

65
71



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE EQUIPO
PARA PRUEBAS DE CIRCUITOS DE
CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE
ALTERNA**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO-ELECTRICISTA**

P R E S E N T A N

JOSE FRIAS FLORES

JOSE ANTONIO MORALES RODRIGUEZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. JESUS GARCIA LIRA

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.
MEXICO 1997**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



ANIVERSARIO NACIONAL
 A LA ESCUELA DE
 MÉDICO.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
 P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Diseño y construcción de equipo para pruebas de circuitos de corriente
 continua y corriente alterna"

que presenta el pasante: José Frías Flores
 con número de cuenta: 8525022-0 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 24 de Abril de 1997

PRESIDENTE	<u>Ing. José Juan Contreras Espinosa</u>	
VOCAL	<u>Ing. José Luis Buenrostro Rodríguez</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Jesús García Lira</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Jaime Rodríguez Martínez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Guillermo Santos Olmos</u>	



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:
"Diseño y construcción de equipo para pruebas de circuitos de corriente
continua y corriente alterna".

que presenta el pasante: José Antonio Morales Rodríguez
con número de cuentas: 8228001-7 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex.. a 24 de abril de 1997

PRESIDENTE Ing. José Juan Contreras Espinosa
VOCAL Ing. José Luis Buenrostro Rodríguez
SECRETARIO Ing. Jesús García Lira
PRIMER SUPLENTE Ing. Jaime Rodríguez Martínez
SEGUNDO SUPLENTE Ing. Guillermo Santos Olmos

+

LA RECOMPENSA NO ESTA EN EL
RESULTADO, SINO EN EL ESFUERZO
REALIZADO BAJO LA MIRADA DE DIOS.

AGRADECIMIENTOS

Por sus comentarios para la realización de este trabajo

*Ing. Jesús García Lara
Ing. José Juan Contreras Espinoza
Ing. José Luis Buenavista Rodríguez
Ing. Jaime Rodríguez Martínez
Ing. Guillermo Santos Olmos
Ing. Ramón Osorio Saldaña*

AGRADECIMIENTO

A TI MADRE, POR HACERME DADO LA VIDA
Y POR EL GRAN CARIÑO QUE DÍA A DÍA TU ME DAS.
TE AGRADEZCO LA COMPRENSION, LA CONFIANZA,
Y EL APOYO QUE ME BRINDASTE DURANTE
TODO ESTE TIEMPO..

A TI PADRE, TE DEDICO ESTE TRABAJO
CON RESPECTO Y ADMIRACION,
TU QUE ME INCULCASTE, PRINCIPIOS, SEGURIDAD EN
MI MISMO Y EL CORAJE Y LA CONFIANZA PARA
LLEGAR A ESTA PRIMERA META TAN ANHELADA POR TI.

A LOS DOS ¡GRACIAS! PORQUE ME MOTIVARON
Y CREYERON EN MI.

A MIS HERMANOS ADOLFO,
VICTOR, MANUEL, JESUS
FRANCISCO RAFAEL, MONICA
MARIO Y MIGUEL ANGEL
POR HABER COMPAÑADO EN
AQUELLOS MOMENTOS DIFÍCILES
EN LOS QUE NECESITE DE SU
APOYO ¡GRACIAS!

A MIS SOBRINOS JONATHAN, ITZEL GUADALUPE
ADOLFO, FLORE, VICTOR, LUIS DANIEL, ANDRÉS,
MONICA J.

¡ GRACIAS !

**A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE NOS
BRINDARON SU APOYO SIN ALGÚN INTERÉS.
ING. JOSE CASTILLO, Sr MIGUEL, SERGIO, ANGEL,
ANTONIO, N OEMI Y MARUGENTA, PABLO.**

¡ GRACIAS !

**A LOS COMPAÑEROS DE GENERACION
POR AQUELLOS GRATOS MOMENTOS QUE
COMPARTIMOS.
ARMANDO, RICARDO, GUILLERMO (M. C.)
MARTO, ALFREDO, RAÚL PRUDENCIO, SIN
OLVIDAR A AQUELLOS QUE POR UNA U
OTRA RAZON NO HAN PODIDO
TERMINAR.**

GRACIAS a mis abuelos.

*FRANCISCA ZAVALA
EUFEMIA ARELLANO
ANASTACIO MORALES
JESUS RODRIGUEZ*

Por haberme dado bastante alegría ternura y consejos, por hacer que mi infancia estuviera llena de creatividad e ilusiones. Aún los recuerdo con amor y nostalgia, de está manera les brindo un tributo a sus personas.

RECONOCIMIENTO Y GRACIAS a mis padres.

*JUANA LETICIA RODRIGUEZ ZAVALA
JOSE ANTONIO MORALES ARELLANO*

Por apoyarme, comprenderme, darme confianza, respetarme y hacerme entender que en la vida todo se puede lograr con fe y voluntad.

MA'DRE te estoy enteramente agradecido ya que tus palabras, "el querer es poder", me han alentado.

PA'DRE siempre he tenido en ti la cordura, la paciencia, el análisis y la energía para afrontar está vida.

A MIS HERMANOS.

Fausto, Gustavo, Elizabeth, Jesús, Javier.

A ustedes que fueron mis fieles cómplices en esas travesuras de la muy añorada infancia, y en el presente por seguir unidos ante todo.

A sus parejas (niñas feas).

Rocío, Juana, Javier, Bertha, Martha.

Por "soportarles" y ser el complemento en sus vidas.

A mis sobrinos (los terroríficos).

Rocío, Cristian, Gustavo, Diana, David, Lorena, Alejandro, Mariol, Jesús, Fernanda.

Ellos que con su comportamiento tan original y particular, nos dan alegría y redondean el marco familiar.

Agradecimientos.

A todos mis profesores.

En mi vida afortunadamente he contado con muy buenos maestros, quienes me han sabido orientar no solamente en lo educativo si no también en lo personal, los recuerdo a cada uno con afecto y respeto. Omiso nombres para no faltar a alguno que se me pasara.

A mis amistades.

