elementos pasivos vistos en clase como son el diodo, el transistor BJT y JFET, MOSFET y algunos dispositivos tiristores. - Con un circuito de V c. a. medir potencia eléctrica usando el Wattmetro.
Introducción	• Explicar el funcionamiento de los medidores de elementos resistivos, inductivos y capacitivos de forma correcta en los diferentes tipos de puentes para realizar mediciones de corriente y voltaje de desbalance y los elementos desconocidos como son resistencias, inductores y capacitores. • Investigar en diferentes fuentes de información, las aplicaciones y características de los diferentes tipos de puentes de medición. • Realizar prácticas de laboratorio y presentar ejercicios demostrativos de la forma correcta de utilizar los puentes como instrumentos de medición.
Descripción	• Con la teoría vista en clase y de investigación construir los circuitos para la realización de la medición de puentes de Wheatstone. • Pedir el manual de operación del wattmetro, así como los elementos de seguridad para la correcta operación del equipo del laboratorio para aprender su funcionamiento.
Tiempo estimado	• 30 minutos por inciso (a), (b)... (j).
Observaciones	- Tomar nota del seguimiento y desarrollo de cada paso. - Tomar nota de cada circuito de medición - Comparar los datos obtenidos de la práctica con la teoría. - Elaborar un reporte con los siguientes pasos:

Reporte.	a). – Caratula b). - Objetivos c). - Desarrollo d). - Diagramas eléctricos e). - Observaciones y conclusiones.
Lista de Materiales	Fuente de voltaje variable de c.d. y c.a, 1 tablilla de experimentos (Proto board), resistencias de valores variables, ejemplo: 1 Ω , 47 Ω , 100 Ω , 1 K Ω y 10 K Ω de 1/2 watt, 1 watt, 2 watts, 1 multímetro digital, 1 galvanómetro o multímetro analógico, generador de funciones, osciloscopio, cable telefónico o jumper, pizas de corte y de punta, y un wattmetro, 1 tira de focos, un sw de seguridad, 20 bananas, medianas.

TEMA 4

Instrumentos Especiales y Virtuales

4.1. Analizador de estados lógicos.

Un analizador lógico o de estados lógicos es un equipo de análisis, verificación y medición, permitiendo al usuario visualizar un conjunto de señales múltiples digitales en un periodo de tiempo de adquisición en diferentes canales del equipo.

Estas señales provienen de circuitos hechos con lógica combinacional, como son compuertas TTL, CMOS, lógica básica y electrónica hecha con lógica secuencial, como contadores lógicos, construcción de relojes a diferentes frecuencias, circuitos secuenciales Moore y Mealy, memorias y máquinas de estado.

Si se trata de temas como microprocesadores de arquitectura Von Newman, análisis de líneas digitales o buses o de microcontroladores de arquitectura Harvard y Princeton, arquitecturas avanzadas ARM, RISC Y CISC y circuitos de aplicación de circuitos lógicos. Se pueden visualizar los niveles lógicos TTL (0 lógico = 0 volts), y (1 lógico = 5 volts) o +/-15 volts en tecnología CMOS, además cuentan con condiciones de disparo o trigger, función parecida al osciloscopio, esta condición funciona como almacenamiento de la señal o como un pre - acondicionamiento (pre trigger) de disparo y puede detener la adquisición de datos, para analizar posibles errores en la línea digital y son almacenados los datos de todas las muestras anteriores al disparo, los guarda en la memoria para su análisis (post- trigger).

El disparo intermedio (trigger), hace que la memoria conserve las muestras anteriores y posteriores en el disparo de señal, para poder analizar la señal digital.

Son eficaces en la visualización de relaciones temporales en líneas de datos y líneas de control y en el análisis de las líneas de direcciones en un microprocesador.

Opera como analizador temporal de tiempos, con señal externa y como analizador de estados lógicos., se sincroniza la lectura del canal con el sistema digital secuencial, al tener estas funciones es necesario tener conocimientos de circuitos digitales.

El funcionamiento general de un equipo actual se basa en las siguientes características:

Adquisición de datos. - Adquiere muestras de valores discretos de señales lógicas.

Almacenamiento de Datos. - Puede guardar datos de ciertos circuitos en una memoria digital interna, también en memoria externa como son los discos, USB, micro USB y muestras digitales.

Control de funciones. – Tiene un menú que controla la pantalla del equipo.

Presentación de datos. – El equipo presenta en el eje horizontal el tiempo y en el eje vertical los valores discretos de los datos de adquisición.

Los datos se representan simultáneamente en los canales las señales a analizar, (2, 4, 8, 16, canales o más), en la figura se muestra un analizador de tamaño mini, ya que existen de tamaño grande, lo que facilita al usuario trabajar en el banco de trabajo.

Como respaldo de la memoria tienen integrada una batería de litio de 3,7 V a 500 mA/h., y la velocidad de adquisición de datos llega de hasta 100 Mb/s o más frecuencia.

La impedancia de entrada de 4 canales es de 1M Ω , adecuada para el monitoreo, la medición, verificación y depuración de los circuitos digitales.

Lo que indica que no tendrá distorsión y así optimizar el análisis de los circuitos digitales a detalle, con pantalla LCD de 2,8 pulgadas y resolución de 320*240 pixeles, o más, según el modelo deseado.

Por su parecido a un osciloscopio, se puede utilizar para medir la corriente alterna, por lo que incluye el análisis de las formas de onda: senoidal, escalón unitario o cuadrada, diente de sierra y triangular a diferentes frecuencias.

Contiene los formatos para muestrear las señales y hacer el análisis del protocolo en serie: SPI, I2C y UART.

Guarda, transfiere datos e imágenes y administra el espacio de almacenamiento en una memoria EEPROM de 8 MB, de manera amigable, solo hay que leer el manual de usuario.

En la figura 4.1.1 se observa el diagrama a bloques de un analizador de estados lógicos general, posiblemente algunos otros modelos cuentan con más recursos y etapas.

La unidad de entrada conecta las líneas de canal con el equipo, el ancho de banda de muestreo que depende de la frecuencia del canal.

La unidad de visualización es la interfaz con el usuario donde se programa el equipo como es el reloj interno y externo, frecuencias de muestreo, formatos de las líneas o de datos, señales digitales, binarias, octales, hexadecimal.

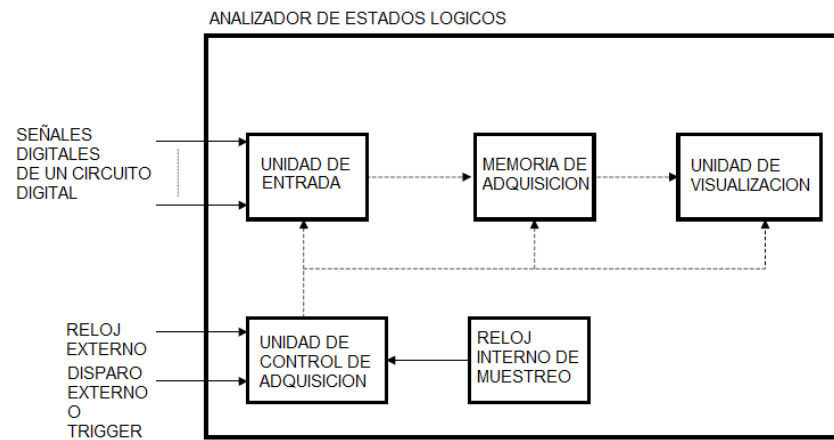


Figura 4.1.1. Diagrama a bloques de un analizador de estados lógicos [11].



Figura 4.1.2. Analizador de estados lógicos típico y una aplicación [11].



Figura 4.1.3. Pantalla de un analizador lógico [17] [32].

4.2. Analizador de espectros.

El analizador de espectro es un equipo que permite visualizar los componentes espectrales que muestran los componentes de una señal eléctrica en su espectro de frecuencias presente en la entrada con respecto al tiempo.

Las señales físicas se dividen en señales periódicas y no periódicas, entre otras, la idea principal de este equipo es enfocarse en conocer las características de una señal con respecto al tiempo, los osciloscopios actuales ya traen esta función de conversión a analizador de espectros, además los simuladores como el proteus también tiene esta función. Pero el manipular un analizador de espectros es un arte en cuanto se refiere al análisis espectral.

Los puntos más importantes de este equipo son:

- Los componentes se obtienen de un espectro de señal presente en el canal.
- Las señales obtenidas de un canal de entrada son censadas a través de un sensor especial y procesadas en su interior con procesadores de señal y filtros digitales (dsp).
- Se pueden analizar los anchos de banda y observar la frecuencia central de una señal y sus frecuencias laterales.
- Trabajan en la banda audible que es el ancho de banda de 20 Hz hasta los 20 K Hz.
- Este equipo fue desarrollado para el estudio de espectros de frecuencia, análisis de frecuencias centrales y está relacionada con la transformada de Fourier, haciendo una descomposición espectral de la señal oscilatoria.
- Puede reconstruir una función de una señal por la transformada inversa de Fourier.

- Se usa en las mediciones y pruebas de alta velocidad de sistemas de telecomunicaciones de alta definición.
- Para la obtención del espectro de una señal es necesario usar un filtro de banda y modular las señales a una banda base de análisis, y pasarla por un filtro tipo ancho de banda de resolución (RBW) para la detección de potencia de sus componentes.

Las funciones básicas que todo analizador de espectro debe de tener son:

- **Amplitud de la señal.** – Esta función muestra el valor en las divisiones en la pantalla en términos de dB M/división, tiene funciones de activación con un preamplificador si la señal es demasiado pequeña.
- **Frecuencia Central.** – El equipo muestra el intervalo de frecuencias en la pantalla.
- **Filtro de Resolución.** – Es un filtro pasa banda y tiene un selector de frecuencia el cual dará la resolución precisa de la señal medida.
- **Búsqueda o Marcador de Picos.** – Se pueden elegir los puntos de interés de una señal y marcarla para determinar la potencia de una señal o puede buscar un pico determinado en el espectro de la señal de forma automática.

Tipos de analizadores

- **Analógico.** – Es un equipo que muestra las ondas en el dominio del tiempo y la frecuencia, analiza una frecuencia selectiva, muestra la composición de las ondas eléctricas y responde a picos de potencia en valores RMS de la señal analizada, utiliza filtros pasa banda a frecuencias variables selectivas, ajusta las frecuencias centrales en un amplia gama de espectros, sus etapas de procesamiento están fabricados con electrónica analógica como transistores BJT's y Fet's y dispositivos pasivos en su construcción.
- **Digital.** – Su construcción está basado en la transformada rápida de Fourier “Fast Fourier Transformation” (FFT), que se expresa como la suma de señales a distintas frecuencias, en su canal de entrada se encuentra la señal la cual es procesada con un convertidor analógico–digital (ADC) y es controlado con un procesador de señales digital DSp, mediante un proceso matemático complejo transforma la señal en un espectro de frecuencia y fase que se puede analizar de forma digital llamado procesamiento espectral vectorial, la figura 4.2.1 muestra un analizador de espectros comercial.



Figura 4.2.1. Analizador de Espectros [18].

Existen infinidad de modelos de analizadores de espectro, pero la mayoría hace la misma función en descomponer una medición en tiempo dominante en espectros de una señal en el dominio de la frecuencia, como se observa en la figura 4.2.2. y tienen estas características:

- El ancho de banda de operación oscila entre 9 KHz a 2.1GHz, midiendo la magnitud de la señal de entrada.
- Miden la potencia de espectros de señales conocidas y desconocidas.
- Mide las frecuencias dominantes, potencia, armónicos, ancho de banda, distorsión, y otras características que no son fáciles de detectar en otros equipos.
- Las señales que procesa son señales de audio, de circuitos conmutados, de optoelectrónica ya que maneja espectros de luz infrarrojo, visible o ultravioleta, básicos en la comunicación inalámbrica, señales de radio y televisión, o de cualquier señal de interés.
- Ayuda en el análisis de espectros de transmisores inalámbricos y otros dispositivos electrónicos de telecomunicación [18].

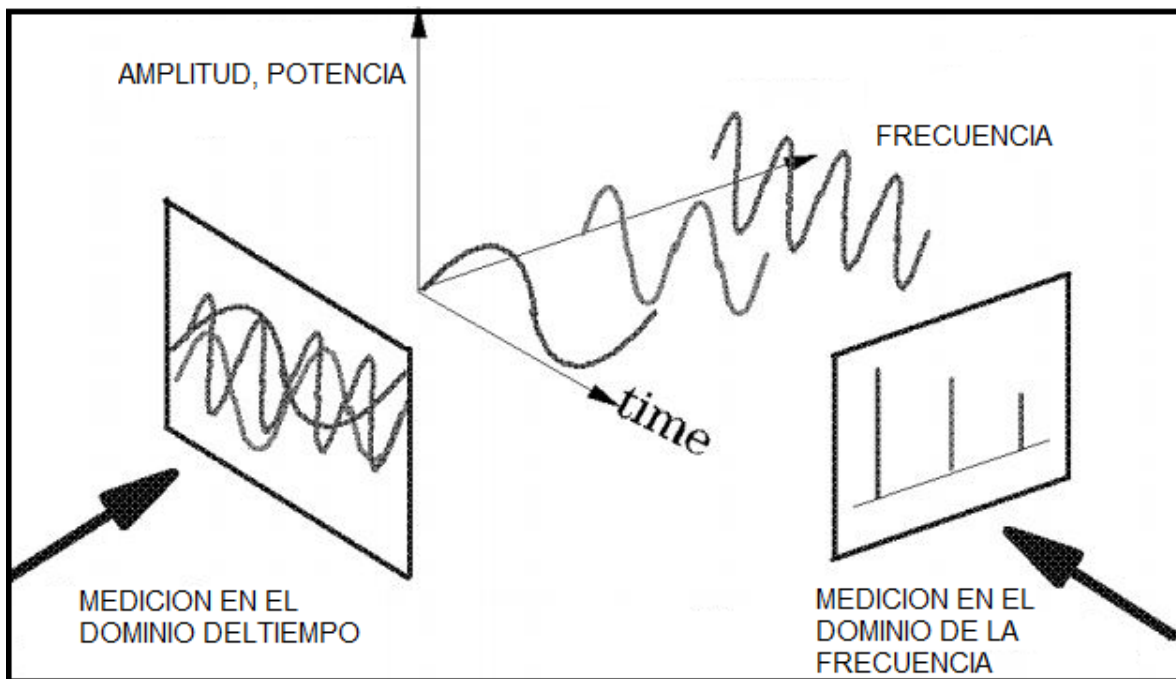


Figura 4.2.2. Descomposición de una señal en sus espectros [18].

4.3. Equipos especiales de medición.

Un equipo especial de medición difiere de un equipo convencional por que mide variables poco comunes a las magnitudes conocidas con un patrón determinado o de estándar primario o secundario.

Los instrumentos especiales de medición miden variables de interés científico o industrial y hace posible la medición de variables como la luz, el campo magnético, la velocidad de un motor, las curvas de un transistor, espectros especiales de frecuencia, graficas de magnitudes, números o relaciones que usuarios con capacitación en ramas como la física y la ciencia o alguna tecnología especial entienden.

4.3.1. Graficadores.

Actualmente un graficador está construido con pantallas leds, LCD o tipo touch, representan variables procesadas de manera digital, de gráficas, figuras o signos, aunque hay graficadores como los equipos registradores de los sismos que son mecánicos, algunos todavía siguen vigentes y sirven para registrar diversos procesos técnicos e industriales.

Los graficadores tradicionales registran datos en papel a través de una pluma la cual se desvía en proporción al comportamiento de la señal y su resultado es una gráfica de los datos obtenidos en la pantalla.

La operación de la mayoría de los graficadores se programa en base a modelos matemáticos, funciones matemáticas, vectores, y modelos físicos modelados con matemáticas, para ser visualizados en una pantalla, como líneas, barras, vectores en 3D, gráficos, estadísticas, puntos, círculos, columnas, símbolos, diseños geométricos, mapas, diagramas, imágenes o combinados, información de audio en los autoestéreos y de algunas señales eléctricas básicas y poco comunes, existe una gran flexibilidad de visualización y funcionabilidad como es la interfaz con el usuario. [21].

Los graficadores más comunes son:

- Calculadoras científicas.
- Pantallas de dibujo
- Libros electrónicos
- Pantallas de fotografías
- Teléfonos celulares y tablets
- Pantallas de radar
- Pantallas de gráficos tipo touch
- Entre otros.

Actualmente se han desarrollado graficadores digitales para crear infografías y gráficos como son: Geogebra, Google sheets, visual.ly, canva, picktochart, cacao, creately, sstat planet, hohli y footplot entre otros.

Los simuladores de circuitos como el proteus, el orcad, multisim, entre otros, contienen herramientas de graficación, como herramientas de visualización y algunos ejemplos se pueden ver en la figura 4.3.1 y 4.3.2.

Los graficadores como es la calculadora actual y se compone de las siguientes partes, como es la fuente de voltaje de 2 o 4 pilas, o con panel solar, pantalla normal o táctil de leds o LCD, donde muestra los números de 8, 10 o 12 dígitos, como se observa en la figura 4.3.3.

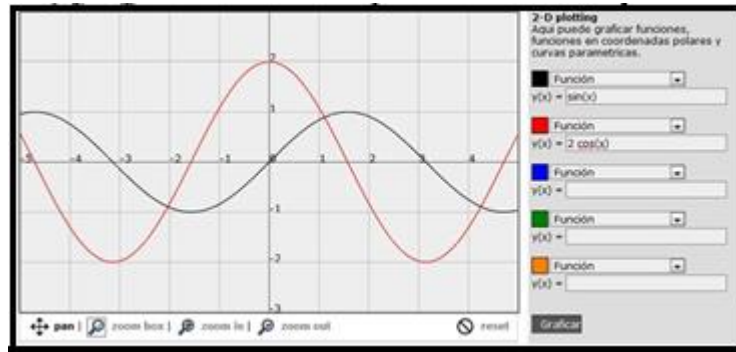


Figura 4.3.1. Grafica de una señal senoidal de un software de simulación.

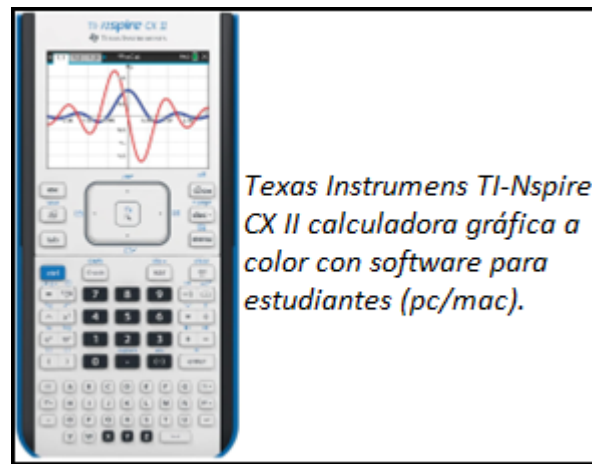


Figura 4.3.2. Calculadora grafica comercial.

4.3.2. Trazador de curvas.

Es un instrumento en donde mediante una conexión con un dispositivo activo se obtienen las curvas características de los diodos, transistores BJT's, JFET's y los presenta en pantalla o display, las gráficas de comportamiento de los portadores de carga (Electrones (e^-) y huecos (h^+)), de un dispositivo semiconductor con los que están hechos los transistores y cualquier material de unión NP semiconductor.

Las curvas son una representación del efecto amplificador del transistor BJT. Donde la entrada de información es el modelo del transistor, la información de ganancia (β), y grafica en el eje X, horizontal, el voltaje colector emisor de un transistor (V_{ce}), con magnitud de 100mV/div, en el eje y o vertical, la corriente de colector, I_c , con magnitud de 2mA por cuadro del trazador de curvas, donde se ven las magnitudes a usar en el diseño de un amplificador con transistor, o un circuito con diodos rectificadores o especiales.

Esto lo convierte en un equipo de laboratorio o de diseño.

La operación de este equipo es básica, y se puede ver el comportamiento de un diodo, como se ve en la figura 4.3.4. la gráfica aparece en un trazador de curvas.

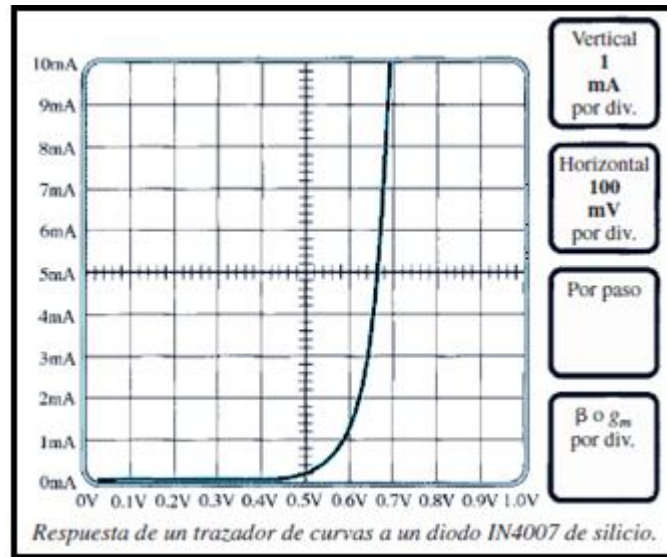


Figura 4.3.4. Curva del diodo en un trazador de curvas [21].

En el caso de un transistor BJT, existen 3 zonas de análisis: la zona de corte y zona de saturación son las primeras zonas y sirven para el diseño de conmutadores con transistores, la zona lineal de amplificación sirve para el diseño de amplificadores y sus curvas se pueden ver a detalle en un trazador de curvas, como se observa en la figura 4.3.5 y en la figura 4.3.6. se observa la gráfica de un transistor efecto de campo JFET.

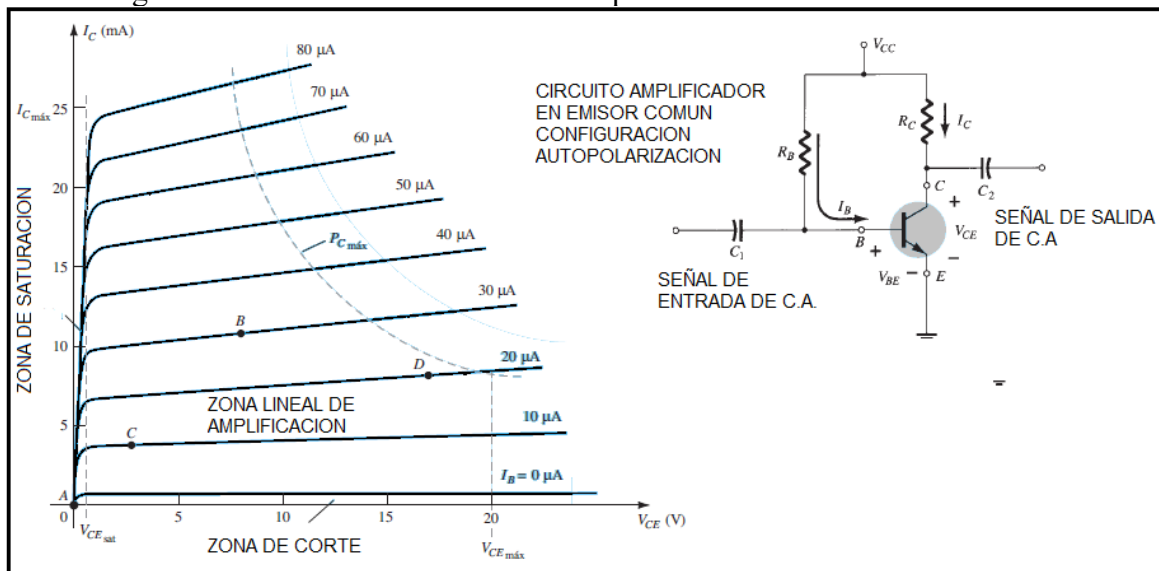


Figura 4.3.5. Curvas características de un amplificador BJT [14].