En el curso de mi existencia he tenido bastantes amistades que aprecio y en ocasiones he admirado, por su forma de conducirse en la vida, que sin querer me han ilustrado, también a habido personas especiales como: Angel, María Susana, Lidia, Alfonso, Alejandro, Guadalupe, Domingo, Rosalía, Valentín, Cornelio, Alberto (el pariente), Claudio, Octavio, Ana, Enrique, José (tortuga), Aurelio, Leticia, Gabriel, Martha Cristina, Rafael.

Gracias al creador.

INDICE

	PAGINA
PROLOGO	1
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	2
I.1 CONCEPTOS BASICOS	3
CAPITULO II CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA	8
II.1 CIRCUITO ELECTRICO Y LEY DE OHM	9
II.2 RESISTENCIAS EN SERIE Y PARALELO	19
II.3 AMPERIMETROS Y VOLTIMETROS	28
II.4 MEDICION DE RESISTENCIAS	39
II.5 LEYES DE KIRCHHOFF Y TEOREMA DE REDES	48
II.6 FUENTE DE TENSION Y MAXIMA TRANSFERENCIA DE POTENCIA	64
II.7 CAPACITORES	75
II.8 ELECTROMAGNETISMO	86

CAPITULO III	CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA	98
III.1	OSCILOSCOPIO	99
III.2	REACTANCIA	111
III.3	CIRCUITO RESONANTE	122
III.4	TRANSFORMADORES	139
III.5	ATENUADORES	148
III.6	FILTROS	159
III.7	IMPEDANCIA	171
III.8	CIRCUITO ACOPLADO	185
CONCLUSIONES		206
BIBLIOGRAFIA		207

PROLOGO

La finalidad que se pretende al presentar este trabajo de apoyo didáctico. Es el de ofrecer a los alumnos la comprensión tanto teórica y experimentalmente al estudio de los Circuitos Eléctricos.

Esta información no debe ser considerada como una manera limitativa, ya que se desea, que el alumno tome la iniciativa y sea un tanto autocrítico para poder realizar prácticas y toma de decisiones, y así, consultar y disponer de la bibliografía necesaria, que le permitan la realización de nuevas practicas y así lograr una adecuada labor de enseñanza aprendizaje.

INTRODUCCION

La carencia de material práctico-didáctico en algunos planteles de enseñanza, es una de las causas por las que el alumno se ve poco motivado para la comprensión en los problemas en que deben dar una solución directa y que además le sean funcionales para su aprendizaje óptimo. Con esto el alumno al no tener el enfoque físico de los diversos cuestionamientos relacionados para su formación profesional, además no hay que olvidar que el estudiante viene arrastrando una infinidad de malos hábitos de estudio.

En lo particular, ésta es una de las razones por la que se decidió tomar este proyecto de tesis, que corresponde a la fabricación de módulos en donde se diseñaron una serie de circuitos eléctricos, para la elaboración de practicas en el área de física, con referencia a la materia de electricidad y magnetismo y principios de electrónica básica, tomando en cuenta el desarrollo en los laboratorios de dichas materias.

Las practicas cuentan con una breve introducción teórica, una serie de ejemplos, y ejercicios que se deben de resolver en el laboratorio, además, una área de tablas donde se deben de colocar los resultados de los mismos, y que el alumno debe de verificar matemáticamente antes y después del desarrollo practico, por ultimo, se propone una serie de preguntas para la complementación de cada una de las prácticas.

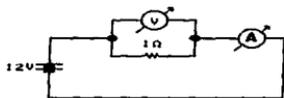
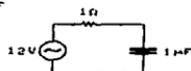
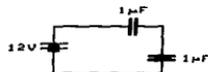
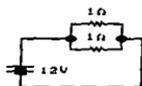
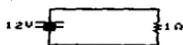
Los circuitos contenidos en las practicas están apoyados por una gran variedad de instrumentos y material eléctrico-electrónico, permitiendo la atención del alumno en el proceso de medición dándole un enfoque más cuantitativo y analista. Ya que el alumno se apoyará en éstos instrumentos, para el análisis de los circuitos propuestos y el ensayo de las características de los componentes y dispositivos que servirán para determinar la validez de las teorías científicas. Por lo que resulta casi indispensable que el alumno tenga conocimiento en el manejo de los instrumentos de prueba. Ya que algunos de los instrumentos son muy delicados.

También se utilizara el software con el paquete Workbench que nos ilustra respecto a los circuitos eléctricos-electrónicos, para manejar cantidades numéricas que servirán en la verificación de los resultados físicos.

Esperando que con este medio el alumno tenga los conceptos necesarios al momento de realizar estas practicas y que le sean de gran utilidad para su desarrollo profesional.

CAPITULO I

CONCEPTOS BASICOS



CONCEPTOS BASICOS

Todos los elementos simples que serán considerados en las practicas se pueden clasificar de acuerdo con las relaciones entre la corriente que pasa por el elemento y la tensión a través del mismo.

Un elemento simple de circuitos es el modelo matemático de un dispositivo eléctrico con dos terminales y puede ser completamente descrito por su relación tensión-corriente.

El primer elemento que se requiere es la fuente ideal de tensión, este elemento se caracteriza por tener una tensión entre terminales que es completamente independiente.

Una fuente ideal es aquella que tiene una resistencia de tensión de valor cero, esto quiere decir que el valor de la fuente de voltaje no varía aunque su carga se cambie.

Una fuente de corriente ideal proporciona el valor específico de corriente, sin importar la carga a través de la cual se le conduce.

DIFERENCIA DE POTENCIAL

Puesto que la diferencia de potencial se describe como el trabajo por unidad de carga, la unidad para medirla es el Joule por Coulombs la unidad de Diferencia de Potencial es el volt (V).

CORRIENTE

El movimiento de la carga eléctrica se llama corriente I , su unidad es el Coulomb por segundo. La unidad es el Ampere (A), que equivale a un Coulomb por segundo el símbolo es (A).

$$i = q / t$$

donde

i	es la corriente
q	es la carga que pasa por el punto t .
t	es en segundos.