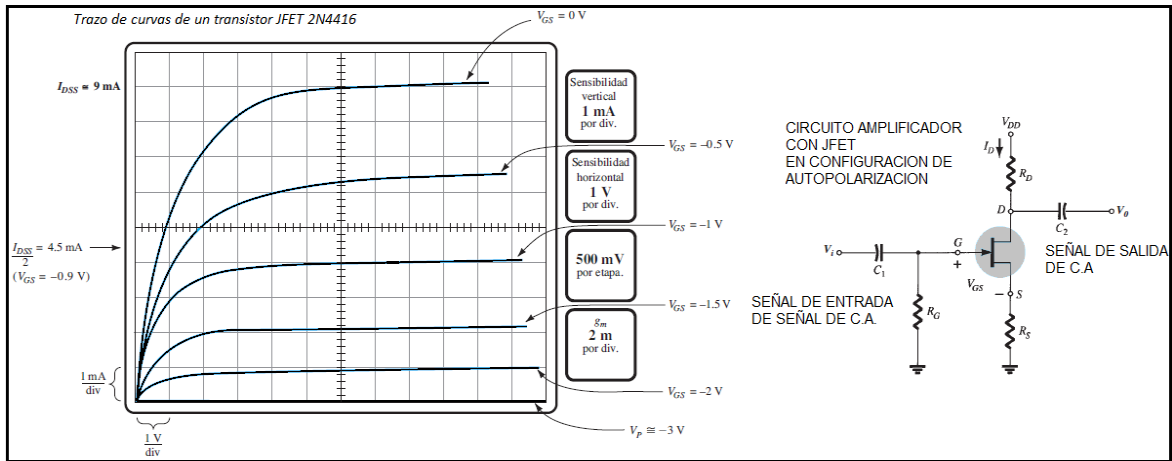


Figura 4.3.6. Curvas características de un amplificador JFET [21].

En las figuras 4.3.7., 4.3.8., y 4.3.9 se observan varios trazadores de curvas. [21].

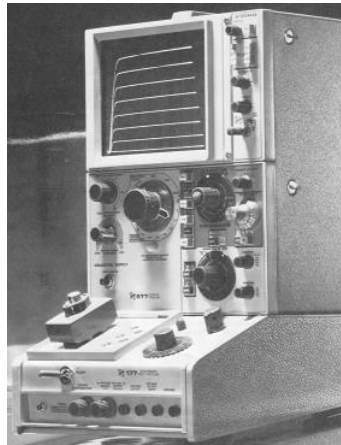


Figura 4.3.7. Trazador de curvas Tektronix 577-177-D1.



Figura 4.3.8. Trazador de curvas Tektronix.

Localizador de fallos de UCE-CT220L y
trazador de curvas



Figura 4.3.9. Trazador de curvas moderno UCE-CT220L.

4.3.3. Luxómetro.

Es un instrumento de medición que mide las fuentes de luz, la luminancia real en un ambiente o espacio determinado, llamado LIGHT METER o fotómetro, su medida es el LUX (LX) o LUXES, la luminancia se mide en lux, y la medición se hace de acuerdo con el sistema de referencia al ojo humano y se interpreta como la potencia de iluminación de un lumen e ilumina un área de un m^2 en una superficie uniforme.

El luxómetro se compone de:

- Una celda fotoeléctrica o fotorreceptor que se encarga de recibir la intensidad lumínica y enviarla al convertidor de corriente a voltaje, después la envía a un controlador que la procesa y tiene como salida una pantalla lcd.
- El fotorreceptor funciona como lector y sensor de luz, la convierte a una señal eléctrica medible.
- Un sensor de carga acoplada Charge Coupled Device (CCD). es más eficaz como dispositivo de entrada lumínica.
- Las palabras de lux y lumen se relacionan entre sí, los lúmenes miden la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa y los luxes determinan la cantidad de luz proyectada sobre una superficie determinada.
- El concepto de **lúmenes** es la eficiencia del flujo luminoso que emite una fuente de luz en relación con la potencia disipada (Lm/W), sin tomar en cuenta la superficie de la fuente de luz, el valor de lumen es alto cuando está cerca de la fuente de luz.
- El concepto de **lux** es determinar la cantidad de luz emitida proyectada en una superficie, un lux equivaldría a un lumen por metro cuadrado.

Estos conceptos se demuestran en las figuras 4.3.10, 4.3.11 y 4.3.12.

- Se visualizan las cantidades en un display o una aguja indicadora.
- Si es un luxómetro analógico el sensor será una fotorresistencia que censará la luz y dará como salida una corriente que será medida con un movimiento D'Arsonval y desplazará una aguja en un registro parecido al voltímetro.

- Si el luxómetro es digital, el control es un circuito integrado que recibe la información del sensor, la lectura de corriente o voltaje será convertida a un voltaje medible y será procesada en un convertidor analógico digital ADC, de ahí al circuito integrado y se podrá visualizar en un graficador.
- Internamente el luxómetro tiene un filtro de corrección de espectro, que se ajusta al procesamiento de la medida programada en el procesador del luxómetro.
- La eficiencia del luxómetro varía según la fuente de luminosidad fuerte o débil.

El uso de los luxómetros se da en:

- En fotografía y en el cine para la iluminación de escenarios y paisajes.
- En la producción de energía donde el 20% al 60% de la electricidad es consumo de energía eléctrica y es aplicable en sectores de generación y consumo de electricidad.
- En circuitos fotoeléctricos, integrados en fotoceldas de luz, miden y censan la luz del cielo y del cosmos o actúan como interruptor crepuscular.
- Para el control de luminosidad en museos y salas de exposiciones.
- En la medición de superficies donde es importante la incidencia de luz.
- Para la calibración en lámparas o en el diseño de lámparas comerciales e industriales.
- En higiene y seguridad.

Los tipos de luxómetros son:

- Clase A. – Medición de luz con dispositivos de alta precisión.
- Clase B. - Medición de luz con dispositivos de media precisión.
- Clase C. - Medición de luz con dispositivos de baja precisión
- Clase L. - Medición de luz con dispositivos de alta precisión, para laboratorios.

También en la figura 4.3.12 se observan luxómetros comerciales. [21].

La cantidad de lux recomendados en algunas zonas se pueden ver en la siguiente tabla 4.3.1.

Tabla 4.3.1. Cantidades de lux en diferentes zonas.

Zonas	lux
Áreas de trabajo, habitaciones	500-600 lux
Baños, zona de juegos	300-500 lux
Cocinas, zonas generales	200-300 lux
Dormitorios, estancias	100-200 lux
Zona de TV, salones	50- 100 lux

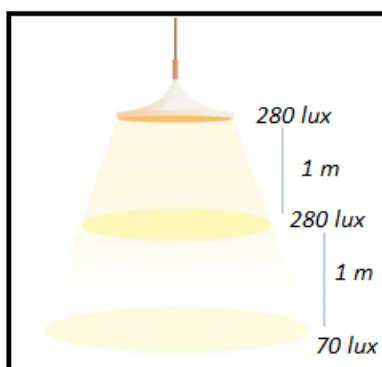


Figura 4.3.10. Magnitudes de lux [21].

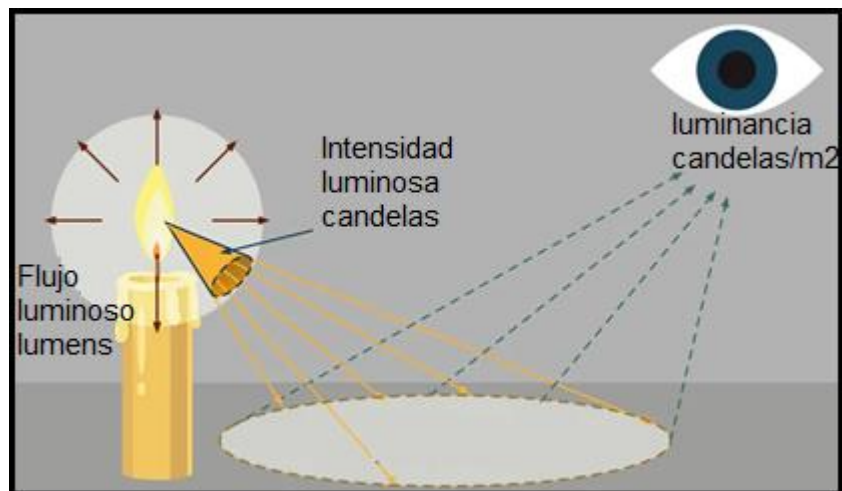


Figura 4.3.11. Concepto de lux y candelas.



Figura 4.3.12. Luxómetros, Fluke 941 y portable.

4.3.4. Tacómetro.

El tacómetro es un dispositivo que mide la rotación de un motor, llamado también cuenta revoluciones, midiendo la velocidad de giro de un eje giratorio, el termino tacómetro viene del griego “Tachos” de significado rapidez, Velocidad, y de la palabra “Metron” de significado medida, y juntos significa “medida de la velocidad”, mide la velocidad del eje de un motor de corriente continua o corriente alterna, midiendo las revoluciones por minuto (RPM). Hay de contacto, ópticos y laser, la medicion se debe hacer con mucho cuidado.

Los tipos de tacómetro son:

- Tacómetro analógico,
- Tacómetro digital.
- Tacómetro mecánico
- Tacómetro óptico

- Tacómetro de contacto
- Tacómetro eléctrico
- Tacómetro centrífugo

El Tacómetro se compone de:

- **Un Dial.** – Parte mecánica que mueve un indicador de aguja en una superficie graduada, marcando la magnitud de la velocidad.
- **Una aguja** de indicación de magnitud en tiempo real.
- **Marcas graduadas** de magnitudes de velocidad, más hay que agregar marcas de peligro.
- **Disco graduado** para contar la velocidad que está en magnitudes de metros por segundo o kilómetros por hora.

Los usos de un tacómetro son:

- En un inicio el tacómetro media fuerza centrífuga, por lo que era totalmente mecánico.
- Tiene aplicación para medir las revoluciones por minuto en vehículos.
- Tiene aplicación en el control de velocidad de casi todos los motores y turbinas.
- Mide fuerza lineal, es más preciso por su construcción con electrónica analógica o digital, puede medir rotaciones en motores de corriente continua o corriente alterna.
- El tacómetro analógico en realidad es un dispositivo electromecánico con su dial, marcando la velocidad con su aguja y su resorte, como se ve en la figura 4.3.13.
- Se fabrican tacómetros magnéticos, basado en imanes y se activan cuando existe contacto con el eje rotatorio, hay mecánicos y digitales, como en la figura 4.3.14.
- El tacómetro digital es de mayor precisión, se construye con una pantalla led o lcd, proporcionando lecturas con el numero de la velocidad del motor.
- Cuenta con memoria EEPROM para guardar las velocidades y tiempos.



Figura 4.3.13. Tacómetro mecánico.



Figura 4.3.14. Tacómetros que funciona por campo magnético [22].

El tacómetro sin contacto mide la velocidad del eje por medio de óptica o de un láser sin tener contacto con el balero y el eje rodante. Son más compactos y su detector es un diodo láser. se alimenta de 3 pilas AA, se puede ver en la figura 4.3.15. y sus medidas son:

- Un tamaño de un tacómetro comercial es de 4.55" x 2.52.2 ancho x 1.24" alto.
- Velocidad de detección de la rotación de algunos tacómetros de: 6.0 a 99,999 rpm, con contacto 6.0 – 25,000 rpm. Perfecto para medir motores, piezas rotatorias, y puede variar según fabricante.
- Almacena la última lectura, mínima y máxima, cuenta con ajuste automático a cero.
- Tiene una precisión de $\pm 0.05 \%$, a una distancia de 5-50 cm, y claro.
- Leer el instructivo antes de usarse.



Figura 4.3.15. Tacómetros láser comercial.

4.3.5. Medidores de campo magnético.

La medición de campo magnético B o Gaussimetro se hace con un instrumento que mide la fuerza Magnética de los campos magnéticos creados en un conductor eléctrico e involucra las corrientes eléctricas en su campo magnético, su unidad es el Tesla o los Gauss.

- El campo magnético B es un concepto de la teoría electromagnética que explica a las fuerzas magnéticas que se ejerce sobre un elemento y se distribuye en un espacio o en un punto dado, se crean en las corrientes eléctricas producidas por una fuente magnética.
- La fórmula en un cable recto que transporta una corriente dada es la siguiente:
- $$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$
- donde $\mu = (4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A})(A)$.
- El campo magnético obedece a la regla de la mano derecha, la cual determina la dirección del campo magnético, el pulgar apunta a la dirección de la corriente, y los dedos alrededor del cable indican la dirección del campo magnético, información importante para realizar la medición, ver figura 4.3.16. 4.3.17. y 4.3.18.

Observación “Nunca tocar el cable desnudo”, hay que desenergizar la fuente de voltaje.

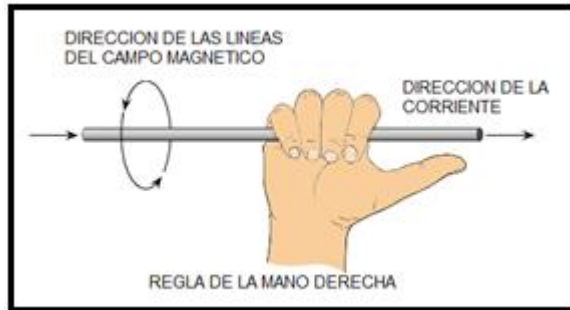


Figura 4.3.16. Dirección de las Líneas de Campo.



Figura 4.3.17. Líneas de campo magnético.

Usos de un medidor de campo magnético

- Miden la radiación magnética en los conductores de cobre utilizados en electricidad y de otro tipo de conductores cuando es necesario medir diferentes corrientes.
- Existen varios modelos de medición de campo magnético.
- En equipos de radio frecuencia.
- En transformadores eléctricos
- En la construcción de imanes.
- En la medicina, para la evaluación de riesgos de las corrientes para la salud.



Figura 4.3.18. Medidor de campo magnético de efecto Hall.

La concentración de campos magnéticos para el ser humano puede causar problemas al organismo, hay que evitar la exposición a estos campos derivados de las ondas, el símbolo de estas restricciones de presentan en la figura 4.3.19.

Zona 1. - El valor límite es $0.42 \mu\text{T}$, es para zonas controladas y áreas de acceso general.

Zona 2. - El valor límite máximo es de $1.36 \mu\text{T}$, zonas industriales controladas. [22].



Figura 4.3.19. Zona magnética.

4.3.6. Analizador de Fourier.

Las mediciones de los analizadores de Fourier se basan en la transformada rápida de Fourier (FFT), y su uso se basa en la identificación de las causas en posibles vibraciones y con la lectura se hace un análisis para reducirlas.

Se utilizan para el hacer observaciones de los componentes de baja frecuencia en señales de vibraciones en máquinas.

Principio de operación.

Su operación se basa en la transformada rápida de Fourier la cual establece que cualquier onda compleja con su periodo cíclico se presenta en una serie de ondas senoidales (*sen ωt*) y cosenoidales (*cos ωt*) básicas, mide si la forma de onda es periódica y repetitiva infinitamente. Su presentación se da en 3 parámetros que son amplitud (A), frecuencia y fase (período y diferencia de tiempo). como se ve en la figura 4.3.20.

La forma de onda de entrada se analiza con respecto al tiempo (eje x) en el eje y la amplitud, se transforma en una gráfica de frecuencia con su magnitud, para ser usada en el análisis de vibraciones, cuando no se sabe que componentes están presentes en la fuente de vibración.

Las ecuaciones que hacen el cálculo entre el dominio del tiempo y la frecuencia se realizan a través de la transformada discreta de Fourier (DFT) e inversa de Fourier (IDFT) son las que rigen el programa de control, donde el modelo matemático se discretiza con la transformada discreta y el algoritmo se programa en el procesador del analizador de Fourier.

Donde:

DFT es: $X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{kn}$ donde $k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$

IDFT es: $X(k) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k)W_N^{-kn}$ donde $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$

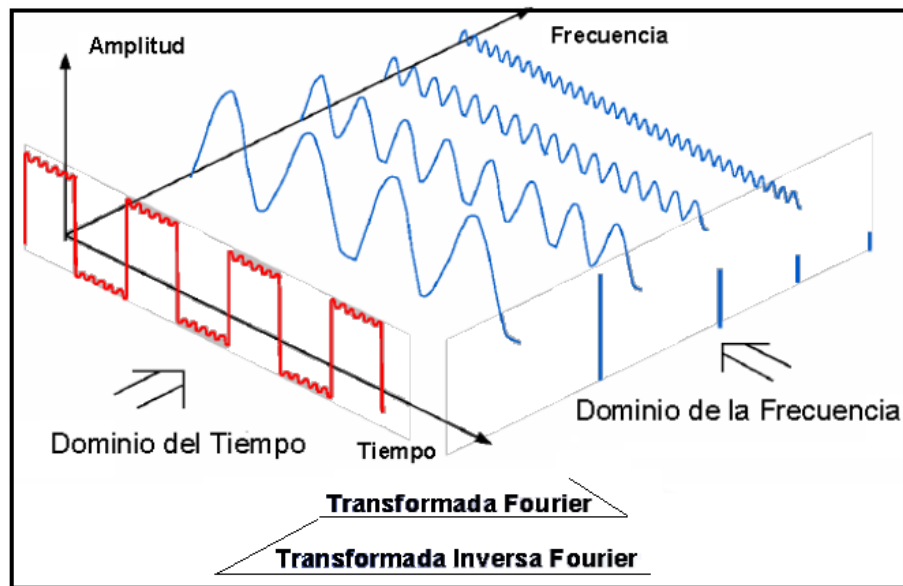


Figura 4.3.20. Transformada de Fourier e inversa.

Los científicos J.W. Cooley y J.W. Turkey optimizaron el método de Fourier, llevando los datos a la enésima potencia, llamada la transformada rápida de Fourier.

Los usos del analizador de la transformada de Fourier.

- Resonancia en máquinas vibradoras en la construcción.
- Comprobación de frecuencias de vibración.
- Supresión de vibraciones en fallos por fatiga en estructuras.
- Detección de rotaciones irregulares en motores, revelando fuentes de vibración.
- En el análisis del habla, identifica fuentes de sonidos de humanos o instrumentos.
- Es usado en el desarrollo de equipos de oficina y línea blanca.
- Identifica fuentes de ruidos de baja frecuencia, entre otros usos.
- En acústica descompone la señal en componentes individuales espectrales.

Tipos de analizadores de Fourier. como se ve en la figura 4.3.21. [23].

- Analizador de banda de octava.
- Analizador de audio y acústica
- Analizador de audio FFT de wavePad
- Viene en combinación con el analizador de espectro.
- Analizadores de bancos de filtros
- Analizadores de Fourier
- Analizadores de filtro sintonizado
- Analizadores de barrido (superheterodino)



Figura 4.3.21. Analizador de Fourier comercial.

4.4. Introducción al manejo de instrumentos virtuales

Los instrumentos virtuales son “reales” en el sentido que tienen la capacidad de adquirir y procesar datos, a partir de fenómenos físicos en un ambiente hostil como es el campo industrial y “virtuales” en el sentido en que la instrumentación y el control están programados con una computadora a través de un software especializado.

La estructura de un instrumento virtual se constituye por un computadora o estación de trabajo con varios programas cargados (software) y el sistema de adquisición de datos como son tarjetas de entrada y drivers para la configuración de estas tarjetas.

El diseñador de la instrumentación virtual usa las herramientas del programa virtual para crear sus propios programas de interfaces hombre - máquina que cubran las necesidades de aplicación.

Los datos son procesados desde un ambiente virtual, son manipulados por modelos matemáticos y almacenados de acuerdo con las necesidades de usuario., además proporciona al programa inteligencia en la toma de decisiones, en la figura 4.4.1. se muestra una pantalla hecha con LabVIEW de un programa virtual.



Figura 4.4.1. Ambiente virtual LabVIEW.

La instrumentación virtual se lleva a cabo en el manejo de simuladores y software libre y de licencia, la mayoría de estos instrumentos son amigables y uno de ellos son:

- LabVIEW de National Instruments
- Proteus
- Multisim
- Pspice
- Entre otros.

La mayoría son programas de implementación de instrumentación electrónica cuentan con recursos de diseño de instrumentación, implementación, graficadoras, programación, donde están integrados equipos de medición virtual como multímetros, amperímetros, osciloscopios, generadores, análisis de frecuencia, diseño de circuitos digitales y circuitos electrónicos, entre otras funciones, lo que permite al usuario ahorrar tiempo y costo en el manejo de proceso como si implementara físicamente estos instrumentos, el LabVIEW es un ejemplo de ello. [30] [34].

Explicar el funcionamiento general de los instrumentos virtuales

Los instrumentos virtuales funcionan de manera general de la siguiente manera:

El LabVIEW.

- Por definición significa: Banco de trabajo de un laboratorio virtual de ingeniería (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrument **E**ngineering **W**orkbench) o **LabVIEW**.
- Es un entorno de trabajo que funciona como un desarrollo gráfico con las funciones integradas para desarrollar adquisición de datos, análisis de medidas, automatización y control de instrumentos para un proceso y visualización de datos a ser procesados en un ambiente académico, científico e industrial.
- Es un lenguaje muy completo de ambiente de programación gráfica de instrumentos, amigable con los entornos tradicionales de manejo de automatización y control
- De alto desempeño, flexible, es reutilizable y se puede reconfigurar, es portable, en el diseño de un ambiente virtual de instrumentación teniendo la capacidad para tener varios ambientes en un solo equipo.

Aplicaciones de la instrumentación virtual.

- Se aplica en el control de información en la interconexión y flujo de información entre dispositivos periféricos a través de interfaces estándar a la unidad de procesamiento central.
- Es imprescindible en el análisis, adquisición y monitores de datos remoto.
- Manipulación de datos como es la comunicación en red, acceso a internet, e impresión.
- Aprendizaje mediante laboratorios virtuales, diseño de controles, medidores,
- Aplicación en la investigación científica mediante cambios de variables en experimentos de tiempo real.
- Empleo de laboratorios, técnicas de enseñanza y de aprendizaje que permitan a los estudiantes para desarrollar tareas de procesamiento, donde el usuario genera sus propios sistemas de adquisición y pruebas de señales en tiempo, reduciendo costos y sobre todo tiempo.

En la tabla 4.4.1. se observa la comparación de una instrumentación tradicional con respecto a una instrumentación virtual

Tabla 4.4.1. Instrumentación virtual vs instrumentación tradicional.

Instrumentación tradicional	Instrumentación virtual
Fabricante definido	El usuario define el proyecto
Función específica con límite de conectividad	Conectividad total a redes y periféricos
Hardware como desarrollo	El software como herramienta de control
Costoso el desarrollo	Económico, programas reutilizables
Poca flexibilidad, arquitectura cerrada y fija	Ambiente abierto, totalmente funcional
Desarrollo tecnológico lento	Desarrollo tecnológico rápido y flexible
Programas de mantenimiento costosos	Poco mantenimiento de desarrollo

La programación en LabVIEW es compleja y requiere de aprendizaje de electrónica e instrumentación electrónica, y otras áreas técnicas del conocimiento, además otros ambientes virtuales como el proteus, orcad, entre otros requieren de estudio y practica como se observa en las figuras 4.4.2. y 4.4.3.

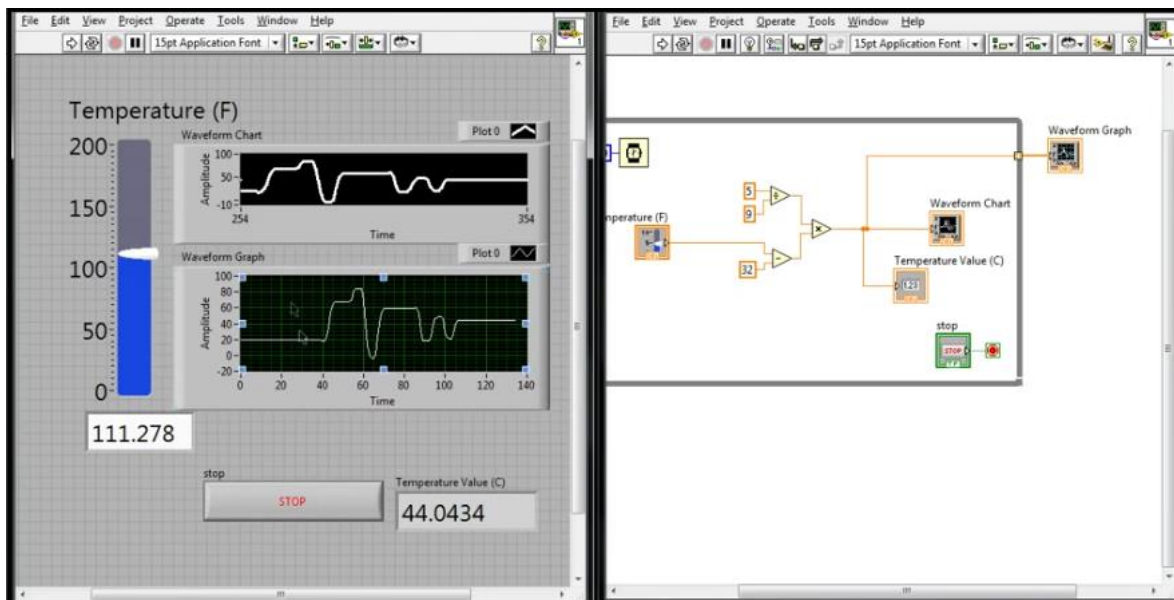


Figura 4.4.2. Programa de un termómetro en LabVIEW [34].