RESISTENCIA

Es la oposición que presenta el material al flujo de la corriente, está propiedad del material se llama resistencia eléctrica. Su unidad es el OHM

LEY DE OHM

La relación de corriente, voltaje aplicado y resistencia de un conductor se llama ley de ohm y se expresa como.

$$V = I R$$

POTENCIA

Al fluir corriente a través de un resistor aumenta la temperatura de éste, esto significa que se consume energía o potencia. La cantidad de potencia P, se calcula por las definiciones de corriente y voltaje.

$$P = \left(\frac{\text{Energía}}{\text{segundo}} \right) = \frac{\text{Joules}}{\text{Coulomb}} \times \frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}}$$

o.bien

$$P = V \times I$$

La unidad que resulta es el Watt que equivale a un Joule por segundo ó a un Volt-Ampere.

CAPACITANCIA

El capacitor es un elemento que se encuentra comúnmente en los circuitos electrónicos. Posee la propiedad de almacenar carga eléctrica Q, la cantidad de carga es proporcional al voltaje que se encuentra entre las placas del capacitor.

$$Q = C V$$

donde

C es la constante de proporcionalidad, se define como la capacitancia.

V es el voltaje del capacitor

La unidad de la capacitancia es el Farad F que es igual un Coulomb por Volt.

NOMENCLATURA DE LOS CIRCUITOS ELECTRICOS

Cada elemento de un circuito posee dos ó más terminales los cuales sirven para conectarlos a otros elementos, como puntos en los cuales se pueden realizar mediciones.

Un nodo, es el punto o unión donde los terminales de tres o más elementos del circuito se conectan como se muestra en la figura siguiente.



Si el nodo solo junta dos elementos entonces se le conoce como nodo secundario (fig. b) al describir los circuitos.

-Una rama consiste de un solo elemento (fig. a).

-Una bucla es un camino cerrado en el cual la corriente puede fluir.

-Un circuito eléctrico se define como una conexión de elementos los cuales forman al menos una bucla cerrada en la cual la corriente es capaz de fluir.

ONDAS SINUSOIDALES, FRECUENCIA Y FASE.

Los valores instantáneos de las señales eléctricas se pueden graficar a medida que ellos varían con el tiempo. El gráfico de una señal se llama forma de onda, las formas de onda se analizan y miden en muchas aplicaciones eléctricas.

Si el valor de una forma de onda permanece constante con el tiempo, nos referimos a la señal como una señal de corriente directa (c.d).

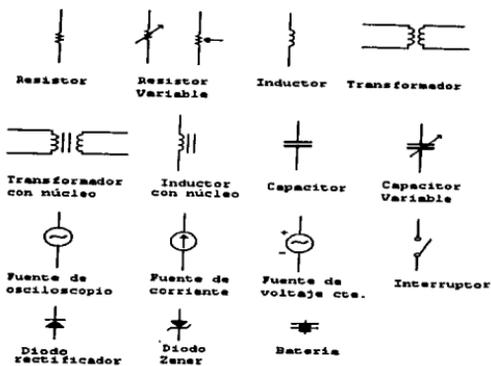
Si una señal es variante con el tiempo y se tienen valores instantáneos positivos y negativos, la forma de onda se conoce como una forma de onda de corriente alterna (c.a).

El sistema internacional de unidades (SI), el cual incluye las unidades usadas para describir cantidades eléctricas, será el sistema de unidades que se usará en las practicas.

La siguiente tabla muestra algunas de las unidades más comúnmente usadas en las mediciones eléctricas.

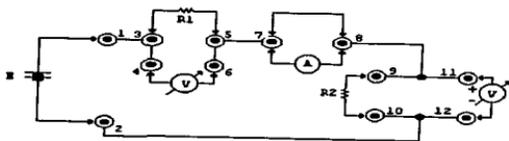
CANTIDAD	SIMBOLO	UNIDAD	ABREVIATURA
Longitud	L	Metro	m
Masa	M	Kilogramo	Kg
Fuerza	F	Newton	N
Tiempo	t	segundo	S
Carga	Q	Coulomb	C
Corriente	I	Amper	A
Voltaje	V	Volt	V
Potencia	P	Watt	W
Energía	W	Joule	J
Resistencia	R	Ohm	Ω
Inductancia	L	Henrios	H
Capacitancia	C	Faradio	F
Frecuencia (cíclica)	f	Hertz	Hz
Frecuencia	w	Rad/Seg	Rad/Seg
Impedancia	Z	Ohm	Ω
Reactancia	X	Ohm	Ω
Flujo magnético	ϕ	Weber	Wb
Densidad de flujo magnetico	B	Weber/metro2 (Tesla)	Wb/m2

SIMBOLOGIA DE COMPONENTES EN CIRCUITOS

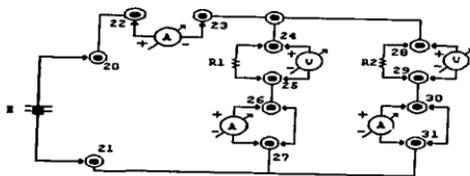


CAPITULO II

CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA



Circuito Serie



Circuito Paralelo

EL CIRCUITO ELECTRICO Y LA LEY DE OHM

OBJETIVOS.

1. El alumno conocerá las propiedades del resistor y el código de colores.
2. El alumno estudiará el uso del multímetro.
3. El alumno comprenderá y aplicará la ley de OHM en circuitos eléctricos.

INTRODUCCION

En los circuitos eléctricos se utiliza en gran parte el resistor, que es uno de los componentes de gran importancia para el estudio en cuestión. La unidad de la resistencia es el Ohm, su símbolo es el (Ω). El resistor es designado con la letra R.

Cuando se utilizan resistores de alta resistencia se abrevia con las literales; Kílohmio ($K \Omega$) y Megohmio ($M\Omega$).

Propiedades básicas de los resistores.

El fabricante de los resistores aplica tres parámetros que son:

- 1.- El valor de la resistencia.
- 2.- La exactitud porcentual.
- 3.- La disipación de potencia.

El valor de la resistencia se indica numéricamente o por un código de colores.

La exactitud porcentual nos indica hasta cuanto puede variar, el valor real de la resistencia con respecto a su valor nominal.

Y la disipación de potencia del resistor nos indica la capacidad del resistor para soportar calor sin dañarse y sin que su valor se altere. La unidad de potencia de disipación es el; Vatio (W).

Identificación de los valores de resistores.

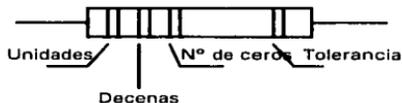
Existen dos formas de identificar los valores de los resistores: imprimiendo el valor numérico o imprimiendo anillos de colores en el cuerpo del resistor de acuerdo a un código de colores ya establecido.