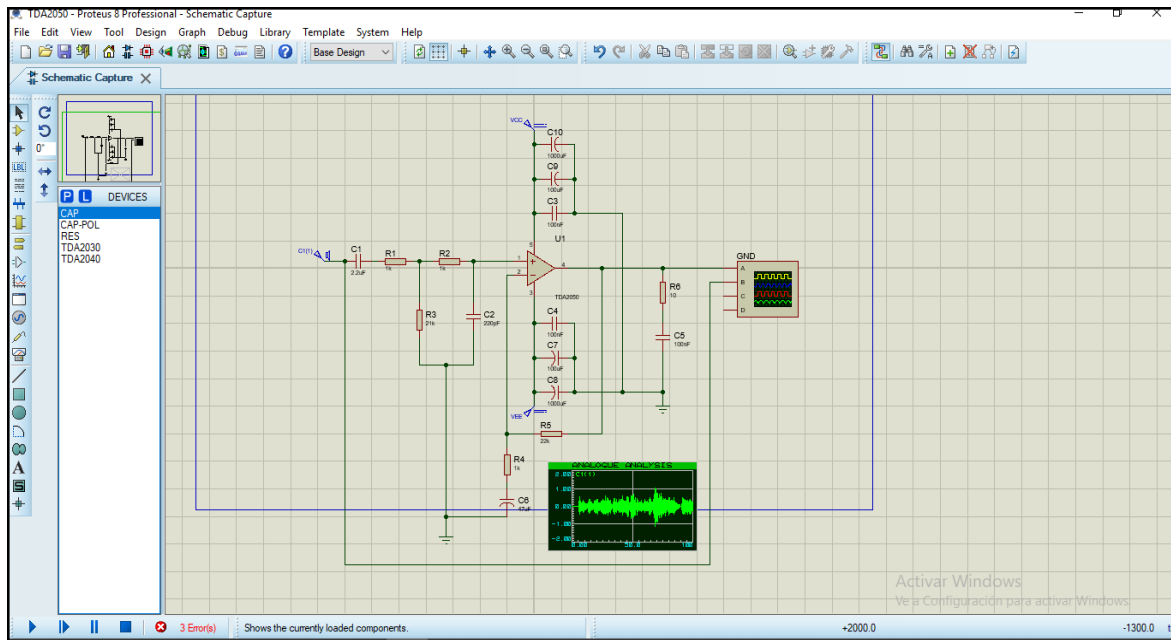


Figura 4.4.3. Circuito en proteus con 2 instrumentos.

Actividad por equipos:

Investigar los tipos de instrumentos especiales y desarrollarlo en un recurso digital como es power point, video o cualquier otro tipo de material didáctico de forma individual o por equipo, las partes de un instrumento a bloques tomando en cuenta la definición, conceptos básicos, usos, puntos importantes y aplicaciones reales.

MEDICIONES ELECTRICAS /ETD-1021

PROFESOR:

Nombre y Numero de la Practica	PRACTICA # 4 Instrumentos especiales y virtuales
Objetivo de la práctica.	El alumno será capaz de: a) Investigar según el temario de la unidad 4 un instrumento de los tipos de instrumentos especiales y desarrollar en un recurso digital como es power point, video o cualquier otro tipo de material didáctico, de forma individual o por equipo, las partes de un instrumento a bloques tomando en cuenta la definición, conceptos básicos, usos, puntos importantes y aplicaciones reales de los siguientes equipos: 4.1. Analizador de estados lógicos. 4.2. Analizador de espectros. 4.3. Equipos especiales de medición. 4.3.1. Graficadores. 4.3.2. Trazador de curvas. 4.3.3. Luxómetro. 4.3.4. Tacómetro. 4.3.5. Medidores de campo magnético. 4.3.6. Analizador de Fourier. 4.4. Introducción al manejo de instrumentos virtuales. b) Realizar mediciones de los equipos de esta unidad, según existencia en el laboratorio.
Introducción	El funcionamiento de los instrumentos especiales y virtuales es de forma específica para su aprendizaje tomando en cuenta su definición, sus conceptos básicos, sus usos, y sobre todo las aplicaciones reales.
Descripción	Preparar la definición, conceptos básicos, usos, y aplicaciones reales y la teoría para exponerla en clase, apoyados por el docente e investigar, construir los ejemplos necesarios para su entendimiento, de cómo operan los distintos tipos de instrumentos virtuales y especiales en el campo laboral.
Tiempo estimado	• 10 - 15 minutos por exposición,
Observaciones	v. Tomar nota de los temas, seguimiento y desarrollo de exposición. vi. Tomar nota de cada instrumento especial y virtual vii. Elaborar una serie de preguntas significativas de cada instrumento especial y virtual e integrarlo a un cuestionario integral:
Reporte.	a). – Caratula b). - Objetivos c). - Desarrollo d). - Diagramas eléctricos e). - Observaciones y conclusiones.
Lista de Materiales	Material para exponer, cañón, plumones, borrador, serie de preguntas y buena presentación personal. Instrumentos en el laboratorio para realizar mediciones.

TEMA 5

Diseño y Elaboración de Tarjetas de Circuitos Impresos.

5.1. Introducción a los Circuitos Impresos.

Las placas de los circuitos impresos, Printed Circuits Board (PCB) son superficies lisas con pistas de cobre o de un material conductor sobre un sustrato aislante de fabricación como el cartón comprimido o resina fenólica, sus nombres comerciales perrinax o baquelita, fibra de vidrio reforzada, plástico, teflón, cerámica y celuloide con película, las pistas conectan eléctricamente los componentes que forman un diseño o aplicación de un circuito electrónico, para que sus componentes estén fijos en la placa PCB de una manera rígida o de sustentación mecánica y confiable, reduciendo el espacio que ocupan las pistas y se pueda manejar de manera flexible para la manipulación del hardware de una aplicación electrónica.

El montaje del circuito impreso tiene varias ventajas como son:

- Son de montaje compacto, flexible y confiable
 - Reducen el número de interconexiones en la placa
 - Permite tener una, dos, tres, cuatro o múltiples capas
 - Permite la separación de las pistas en las placas conductoras, evitando cortos circuitos.
 - Las placas de 2 capas tienen componentes en ambos lados.
 - Para la fabricación de las placas hay que retirar el cobre sobrante, formando las pistas conductoras, ubicando los círculos donde se va a barrenar o pads y las pistas.
 - Hay lado de componentes y lado de soldadura
 - La soldadura se compone de aleación de zinc, cobre y plata, para evitar la oxidación y permitir la buena soldadura, evitando la soldadura en frío.
 - Los químicos de ataque son: el sulfuro de amonio, el ácido clorhídrico solución con agua, peróxido de hidrógeno y el clásico cloruro férrico.
 - Las brocas son milimétricas de carburo de tungsteno y su controlador es del tipo taladros controlados por computadora o NCD o archivos "Excellon".
 - Las pistas se fabrican para soportar corrientes de nA, μ A, de 1 a 10 amperes o más.
 - Las pistas se diseñan de acuerdo con su grosor, longitud y forma y características eléctricas.
 - Se pueden diseñar barrenos de un lado a lado, llamados **Through-Hole** de una sola cara o de doble pista, o múltiples pistas, en este punto hay que considerar la impedancia de funcionamiento del circuito.
 - Las normas y estándares en la elaboración de circuitos impresos son controlados por las siguientes organizaciones:
1. La organización *Institute for Printed Circuits*, IPC, generó un conjunto de estándares que regulan el diseño, ensamblado y control de calidad de los circuitos impresos, siendo la familia IPC-2220 una de las de mayor reconocimiento en la industria.

2. Otras organizaciones, también contribuyen con estándares relacionados, como por El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI), *American National Standards Institute institución que ha contribuido con estándares de impresos*.
3. Comisión Electrotécnica Internacional International Engineering Consortium, (IEC)
4. Alianza de Industrias Electrónicas *Electronic Industries Alliance, (EIA)*, y
5. *Joint Electron Device Engineering Council (JEDEC)*. Entre otras.

Las técnicas de fabricación de circuitos impresos son:

- Acción o abrasión químicas con cloruro férrico
- Impresión serigráfica.
- Fotograbado
- Impresión de material termosensible.
- Fresado mecánico y se explicaran en la sección 5.3

5.2. Diseño de PCB mediante software.

Hoy en día se utilizan programas Computer-Aided Manufacturing CAM o diseño asistido por computadora, algunos son de software libre y otros son de licencia teniendo las mejores características, y la metodología del diseño de tarjetas de circuitos impresos, ha cambiado, los pasos de diseño mediante software son:

- Dibujar el diagrama electrónico o esquemático del circuito a diseñar o a implementar.
- Generar la lista de conexiones o el netlist
- Diagramar o enrutar el circuito impreso en el software seleccionado
- Fabricar las baquelitas.
- Se puede diseñar baquelitas de una sola capa conductora o simple faz, de 2 capas o doble faz y de cuatro capas conductoras o multicapa.

Los circuitos impresos se componen de:

- Capa de componentes o top side, o silkscreen, símbolos, conexiones y anotaciones
- Capa de soldaduras o bottom side, o bottom copper.
- Círculos o islas llamados pads, con pistas de cobre de lado inferior de la baquelita
- Las pistas de cobre se les llama tracks
- Cara de componentes con texto, notas, símbolos de componentes y
- Máscara protectora indica las zonas que no se deben de cubrir con laca protectora de la máscara anti-soldante, antisloder mask incluye la zona de tierra física.
- La tabla 5.1.1. Muestra los grosores de pistas en los circuitos impresos:

Tabla 5.1.1 Corrientes recomendadas en amperes-grosor.

Corriente en Amperes	Grosor mm
0.30	10
0.40	15
0.70	20
1.0	25
2.0	50
4.0	100
6.0	150
8.0	200
10.0	250
16.0	400

Algunos fabricantes de diseño mediante software son:

- Orcad
- Ivex Design
- Interactive Imaging Technologies
- CadSoft (EAGLE)
- Altium
- Advanced Microcomputer Systems
- ExpressPCB
- Protel Technology y Proteus, entre otros fabricantes de diseño de PCB's. [24] [27].

Método de Diseño por Proteus.

1. - Como primer paso se abre el software con el que se cuenta Identificación de las opciones existentes en el software seleccionado en este caso es el proteus design suite 8.9. ver figura 5.2.1.

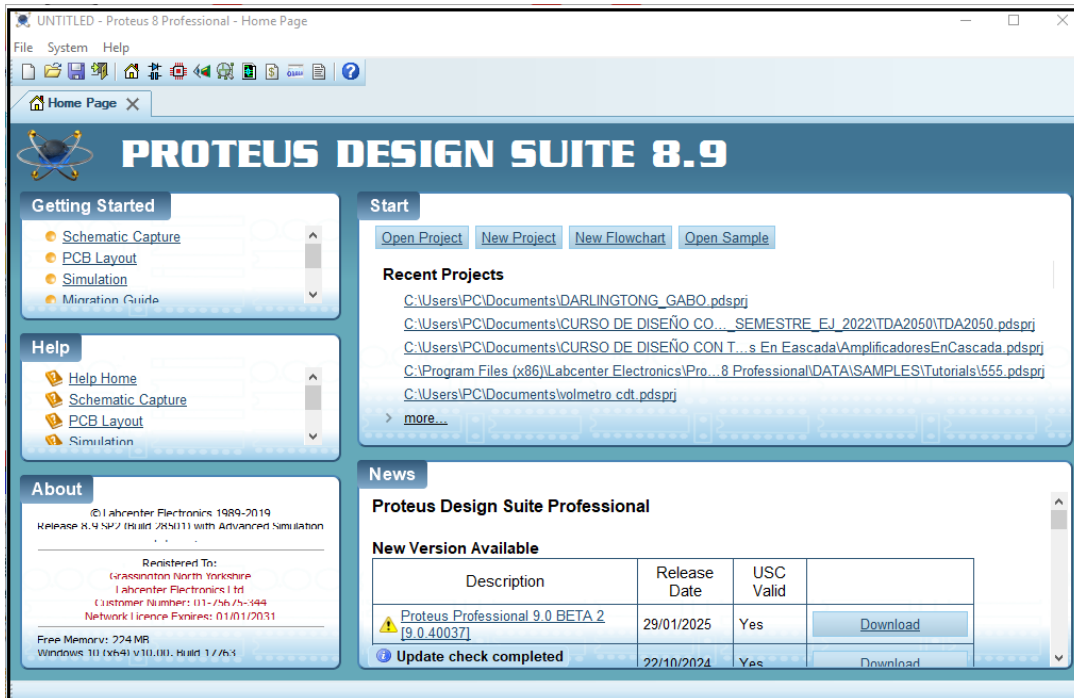


Figura 5.2.1. Pantalla menú de proteus Design Suite 8.9.