La impresión en el resistor especifica el valor de la resistencia, la exactitud porcentual y la disipación de potencia, esto es común encontrarla en resistores de alambre arrollado, el código de colores se usa en resistores de carbón.

Código de colores

Colores	Banda 1 Número significativo	Banda 2 Número significativo	Banda 3 Multiplicador	Banda 4 Tolerancia
Negro	0	0	10^0	
Café	1	1	10^1	
Rojo	2	2	10^2	
Naranja	3	3	10^3	
Amarillo	4	4	10^4	
Verde	5	5	10^5	
Azul	6	6	10^6	
Violeta	7	7	10^7	
Gris	8	8		
Blanco	9	9		
Dorado			0.1	$\pm 5\%$
Plateado			0.01	$\pm 10\%$

Para un resistor sus parámetros (valor y exactitud) se indica con el código de colores, denotando cuatro anillos además del color del cuerpo del resistor, observar la siguiente figura.

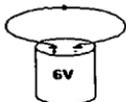


Los tres primeros anillos especifican el valor de la resistencia, el siguiente la exactitud del resistor. Aclarando, el primer anillo indica el primer dígito del valor numérico de la resistencia, el segundo anillo indica el segundo dígito y el tercer anillo indica el número de ceros que se deben agregar a los dos primeros dígitos, en realidad indica la potencia de diez por la cual hay que multiplicar los dos primeros dígitos. Para poder obtener el valor de la resistencia.

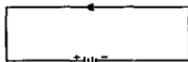
EL CIRCUITO ELECTRICICO

Se considera un alambre o conductor metálico en el cual se establece un campo eléctrico E , figura (a). Este campo eléctrico se puede establecer, por ejemplo, uniendo los extremos del conductor a los polos o terminales de una batería.

Aquí en el alambre existe un gran número de electrones libres, tales electrones quedarán sujetos a la acción de una fuerza eléctrica debida al campo, y puesto que son libres, entraran inmediatamente en movimiento. Como los electrones poseen carga negativa, su desplazamiento tendrá sentido contrario al del campo aplicado figura(b).



a)



b)

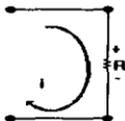
Por lo tanto, al establecer un campo eléctrico en un conductor metálico, produce un flujo de electrones en dicho conductor, fenómeno que denomina corriente eléctrica.

Cuando un campo eléctrico se establece en un conductor cualquiera, las cargas libres ahí presentes entran en movimiento debido a la acción de este campo. Se expresa que este desplazamiento de cargas constituye una corriente eléctrica.

CORRIENTE ELECTRICA CONVENCIONAL

Supongamos una carga negativa que se desplaza con cierta velocidad y esta dirigido, por ejemplo (ver figura). Se aprecia que este movimiento equivale al de una carga positiva, de igual valor, que se desplaza con la misma velocidad pero en sentido contrario. Lo anterior nos permite establecer la convención de las corrientes y los circuitos eléctricos: una carga negativa en movimiento siempre se podrá imaginar como una carga positiva que se mueve en sentido contrario. Debido a está convención, tendremos que sustituir las cargas negativas reales en movimiento, por cargas positivas imaginarias que se mueven en sentido contrario. De modo que se puede suponer que cualquier corriente eléctrica está constituida únicamente por cargas positivas.

Dicha corriente imaginaria, lo cual equivale a la corriente real, se le llama corriente convencional.



La dirección de flujo de corriente.

LEY DE OHM

Para producir una corriente eléctrica en un circuito, se requiere una diferencia de potencial. Una batería constituye una forma para producir una diferencia de potencial. George S. Ohm estableció experimentalmente que la corriente en un alambre metálico es proporcional a la diferencia de potencial V aplicada en sus extremos.

$$I \propto V$$

Este experimento se conoce como la Ley de Ohm. Por ejemplo si conectamos un alambre a una batería de 6v el flujo de corriente sería el doble del que circularía si el alambre se encontrara conectado a una batería de 3v.

La cantidad exacta de corriente que circula en un alambre depende no sólo del voltaje sino también de la resistencia que el alambre presenta al flujo de electrones. Cuanto mayor sea la resistencia, menor será la corriente para un voltaje V determinado. Por tanto, definimos la resistencia de manera que la corriente sea inversamente proporcional a ella. Cuando combinamos esto con la proporcionalidad anterior tenemos

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

Donde R es la resistencia, E es la diferencia de potencial e I es la intensidad de la corriente que circula a través de él. Esta ecuación se describe como:

$$E = I \cdot R$$

Otra manera de expresar la ley de Ohm es:

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

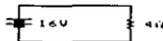
Donde se expresa que "la resistencia R de un circuito eléctrico es la relación entre la tensión y la corriente en dicho circuito".

En realidad, no es una ley, sino más bien la definición de resistencia. Por ley de Ohm entendemos el enunciado que señala que la corriente que circula por un conductor metálico es proporcional al voltaje aplicado, $I \propto V$. Pero esta relación no se aplica en general a otros materiales como los semiconductores, los tubos de vacío, los transistores, etc. En consecuencia, la "ley de Ohm" no es una ley fundamental como las leyes de Newton. En vez de eso, es una descripción desierta clase de materiales (conductores metálicos). Se dice que los materiales o dispositivos que no cumplen con la ley de ohm son no óhmicos.

ANALISIS DE UN CIRCUITO ELECTRICO POR LA LEY DE OHM.

La ley de Ohm es válida cuando en un circuito eléctrico se conocen dos valores particulares de dos de las tres magnitudes relacionadas por la ley, la tercer magnitud debe tener un valor que satisfaga la ecuación matemática que describe la ley de Ohm.

Por ejemplo, la figura siguiente muestra un circuito eléctrico



Circuito eléctrico simple para la demostración de la ley de Ohm.

Calculando la corriente por medio de la ley de Ohm, tendremos:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{16}{4} = 4 \text{ A}$$

Comprobando la ley tenemos.

$$V = I \cdot R = 4 \cdot 4 = 16 \text{ V.}$$

PRACTICA
CIRCUITO ELECTRICO
Y LEY DE OHM

MATERIAL Y EQUIPO

1. Tablero N° 1 y caja de componentes del BASIC 1.
2. Fuente de tensión de C. variable de 0-12V.
3. Dos multimetros.
4. Un amperimetro
5. Conectores necesarios (banana-banana)
6. Resistencias de
1 de 470 Ω a 1/2 W.
1 de 1 K Ω a 1/2 W.
1 de 2.7 K Ω a 1/2 W.
varios valores (para ver el comportamiento)
1 diodo rectificador.

DESARROLLO.

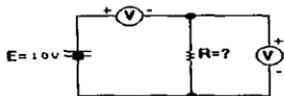
1. Medición de resistencias por medio del código de colores y por medio del multímetro. Anote sus mediciones en la columna indicada

Nota: En la tabla correspondiente se darán resistencias al azar para tomar las mediciones correspondientes.

	Valor por código de colores	Valor medido
R ₁	480 Ω	500 Ω
R ₂	1200 Ω	1250 Ω
R ₃	4.2K Ω	4.275K Ω
R ₄	10 K Ω	9.980 K Ω

Tabla

11. Con los valores medidos de las resistencias y utilizando la ley de Ohm. Calcule la corriente del circuito de la figura siguiente, para cada resistencia considere que se tiene una fuente de tensión de 10V. Anote sus resultados en la columna correspondiente de la tabla siguiente.

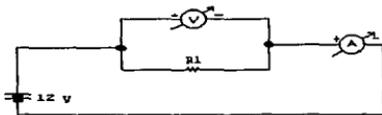


Circuito para calcular la corriente por la ley de Ohm.

	Valor nominal (Ω)	Valor medido (Ω)	Valor calculado (mA)	Valor medido (mA)
R₁	400	472	25	20
R₂	10,000	9950	1	0.90
R₃	2700	2690	3.7	3.4
R₄	2200	2250	4.5	4.3

1. **Medición de la resistencia mediante la medición de la caída de tensión y la corriente.**

- 1.1 Conecte el circuito de la figura (1). Utilizando el circuito número 1 en el tablero del BASIC 1. Se procederá de la manera siguiente.



- a) Cortocircuite los puntos 3 y 4 mediante un cortocircuito de la caja de componentes.

- b) Conecte un amperímetro en el rango de 25 mA entre los puntos 7 y 8 cuidando la polaridad correcta.
- c) Conecte el voltímetro, en el rango de 20V, en paralelo con R_1 puntos 11 y 12.
- d) Conecte la fuente de tensión de c.c de 12V en las terminales del circuito puntos 1 y 2, cuidando la polaridad.

1.2 Conecte un resistor de 470Ω en las terminales de la resistencia R_2 puntos 9 y 10.

1.3 Encienda la fuente de tensión y mida la tensión y la corriente del circuito. Anote los valores en la tabla 1.

1.4 Repita el inciso (1.-) reemplazando el resistor R_2 por los demás resistores (800Ω , $1K \Omega$, $2.7 k\Omega$). anote los resultados en la tabla 1.

Valor nominal de R (Ω)	Valor medido de R (Ω)	Valor real de R_1 .Calculado (Ω)	Corriente (A)	Tensión (V).
470 Ω	400	470	25	10
10000 Ω	10000	9950	1.1	12
2.2 K Ω	2200	2250	4.1	11.75
2.7 K Ω	2700	2690	4.9	12.11

Tabla 1: Medición de resistencias

2. Medición de corriente mediante la medición de la caída de tensión y el valor de la resistencia.

2.1 Utilizando el circuito anterior, calcule la corriente para los valores de voltaje indicado.

2.2 Conecte un resistor de resistencia nominal de (2.7 K Ω).

2.3 Mida la corriente y la tensión en el circuito y anote los resultados en la tabla 2.

2.4 Ajuste la fuente para cada uno de los valores de tensión indicados

Tensión sobre R_2 E (v)	Corriente medida (mA)	Corriente calculada (mA)
3	0.9	1.1
5	1.6	1.8
7	2.3	2.59
9	3.0	3.3
11	3.8	4.07

Tabla 2: Medición de corrientes

3. Medición de tensión mediante la medición de la corriente y la resistencia.

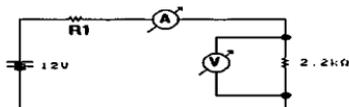
- 3.1 Utilice el circuito N° 1 del BASIC 1.
- 3.2 Conecte un resistor de (1 K Ω o de 2.7 K Ω) en R₂ entre los puntos 9 y 10.
- 3.3 Varie la tensión de la fuente hasta obtener una lectura en el amperímetro de 1A. Mida la tensión y anote el resultado en la tabla 3.
- 3.4 Repita el inciso anterior, sustituyendo la resistencia por las demás en las terminales de R₂. Anote los resultados en la tabla 3.

Valor nominal R ₂ (Ω)	Corriente fijada (mA)	Tensión medida (V)	Tensión calculada (V)
470 Ω	1	0.51	0.47
820 Ω	1	0.91	0.82
1 K Ω	1	1.1	1.0
2.7 K Ω	1	3.19	2.7

Tabla 3: Medición de tensión.

4. Identificación del Estado del circuito eléctrico en base a los resultados de la medición.

- 4.1 Arme el circuito (2). Utilizando el circuito N°1 en el tablero del BASIC 1. Conecte una resistencia R₁ entre los puntos 3 y 4, y un amperímetro entre los puntos 7 y 8, una resistencia R₂ entre los puntos 9 y 10 y un voltímetro en el rango de 20 V entre los puntos 11 y 12. Conecte una fuente de tensión de 15 Vc.c entre los puntos 1 y 2.



Medición de resistencias

- 4.2 Mida la tensión sobre R₂ y anote el resultado en la tabla 4.

4.3 Mida la corriente en el circuito y anote el resultado en la tabla 5.

4.4 Desconecte el resistor R_1 . Repita los incisos 4.2 y 4.3 para los demás resistores.

4.5 Ahora conecte un cortocircuito en R_1 , entre los puntos 9 y 10. Anote la tensión y corriente del circuito en la tabla 4.

Valor nominal de $R_1(\Omega)$	Corriente (mA)	Tensión (V)
R_1 conectada	7	16.94
R_1 desconectada	0	20
R_1 cortocircuitada	42	0

Tabla 4

CUESTIONARIO.