2. – Se abre la ventana de **Schematic Capture** en menú principal, como se ve en la figura 5.2.2.

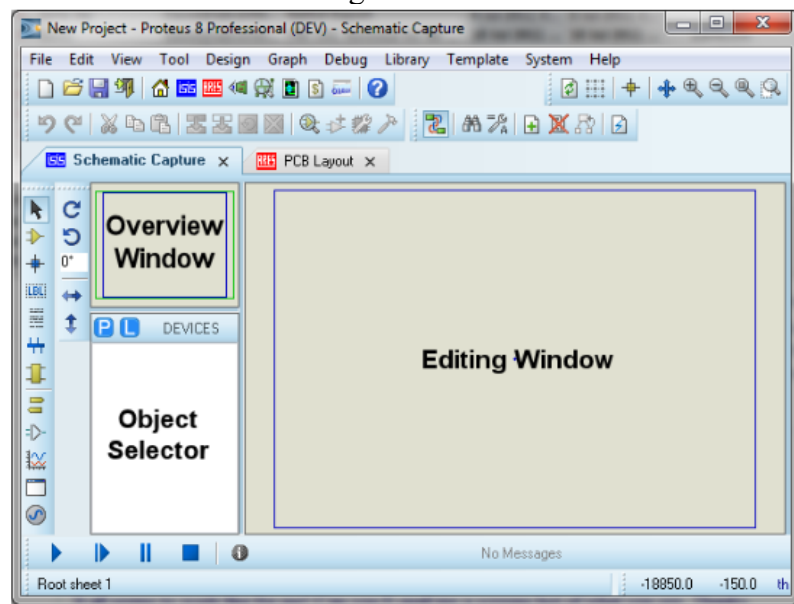


Figura 5.2.2. Schematic capture.

5. – Se Selecciona el PCB layout y dibujamos el cuadrado con medidas en mm, y con el scroll se controla el tamaño del cuadrado. Como se ve en la figura 5.2.5.

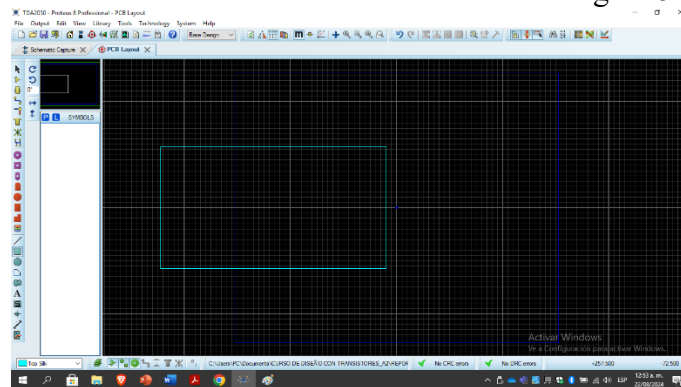


Figura 5.2.5. PCB Layout.

6. - Se selecciona en Tools (Herramientas), auto placer para que la lista de componentes se tome en cuenta en el cuadrado seleccionado y se dibuja el circuito propuesto. Como se ve en la figura 5.2.6.

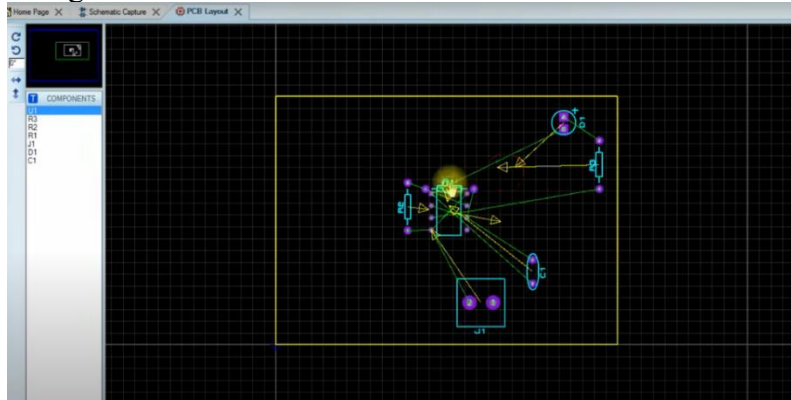


Figura 5.2.6. Ambos lados del circuito.

7. - Aparece la cara de componentes con la cara de pistas, y mediante clic derecho se selecciona draw object se mueven los componentes al gusto del diseñador. Como se ve en la figura 5.2.7.

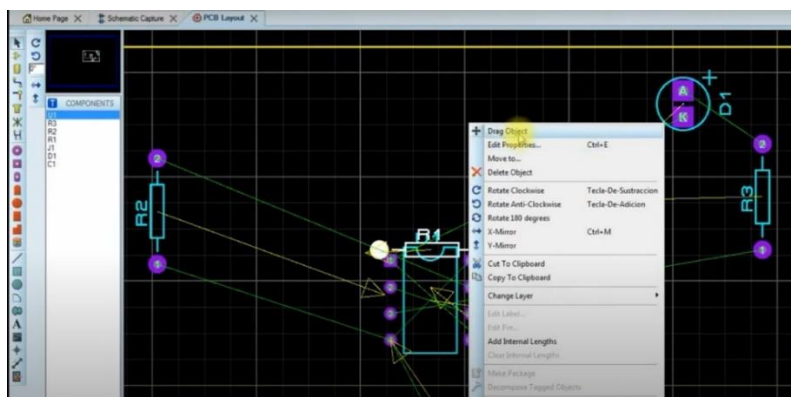


Figura 5.2.7. Draw object.

8. - Con los comandos y herramientas se pueden ajustar las pistas de acuerdo con el manual de proteus al gusto o en forma automática, aunque este modo lo hace un poco duro. Como se ve en la figura 5.2.8.

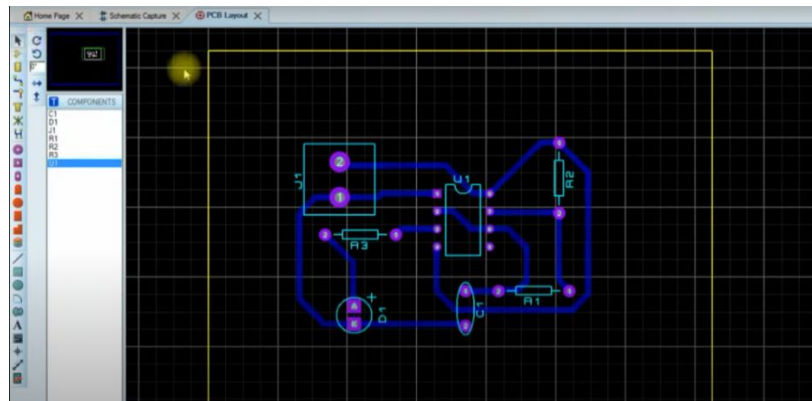
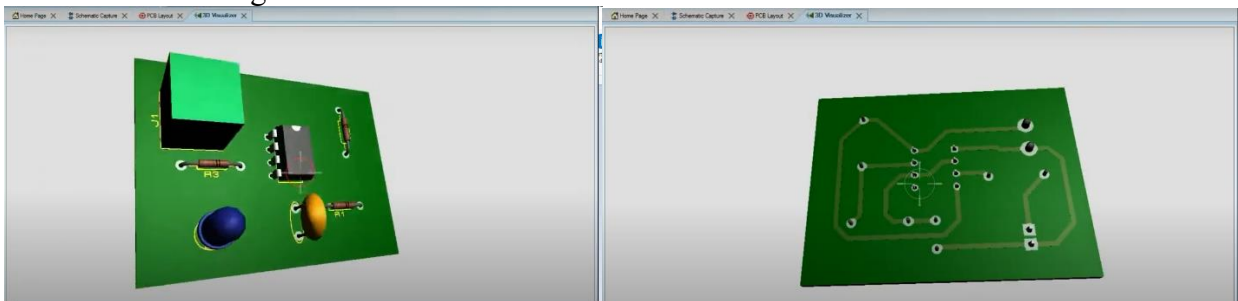


Figura 5.2.8. Ajuste de pistas.

9. - Para observar cómo va a quedar el PCB se elige el comando 3D visualizar. Como se ve en la figura 5.2.9.



Figuras 5.2.9. 3D Visualizar en ambas caras.

10. - Se ajustan las medidas con el comando gerber viewer la función dimension mode. como se ve en la figura 5.2,10.

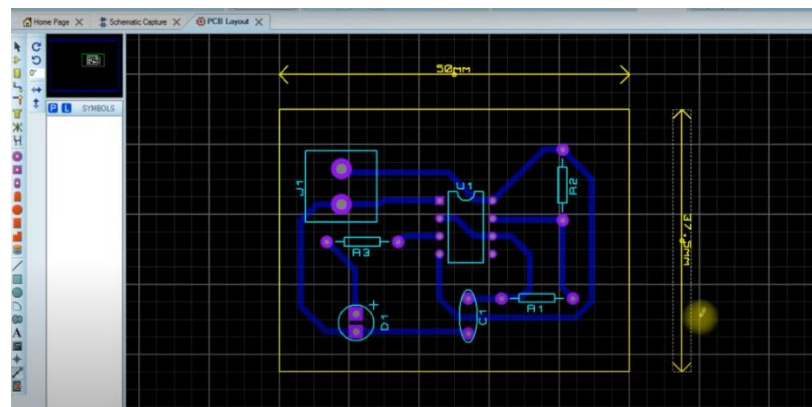


Figura 5.2.10. Dimension mode.

11. - Con **Print layout** se procede a obtener el PCB ya terminado, ajustando valores y tamaño del PCB, el archivo de salida está en .pdf y se puede imprimir en una hoja bond o en acetato para planchado. Como se ve en la figura 5.2.11.



Figura 5.2.11 Print layout.

12. - Es necesario estudiar y practicar según el manual de usuario de proteus o del software seleccionado por el diseñador.

5.3. Técnicas básicas para la construcción de circuitos impresos.

Las técnicas de construcción de circuitos impresos se basan en las técnicas de transferencia de mascarilla a una baquelita y van desde métodos caseros, serigrafía, hasta llegar al maquinado y diseño CAD, y estas son las siguientes:

Las técnicas de construcción de los circuitos impresos son:

- **Acción o abrasión químicas con cloruro férrico**
- **Impresión serigráfica.**
- **Fotograbado**
- **Impresión de material termosensible.**
- **Fresado mecánico**

a). **La Acción o abrasión química.** - Esta técnica de fabricación de circuitos impresos debe de reunir ciertos pasos para hacer un trabajo de calidad.

Lista de materiales: 1/4 de cloruro férrico, recipiente de pastico del tamaño de la baquelita, un lápiz y goma, una perforadora de brocas milimétricas o dremel, unas pinzas plásticas, un plumón indeleble permanente o hoja de símbolos autoadhesivos para las islas o terminales o pads, un paquete de algodón, solventes como thinner, alcohol industrial o alcohol isopropílico Hw-40 y un desengrasante industrial, 1 punzón o un clavo y martillo, una hoja cuadriculada, cinta adhesiva, flux para desoldar y flux para soldar, soldadura.

Pasos del método tradicional:

- Construir un circuito prototipo de un circuito electrónico y dibujar su simbología estándar americana o europea de los elementos pasivos activos.
- Dibujar el circuito con las pistas de cobre y ubicación de los componentes electrónicos en un circuito en papel cuadriculado.
- Proyectar los componentes electrónicos en el dibujo del circuito
- Cortar la baquelita al tamaño real del circuito y con un punzón ubicar los agujeros de los elementos donde van a estar los pads, pero no perforar.
- Limpiar la baquelita con thinner o alcohol industrial, verificar que no tenga grasa.
- Limpiar con un desengrasante industrial, HW-40 o un limón casero.
- Lavar con alcohol isopropílico o thinner, o un limpiador industrial, verificando que no tenga grasa la baquelita.
- Dibujar con un plumón indeleble las pistas y pads del circuito, sin tocar el cobre limpio, ya que no se quitará la grasa de un dedo, quedará marcado y se tendrá que repetir el lavado de la baquelita, retocar posibles fracturas en las pistas.
- En este punto se podría planchar el acetato con el negativo del acetato usando un trapo y una plancha, para que el PCB se pase a la baquelita.
- Preparar el cloruro férrico o percloruro al 50/50, 60/40 o 80/20 con agua, primero el agua y después por proporciones para evitar reacciones explosivas con la solución, e introducir la baquelita en la solución y a esperar a que ataque el cobre y se desbaste, siempre hay que rebajarlo según el tiempo de acción.