- ¿Los valores de corriente calculados son iguales a los valores medidos?
¿Por que?
- ¿En un circuito, con una resistencia como carga, se puede saber el valor de la corriente conociendo el voltaje de la fuente y el valor de la resistencia? y ¿Como?
- Calcular el valor de las siguientes resistencias.
 - negro, rojo, azul, dorado.
 - café, gris, rojo, dorado.
 - verde, azul, amarillo, plateado
 - blanco, violeta, negro, rojo, dorado.
- Si la caída de tensión en el resistor R es de 12V.
 - Calcule la corriente que circula por el circuito y la tensión de la fuente (ver circuito)
 - ¿Que corriente circularía en el circuito si $E = 25$ V?
 - Calcule la corriente que circula en el circuito cuando $E = 15$ V y $R = 35$ K Ω .

CONCLUSIONES

RESISTENCIAS EN SERIE Y PARALELO

OBJETIVO.

1. El estudiante conocerá las características de un circuito serie a partir de las mediciones de corriente y voltaje aplicando la ley de OHM.
2. El estudiante entenderá las características del circuito paralelo y analizará un circuito serie-paralelo.

INTRODUCCION.

Cuando se conectan dos o más resistores extremos con extremos de manera que pase la misma corriente a través de cada una de ellos, como en la figura 1, se dice que están conectados en serie. Por otra parte, si los resistores se conectan de modo que la corriente de la fuente se derive en dos ramas separadas, como se muestra en la figura 2, se afirma que los resistores están conectados en paralelo;

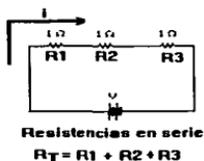


Figura 1



Figura 2

en este caso, existe la misma diferencia de potencial a través de cada uno de ellos. En cualquier caso, queremos calcular la resistencia neta del grupo de resistores. En otras palabras, nos interesa conocer el valor de una sola resistencia R_T que reemplace la combinación de los resistores, sin alterar el resto del circuito. Los resistores podrían ser similares a los que se muestran en la figura 3



Circuitos equivalentes

Figura 3

Consideremos en primer lugar los circuitos en serie figura 1. La misma corriente I pasa a través de cada resistor, si esto no fuera cierto, ello implicaría que la carga estuviera acumulándose en algún punto del circuito, lo cual no sucede en el estado estable. Donde V representa el voltaje en los tres resistores, supongamos que el resto de la resistencia en el circuito puede ignorarse, por lo que V es igual a la fem de la batería.

Representaremos por medio de V_1 ; V_2 , V_3 las diferencias de potencial en cada uno de los resistores R_1 , R_2 y R_3 . Según la ley de Ohm, $V_1 = IR_1$, $V_2 = IR_2$,... $V_3 = IR_3$. En concordancia con la ley de la conservación de la energía, el voltaje total V , es igual a la suma de los voltajes entre cada uno de los resistores, de manera que:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

Para un solo resistor equivalente R_m por el que circula la misma corriente se tendría.

$$V = I R_m$$

Igualando estas dos expresiones para V encontramos que

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \dots \dots \dots [\text{serie}]$$

De hecho, es lo que pasa en un circuito serie para resistores. Cuando ponemos varios resistores, en serie la resistencia total es la suma de las resistencias individuales. Es claro que cuando se añade más resistencias al circuito, la corriente disminuye.

La situación es bastante diferente para un circuito en paralelo figura 2. Aquí también nos interesa encontrar una resistencia equivalente ó (R_T). En este caso, la corriente que circula, respectivamente, por los resistores R_1 ; R_2 y R_3 . Como la carga se conserva, la corriente que entra a una unión debe ser igual a la que sale de esa misma unión, de modo que:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

El voltaje total de la batería se aplica a cada uno de los resistores, así que:

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, \dots, I_2 = \frac{V}{R_2}, \dots, I_3 = \frac{V}{R_3}$$

Además, para un único resistor R_{eq} por el que circulará la misma corriente I que alimentará a las tres en paralelo.

$$I = \frac{V}{R_{eq}}$$

Combinando estas ecuaciones tendremos

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$
$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

Cuando dividimos entre V cada uno de los términos, obtenemos:

$$\frac{I}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \text{o bien}$$

$$I = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \dots \text{[paralelo]}$$

Por ejemplo, si tres resistores de 30Ω se disponen en paralelo, la resistencia neta R que presenta esta red es

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{30} + \frac{1}{30} + \frac{1}{30} = \frac{1}{10} = 10\Omega$$

Por consiguiente, la resistencia neta es menor que cada una de las resistencias individuales.

PRACTICA

RESISTENCIAS EN SERIE-PARALELO

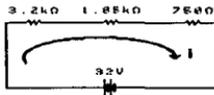
MATERIAL Y EQUIPO:

- 1 Tablero número 1 y caja de componentes del BASIC I
- 2 Fuente de tensión de c.c. variable de 0-12 v.
- 3 Dos multímetros
- 4 Conectores necesarios
- 5 Resistencias: 2 de 1 K Ω a 1/2 w.
1 de 4.7 K Ω a 1/2 w.
1 de 2.2 K Ω a 1/2 w.
1 de 1.5 K Ω a 1/2 w.
varias de valores diferentes.

DESARROLLO.

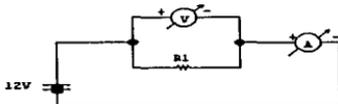
Reconozca el material se va a utilizar así como el equipo.

1. Para el siguiente **circuito en serie** calcule:



- a) La resistencia total: $R_T = \underline{5800} \text{ K}\Omega$.
 - b) La corriente total: $I_T = \underline{5.5} \text{ mA}$.
2. Arme el siguiente circuito en el tablero N° 1 del BASIC I:
Se procede de la siguiente manera.
 - a) Se conecta la resistencia R_1 (1 K- Ω) entre los puntos 3 y 4 y la resistencia R_2 (4.7K Ω) entre los puntos 9 y10.