- “Nunca ataque el cobre con el 100% de cloruro férrico por que se comerá las pistas, hasta las que están protegidas con calcomanía o con plumón indeleble.
- Verificar con unas pinzas plásticas el avance de desbaste del cobre.
- Una vez desbastado el cobre, lavar primero con agua corriente, después con thinner la baquelita y limpiar con una franela limpia.
- Perforar la baquelita en la marca del punzón y estañar las pistas, con flux para soldar superficialmente, probar continuidad de pistas y posibles cortos circuitos.
- Colocar los componentes en la baquelita y soldar los elementos electrónicos
- Probar el circuito. Y poner una capa de yoduro de plata contra la corrosión o barniz
- La evaluación del impacto ecológico, no hay impacto ecológico en el manejo del sobrante de cloruro férrico ya que se debe de vaciar en un recipiente y no en las tuberías, ya que se pueden dañar las tuberías de cualquier metal, existe contaminación si es que no se maneja adecuadamente el desecho del cloruro férrico con el cobre desbastado
- Este proceso se puede ver en las figuras 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3 y 5.3.4.

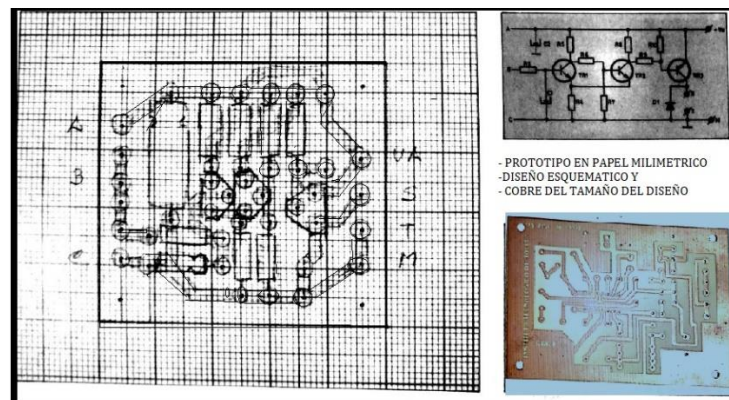


Figura 5.3.1. Circuito a fabricar el PCB.

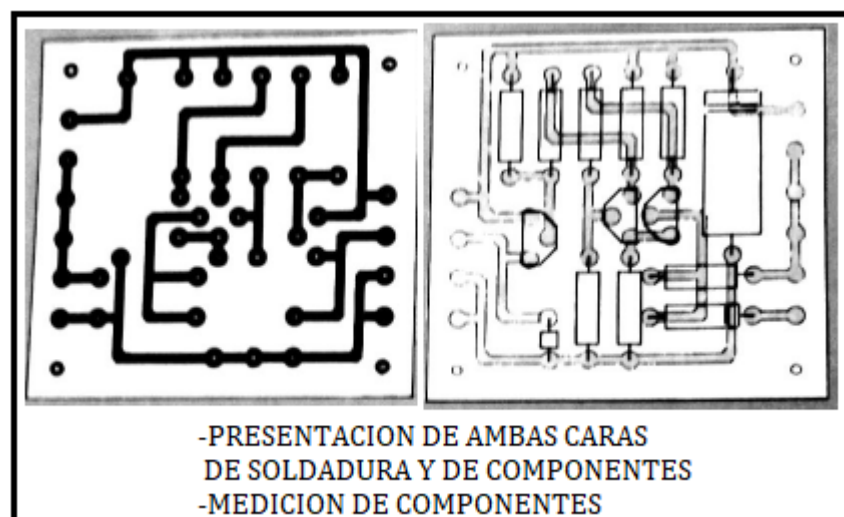


Figura 5.3.2. Cara de componentes y de soldadura.



Figura 5.3.3. Punzonado y ataque con cloruro férrico.

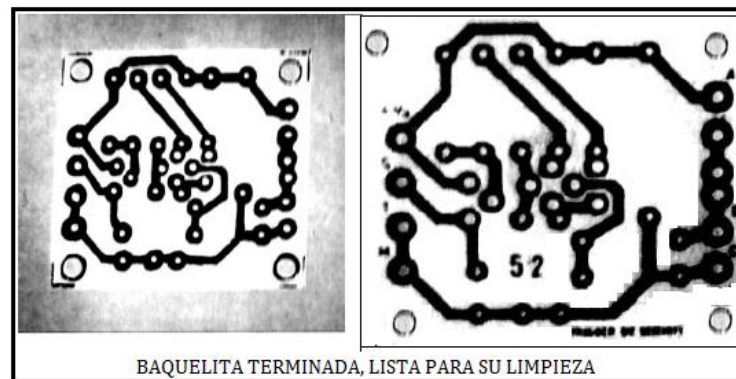


Figura 5.3.4. PCB terminado.

b). Impresión serigráfica. – Este método de diseño de circuitos impresos es uno de los más limpios en cuanto a calidad de la impresión en baquelita, ya que no tienen pistas en corto circuito o pistas fracturadas.

Pasos:

- Obtener el circuito impreso por el método de software e imprimirlo en un acetato fotográfico, obtener el positivo y el negativo del impreso.
- Poner el negativo o positivo encima del cobre según el que sirva para el diseño, cuidar que sea el de la cara de soldadura, debe de estar limpia de grasa y lavado con thinner
- Crear la malla con luz ultravioleta y solvente de negativo, quedando solo las pistas a llenar de pintura serigráfica, ponerlo encima de la baquelita ayudado con un masking tape en un lugar fijo, la malla se ve en la figura 5.3.5.
- Pintar en una malla de serigrafía con pintura serigráfica el circuito a realizar.
- Atacar la baquelita con cloruro férrico al 60/40 % con agua, y espera a que se desgaste el cobre. Verificar con unas pinzas plásticas el avance de desbaste del cobre.
- Una vez desbastado el cobre, lavar con thinner la baquelita y limpiar con una franela limpia.
- Perforar la baquelita en la marca del punzón y estañar las pistas, con flux para soldar superficialmente,
- Colocar los componentes en la baquelita u soldar los elementos electrónicos
- Probar el circuito.

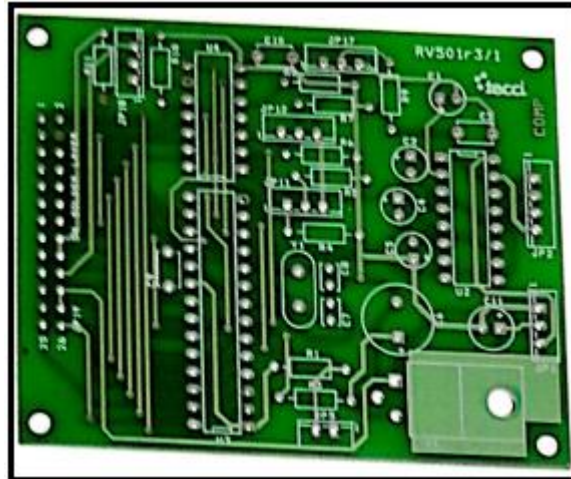


Figura 5.3.5. Método de serigrafía.

c). Fotograbado, - Es una técnica de fotometría y grabado químico para eliminar la capa de cobre de la baquelita o fibra de vidrio, usualmente su preparación se basa en foto plóter, a partir de un programa de diseño de circuitos impresos con software de la maquina a procesar transparencias impresas en una impresora láser, cada maquina utiliza sus propias foto-herramientas a una resolución determinada por el diseñador de PCB's.

d). Impresión en Material Termosensible. – Se utilizan las propiedades de cada placa de cobre para que puedan ser transferidas la impresión termo sensible, ya que se utiliza material fotográfico (glossy) para marcar el diseño PCB en el mismo diseño, también se utilizan papel con cera o auto adhesivos.

e). Fresado Mecánico o CNC. – En este método se utiliza una maquina CNC o una fresa mecánica de 2 o 3 ejes para desbastar el cobre de la baquelita, funciona parecido a un plóter, la devastación funciona por medio de comandos y datos que controlan la maquina por medio de un programa o un diseño y se almacenan en un formato de archivo **HPGL o Gerber** que controla desde el cabezal de la fresa en los 3 ejes x, y y z, hay que tener el cuidado de la programación de las herramientas cuando la maquina se programa con error.

Una máquina de las más utilizada es la PROTOMAT S43 con el SOFTWARE CircuitPro con las siguientes características:

- Se toma los datos del diseño generados por el KidCad o un software compatible.
- Se calibra el ambiente de desbastado para su operación, por lo que es necesario leer el manual.
- El software produce máscaras de impresión con software CircuitPro.
- Los Formatos de importación con los que trabaja el software son: Gerber estándar RS-274-D, Gerber extendido RS-274-X, Excellon NC de siembra versión 1 y 2, Auto CAD-DXF, ODB R ++, Taladro sieb y Meier NC, HP-GL y DPF.
- Formatos de exportación LMD.

- Consultar la guía para la fabricación de placas PCB, PROTOMAT S43, versión 2.1 [24] [25][27][28] [29].

f). Técnicas de montaje y soldadura en la elaboración de circuitos impresos.

Las técnicas de montaje para el **montaje de circuitos impresos y dispositivos electrónicos rígidos** están orientadas a lograr un ajuste perfecto en el ensamblaje y perfecto funcionamiento del circuito impreso. Es solo informarse y conocer las **técnicas de inserción y manipulación, de estos dispositivos y aprender las técnicas de soldadura de circuitos electrónicos**.

Saber fabricar las **placas de circuito impreso si están bien diseñadas y se componen de** pistas de material conductor como es el cobre sobre una baquelita no conductora, de resinas de fibra de vidrio reforzada, cerámica o plástico y de cartón comprimido reforzado deben estar preparadas con un control de calidad elevado para ser usadas en estas máquinas, los tipos de tecnologías para realizar el montaje y soldadura de estos circuitos electrónicos en los PCB son THT y SMD.

- La tecnología de huecos que pasan de un extremo a otro, conocida como **THT** o *Through-Hole Technology*, es una tecnología que utiliza hacer huecos en las placas fenólicas de los circuitos impresos para realizar el montaje de los dispositivos electrónicos, a través de máquinas ensambladoras.
- La tecnología de montaje superficial de dispositivos electrónicos de tipo **SMD** o *Surface Mounting Device*, es un tipo de tecnología que suelda el componente en la superficie de las placas de baquelita a través de los *pads*, ayudados de máquinas de montaje automático, donde se van montando los dispositivos en ella.
- Estas tecnologías de inserción de componentes implican conocer los conocimientos avanzados de dicha tecnología, por lo que se recomienda contactar al sector industrial de estas tecnologías.
- La tecnología Pick & Place. - Esta tecnología se basa en **integraciones robóticas de alta precisión** que permite al sector industrial de montar líneas de producción eficientes y confiables en la inserción de estos dispositivos.
- **Circuitos o electrónica flexibles**, conocida como **printed electronics**. Esta tecnología se basa en la inserción de componentes electrónicos en sustratos de materiales flexibles, como es **la poliamida, PEEK, conocidas como películas conductoras** de poliéster transparente, Son fabricados con componentes idénticos a los que se utilizan para los circuitos rígidos en placas PCB de circuitos impresos, permitiendo que el PCB se ajuste a la forma diseñada o flexione durante su uso. Se puede colocar **en superficies curvas**, y así de este modo crear PCB's con dispositivos que se pueden doblar de forma continua y se puedan enrollar estos diseños con uso ilimitado.

g). Técnicas de extracción y de soldado de componentes en circuitos impresos.

Una de la técnica más utilizada por investigadores, docentes, estudiantes, técnicos, estudiantes y aficionados en el uso de una herramienta básica en donde todo taller de electrónica es “el soldador de componentes electrónicos” también llamado **CAUTIN**, su función es fundir la

soldadura y fijar los componentes entre la placa PCB y es el componente eléctrico perfecto para asegurar su perfecto contacto eléctrico.

Los fabrican de tipo lápiz de varios watts, los más comunes son de 40, 60, 80, 100, 200 Watts, de uso normal, de punta mediana o punta fina, de calidad alta o mediana, la figura 5.3. Se puede ver el cautín de estación, de lápiz y algunos tipos de puntas para soldar, como en la figura 5.3.6.