- b) Conecte un amperímetro (en un rango mayor de 10 mA), en los terminales 7 y 8. Asegúrese que la polaridad este correcta.
- c) Conecte un voltímetro, en un rango mayor de 12 V, entre los terminales 11 y 12 en paralelo con los terminales de R_2 (puntos 9 y 10).
- d) Ajuste la fuente de tensión hasta obtener una lectura de 12 V en el voltímetro, colocando este entre los puntos 1 y 2.



Circuito serie simple

- e) Encienda la fuente de tensión; mida la tensión y la corriente en el circuito y anote los resultados en la tabla 1.

a) $V_{R_1} = 2.09$ V.	a) $I_1 = 2.0$ mA
b) $V_{R_2} = 9.6$ V.	b) $I_2 = 2.0$ mA

- f) ¿Como es la corriente para cualquier punto del circuito, con respecto a la corriente total?
- g) ¿Como es el voltaje para cada una de las resistencias, con respecto al voltaje total?

3. Para el circuito anterior y con los datos obtenidos calcular:

Circuito serie	Corriente medida (mA)	Corriente calculada (mA)	Tensión medida (V)	Tensión calculada (V)	Resistencia efectiva calculada con la ley de Ohm	Resistencia a efectiva calculada con la ecuación (*) K Ω	Disipación de potencia (W) (**)
R ₁ y R ₂	R ₁ = 2.0 R ₂ = 2.2	R ₁ = 1.2 R ₂ =2.5	$\frac{VR_1}{2.09}$ $\frac{VR_2}{9.6}$	$\frac{VR_1}{1.2}$ $\frac{VR_2}{11.7}$	5340	5700	$\frac{PR_1}{26.4 \text{ w.}}$ $\frac{PR_2}{2585 \text{ w.}}$

(*) Ecuación $IR_T = I (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)$

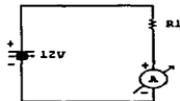
Donde. $R_T = \Sigma R$

(**) ecuación para encontrar la disipación de la potencia

$$V = E \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Apague la fuente y desconecte el circuito

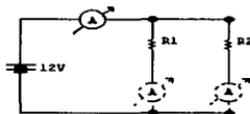
2. Conecte el **circuito en paralelo** que se muestra enseguida. Utilice el circuito N° 3 del BASIC 1.



Circuito paralelo

a) Cortocircuite las terminales 22 y 23.

- b) Conecte un resistor de $1\text{ K}\Omega$ entre los puntos 24 y 25.
- c) Conecte un amperímetro en serie con R_1 entre los puntos 26 y 27. Ajuste su amperímetro en el rango de 25 mA.
- d) Conecte la fuente de 12 v c.c a los terminales 20 y 21.
- e) Encienda la fuente de tensión; mida la corriente en el circuito. Anote en la tabla 2.
- f) Desconecte la fuente de tensión las terminales puntos 20 y 21.
- g) Reemplace el amperímetro e los puntos 26 y 27 por un corto circuito.
- h) Mida la resistencia efectiva entre los puntos 20 y 21. Anote el resultado en la tabla.
- i) Arme el circuito siguiente



Circuito con dos resistores en paralelo

"Las líneas punteadas, significan que los amperímetros están conectados en serie con los resistores, para lo cual, para poder medir uno se tiene que cortocircuitar el otro."

- i) Conecte los resistores de R_1 ($4.7\text{ K}\Omega$) entre los puntos 24 y 25 y, R_2 ($2.2\text{ K}\Omega$) entre los puntos 28 y 29.
- j) Mida la corriente total y la corriente en cada uno de los resistores. Anote los resultados en la tabla 2.
- k) Desconecte la fuente de tensión.

- I) Ahora reemplace el amperímetro de los puntos 22 y 23 por un cortocircuito. También reemplace los otros dos por cortocircuitos.
- II) Mida la resistencia total entre los puntos 20 y 21. Anote el resultado en la tabla 2.

Resistores en el circuito	Corriente total medida	Corriente total calculada	Corriente medida en el resistor	Corriente calculada en el resistor	Resistencia efectiva medida	Resistencia calculada con la ley de Ohm (Ω) *	Disipación de potencia
2 y 3	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)	(Ω)		(w)
Figura 2	-----	18	$IR_1 = 18$	21	558	560	$PR_1 = 21.6$
Figura 3	7	$I_1 + I_2 = 7$	$IR_1 = 2.25$ $IR_2 = 4.75$	1.7 5.4	690	687.5	$PR_1 = 27$ $PR_2 = 57$

Donde * ecuación para encontrar la resistencia

$$R = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

** ecuación para encontrar la corriente

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

CUESTIONARIO.

- 1 Dado un circuito con dos resistores en paralelo, explique como determinar la corriente en cada resistor si la corriente total es desconocida.**
- 2 Indique un método para la medición de la resistencia total diferente al propuesto con anterioridad.**
- 3 Exprese su opinión sobre la eficiencia del divisor de tensión, como un medio para la reducción de tensión.**
- 4 Mencione algunos tipos de resistencias y su uso.**
- 5 Dada una fuente de 24 V, diseñe un divisor de tensión que suministre 10 V de salida. Calcule la disipación de potencia en cada resistor.**

CONCLUSIONES

AMPERIMETROS Y VOLTMETROS.

OBJETIVO:

1. El alumno aprenderá a utilizar el voltímetro y amperímetro realizando pruebas de mediciones a diferentes materiales.

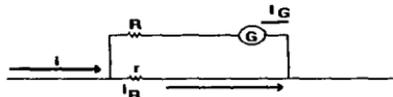
INTRODUCCION.

Un amperímetro se utiliza para medir corriente y un voltímetro mide voltaje o diferencia de potencial. La parte clave de cada uno de estos medidores es un galvanómetro, el cual funciona con base en el principio de la fuerza entre un campo magnético y una bobina de alambre por la que circula una corriente. La sensibilidad de corriente a máxima escala I_m de un galvanómetro es la corriente necesaria para que la aguja se deflecte en toda la escala..

Muchos medidores con los que nos encontramos en nuestra vida diaria son galvanómetros que se conectan como amperímetros o voltímetros.