El complemento del soldador es la soldadura fabricada en aleación estaño 60%- plomo 40% con alma de resina que actúa como decapante preparando la superficie a una buena soldadura y esta fluya correctamente a fundirse, llenado todos los huecos posibles y no más de 1 mm. de diámetro, el estaño debe tener un color plateado brillante, si tiene color mate, puede ser de mala calidad, debe ser estaño de alta calidad que a la larga se ve el resultado, haciendo que se solidifique perfectamente a las superficies de cobre.

Si al soldar el color de la soldadura es opaco y sin brillo, con exceso de estaño, **la soldadura no es correcta**. Y se le llama “**soldaduras frías**”, el componente parece fijo, pero no asegura el contacto eléctrico y será fuente de problemas y generará errores de funcionamiento, en la figura 5.3.7 se ve una soldadura bien hecha.



Figura 5.3.6. Tipos de puntas de cautín de estación, cautín tipo lápiz.



Figura 5.3.7 Técnica de soldadura perfecto.

El proceso de soldado se compone de 3 procesos los cuales son:

- Proceso de calentamiento. - hay que dejar que el cautín alcance el máximo elegido y verificar con una prueba en la placa PCB, de lo contrario hay que ajustar la temperatura, la ideal son 100 Watts.

- Proceso de estañado. – Es buena práctica estañar las partes a soldar para que cuando se unan las puntas a soldar el soldado sea instantáneo y no se dañaran los componentes.
- Proceso de protección. – En esta etapa para cubrir la oxidación y el maltrato de la buena soldadura, se le aplica un toque de temperatura moldeando el estaño y en las pistas aplicar laca o estañar las pistas con flux para soldar, como se muestra en la figura 5.3.8.
- Esta unidad es muy extensa y necesita el estudio de bastante información, bastante práctica, por lo que se recomienda utilizar el software adecuado para no extenderse en el proceso de fabricación de PCB's. [24] [25][26][27] [29].

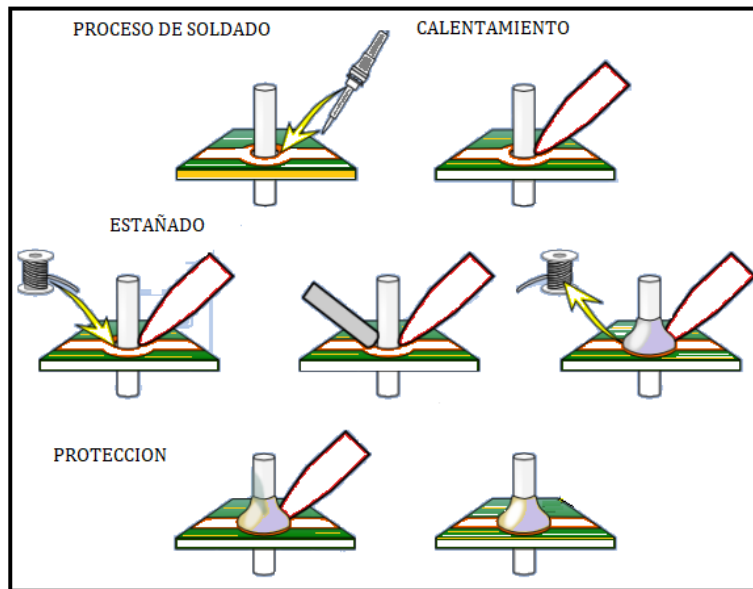


Figura 5.3.8. Proceso de un buen soldado.

Actividad por equipos: Realizar una investigación documental individual o por equipos sobre los tipos de softwares de diseño de PCB's y técnicas de fabricación de circuitos impresos en Word o en Power Point.

MEDICIONES ELECTRICAS /167200/ETD-1021

PROFESOR: _____

Nombre y Numero de la Practica	PRACTICA # 5 DISEÑO Y ELABORACION DE TARJETAS DE CIRCUITOS IMPRESOS.
Objetivo de la práctica.	El alumno será capaz de: a) - Diseñar y construir un circuito impreso por el método: • Manual, serigráfico o de CNC de un circuito electrónico de aplicación, resaltando lo siguiente: • Normas, estándares, metodología de construcción de PCB's. • Software seleccionado, técnicas, Montaje, soldadura, extracción, y soldado y desoldado.
Introducción	• Aplicar una metodología en el diseño de tarjetas de circuitos impresos, manejando software educativo. • Propiciar el uso de las nuevas tecnologías en el desarrollo de los prototipos • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Emplear una plataforma computacional para diseñar y simular circuitos
Descripción	➤ Buscar y seleccionar las normas y estándares en la elaboración de circuitos impresos. ➤ Aplicar una metodología en el diseño de tarjetas de circuitos impresos. ➤ Identificar las opciones existentes en el software seleccionado: menús, ventanas, comandos, herramientas y librerías. ➤ Investigar las técnicas de transferencia de mascarilla. ➤ Evaluar su impacto ecológico de cada una de ellas. ➤ Aplicar las técnicas de montaje y soldadura en la elaboración de circuitos impresos. ➤ Aplicar técnicas de extracción y de soldado de componentes en circuitos impresos.
Tiempo estimado	• El necesario para la construcción de un prototipo de circuito electrónico
Observaciones	viii. Tomar nota de los temas, seguimiento y desarrollo de baquelitas. ix. Tomar nota de cada paso a realizar x. Elaborar una serie de preguntas significativas de cada paso e integrarlo aun cuestionario integral:
Reporte.	- a). – Caratula - b). - Objetivos - c). - Desarrollo - d). - Diagramas eléctricos - e). - Observaciones y conclusiones.
Lista de Materiales	Baquelita de cobre del tamaño del circuito planeado, plumón indeleble, pinzas de plástico, guantes, thinner, lija fina negra, cloruro férrico, soldadura, cautín de 100 watts mínimo, componentes del circuito planeado.

Bibliografía:

- [1]. – Física para la Ciencia y Tecnología, Paul Tipler y Gene Mosca. Vol 1 6ª edición, Editorial Reverte.
- [2]. – Stanley Wolf. “Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio”, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 07632. 1992.
- [3]. – William D. Cooper, Albert D. Helfrick. “Instrumentación electrónica Moderna y técnicas de medición”. Editorial Prentice Hall. 1991.
- [4]. – Medicion y control de procesos industriales. Gustavo Villalobos Ordaz, Raúl Rico Romero, Fernando Elí Ortiz Hernández, y Marcela Adriana Montufar Editorial: Instituto Politécnico Nacional, México 2006.
- [5]. - Jack, H. W. (2010). *Análisis de circuitos en ingeniería*. Ed. McGraw Hill, 7a. edición.
- [6]. – Manual Multilayer ceramic Capacitor Databook 1998, Siemens Matsushita componets.
- [7]. – Manual de Usuario de Equipos de medición, amperímetro, Wattmetro, entre otros.
- [8]. - <https://www.fluke.com/es-mx/informacion/blog/oscilloscopios/aspectos-basicos-sobre-los-oscilloscopios-portatiles-parte-4-captura-y-analisis-de-las-formas>
- [9]. Página de fluke: <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r144r/w239w/img/muldig.pdf>
- [10]. <https://mielelectronicafacil.com/instrumentacion/como-funciona-un-osciloscopio/#page-content>
- [11]. <https://ingenieriaelectronica.org/sondas-o-puntas-de-prueba-mediciones-electricas/>
- [12]. <https://www.negocioscontralaobsolescencia.com/taller/electronica-para-dummies-todo-sobre-las-resistencias-de-la-teoria-a-la-practica-1-era-parte>.
- [13]. https://es.wikipedia.org/wiki/Punta_de_prueba
- [14]. Electrónica: Teoría de Circuitos y dispositivos electrónicos, Robert L. Boylestad y Louis Nashelsky, editorial Person. Décima edición 2009.
- [15]. <https://oscilloscopios.es/notas-tecnicas/diferencias-sondas-activas-y-diferenciales/>
- [16]. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/9971/DOCUMENTO%20%20%20RESISTENCIAS.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [17]. - Manual de manejo del Analizador Lógico LA-2124 A.
- [18]. - https://es.wikipedia.org/wiki/Analizador_de_espectro
- [19]. - <https://faro.es/es/blog/lux-y-lumen/>
- [20]. - https://www.google.com.mx/search?q=equipos especiales+de+medicion&sca_esv=2467193693721a31&ei=Za7MZoL1H6vckPIP88XMuQE&ved=0ahUKEwjCu9KAi5OIAxUrLkQIHfMiMxcQ4dUDCA8&uact=5&oq=equipos especiales+de+medicion&gs_l=Egxn3Mtd2l6LXNlcnAiHmVzcXVpcG9zZXNwZWNPYWxlcYBkZSBtZWRpY2lvbjIHEAAygAQYDTIIEAAygAQYogQyCBAAGIAEGKIEMggQABiABBiiBEjHPIAAWO05cAB4AJABAjgBi gKgAaoeqgEGMi4yNy4xuAEDyAEA-AEBmAleoAKpIsICBRAuGIAEwgIKEAAygAQYQxiKBcICDhAuGIAEGLEDGNEDG McBwgILEAAygAQYsQMYgwHCaggQABiABBixA8ICBRAAGIAEwgIUEC4YgAQYI wUY3AQY3gQY4ATYAQHCAgoQLhiABBhDGloFwgINEAAygAQYsQMYQxiKBcICC BAuGIAEGLEDwgIKEAAygAQYsQMYCsICDRAuGIAEGLEDGNQCGArCAGcQABiA BBgKwgIKEC4YgAQYsQMYCsICBxAuGIAEGArCAGcQLhiABBgNwgINEC4YgAQYx wEYDRivAcICBhAAGA0YHsICCBAAAGA0YHhgPwgIIEAAyBRgNGB7CaggQABgIG A0YHsICHBAAuGIAEGMcBGA0YrwEYlwUY3AQY3gQY4ATYAQGYAwC6BgYIARAB GBSSBwYwLj14LjKgB7j1AQ&scient=gws-wiz-serp

- [21].- <https://www.ing.unp.edu.ar/electronica/asignaturas/ee016/tutoriales/trazador/trazador.htm#:~:text=El%20trazador%20de%20curvas%20es,%2C%20transistores%2C...>
- [22]. - <https://www.dagatron.es/60-medidores-de-campo-magnetico#:~:text=Los%20medidores%20de%20campo%20magn%C3%A9tico,los%20tesla%20o%20los%20gauss>.
- [23]. - [https://es.metoree.com/categories/fft-analyzer/#:~:text=Los%20analizadores%20por%20transformada%20r%C3%A1pida%20de%20Fourier%20\(FFT\)%20pueden%20utilizarse,las%20se%C3%B1ales%20de%20baja%20frecuencia](https://es.metoree.com/categories/fft-analyzer/#:~:text=Los%20analizadores%20por%20transformada%20r%C3%A1pida%20de%20Fourier%20(FFT)%20pueden%20utilizarse,las%20se%C3%B1ales%20de%20baja%20frecuencia).
- [24].- https://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_impreso
- [25]. - <https://electrolomas.com/montaje-de-circuitos-electronicos/>
- [26]. - <https://tallerelectronica.com/2014/11/02/tecnicas-y-trucos-para-la-soldar-y-desoldar-componentes-electronicos/>
- [27]. - Electrónica para estudiantes, “Elaboración de circuitos impresos y técnicas de soldadura”. autor, Ing. Oscar Montoya Figueroa, editorial Comunicación digital, 1997.
- [28]. - <https://www.cirentec.com.mx/manuales> (Protomat, CircuitPro 2.1.)
- [29]. - <https://www.lpkf.com/en/industries-technologies/research-in-house-pcb-prototyping/products/lpkf-protomat>.
- [30]. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/sanchez_m_b/capitulo1.pdf
- [31]. <https://www.inventable.eu/2015/06/04/como-se-leen-los-colores-de-las-resistencias/>
- [32]. <https://www.cedesa.com.mx/tektronix/analizadores/logicos/TLA6401/>
- [33]. https://www.rigolna.com/?srsltid=AfmBOoq6j2Npbkw3yya6sqFitznHjwrOIU_hS-b1c9Zj157sHbo6RVGF
- [34]. https://www.ni.com/es/support/downloads/software-products/download.labview.html?srsltid=AfmBOor1e78S_heBqBMD6audyZhkBKHi7FoVJlCrLL96JN2STW_QQsgW#559067

Autor: Ing. Gabriel López Reyes
glopezr@toluca.tecnm.mx
gabomicros@gmail.com