Un galvanómetro puede emplearse para medir directamente pequeñas corrientes, por ejemplo, un galvanómetro cuya sensibilidad I_m es $50 \mu\text{A}$ puede medir corrientes desde aproximadamente $1 \mu\text{A}$ (corrientes menores que ésta sería difícil leerlas en la escala) hasta $50 \mu\text{A}$. Para medir corrientes más altas, se coloca un resistor en paralelo con el galvanómetro. Por consiguiente un amperímetro (representado por medio del símbolo A) se compone de un galvanómetro (G) en paralelo con un resistor que se denomina resistor en derivación.

Este medidor se muestra en la figura 1(a). La resistencia en derivación es R y la resistencia de la bobina del galvanómetro (en la que circula la corriente) es r . El valor de R se elige de acuerdo con la deflexión a escala máxima que se desea.



Circuito interno de un amperímetro

Supongamos que nos interesa diseñar un medidor que lea 1.0A a máxima escala utilizando un galvanómetro con una sensibilidad a máxima escala de $50 \mu\text{A}$ y una resistencia $r = 30\Omega$. Esto implica que cuando la corriente total I que entra al amperímetro es igual a 1.0A , queremos que la corriente I_G que circula por el galvanómetro sea precisamente $50 \mu\text{A}$ (para lograr la deflexión a máxima escala).

Por eso, cuando fluyen 1.0A hacia el medidor, deseamos que circulen 0,999950 A (= I_R) por el resistor en derivación R. Puesto que la diferencia de potencial en la derivación es la misma que en el galvanómetro,

$$I_R R = I_G R$$

Por lo tanto;

$$I_R = \frac{I_G R}{R} = \frac{(5.0 \times 10^{-5} \text{ A})(30 \Omega)}{(0.999950 \text{ A})} = 1.5 \times 10^{-3} \Omega = 0.0015 \Omega$$

El resistor en derivación debe tener, por consiguiente, una resistencia muy baja para que la mayor parte de la corriente circule por él.. Si la corriente I que entra al medidor es de 0.50 A, ésta producirá una corriente de 25 μA en el galvanómetro y provocará una deflexión de media escala, cuando se requiera.

Un voltímetro (V) se compone también de un galvanómetro y de un resistor. Pero este último (R) se conecta en serie, figura 1(b).



Supóngase, considerando el mismo galvanómetro con resistencia interna $r = 30 \Omega$ y una sensibilidad de corriente a máxima escala de 50 μA , que se desea integrar un voltímetro que marca de 0 a 15 v. Cuando exista una diferencia de potencial de 15 v entre las terminales de nuestro voltímetro, deseamos que circules 50 μA a través de él para que se produzca la deflexión máxima. De acuerdo con la ley de Ohm, tenemos que:

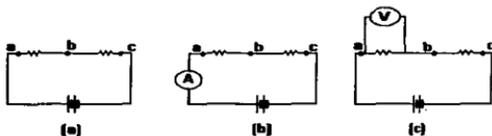
$$15 \text{ v} = (50 \mu\text{A}) (r+R)$$

$$R = \frac{(15 \text{ V})}{(5.0 \times 10^{-5} \text{ A})} = r = 300 \Omega$$

obsérvese que $r = 30 \Omega$ es sumamente pequeña en comparación con R y, por ello, afecta el calculo en forma significativa. La escala será de nuevo lineal.

EMPLEO DEL AMPERIMETRO Y VOLTIMETRO Y CORRECCION DE RESISTENCIAS DEL MEDIDOR.

Supóngase que se requiere determinar la corriente I en el circuito que se muestra en la figura 2, así como el voltaje V entre el resistor R_1 . ¿De que manera deben conectarse el amperímetro y el voltímetro?



Debido a que medirá la corriente que circula por el circuito, el amperímetro debe conectarse directamente, en **serie** con los demás elementos figura 2b.

Un voltímetro, por otra parte, se conecta en **paralelo** con el elemento del circuito en cuyos extremos se medirá el voltaje. Este medidor se utiliza para medir la diferencia de potencial entre dos puntos y sus dos puntos de conexión, se conectan en los dos puntos, como se muestra en la figura 2c en la que se mide el voltaje en los extremos del resistor.

Los voltímetros y los amperímetros pueden incluir varias series de resistores en serie o en derivación que permitan elegir diferentes escalas. Los multimetros pueden medir voltaje, corriente y resistencia. En algunas ocasiones, estos aparatos reciben el nombre MVO (medidores de Volt-Ohm). Los medidores de lectura digital se denominan voltímetros digitales (VD) o multimetros digitales (MD).

Para medir resistencia, el medidor debe contener una batería (de voltaje conocido) conectada a un amperímetro (galvanómetro con una derivación). Este arreglo integra un ohmetro, el resistor al que se le medirá la resistencia completa el circuito. La deflexión en este caso es inversamente proporcional a la resistencia. En consecuencia, si la resistencia es pequeña, la deflexión es grande y viceversa. Como un ohmetro envía una corriente a través del dispositivo cuya resistencia se mide, no debe utilizarse en dispositivos muy delicados que podrían ser dañados por la corriente.

La sensibilidad del medidor se especifica por lo general en su parte frontal. Es posible que esté determinada por cierto número de ohms por volt, lo cual indica cuántos ohms de resistencia hay en el medidor por volt de lectura a máxima escala. Por ejemplo, si la sensibilidad es de 30,000 Ω /v, significa que en la escala de 10 v el medidor tiene una resistencia de 30,000 Ω , la sensibilidad de corriente a máxima escala I_m ; es exactamente el inverso de la sensibilidad en $\Omega/v = A^{-1}$.

Por ejemplo, un medidor con sensibilidad de 30,000 Ω/v produce una deflexión máxima a 1.0 v cuando están 30,000 Ω en serie con el galvanómetro. En consecuencia, la sensibilidad de corriente es en este caso igual a:

$$\frac{1.0V}{(3.0 \times 10^4 \Omega)} = 33 \mu A$$

Es importante conocer la sensibilidad, ya que en muchos casos la resistencia del medidor puede afectar en forma considerable sus resultados.

PRACTICA AMPERÍMETRO Y VOLTÍMETRO

MATERIAL Y EQUIPO.

1. Tablero N°2 y caja de componentes del sistema BASIC-1.
2. Multímetro con sensibilidad de $20000 \Omega / V$.
3. Fuente de potencia de c.c. variable de 0 - 36 V.
4. Dos décadas de resistencias.

DESARROLLO.

1. Medición de la corriente

NOTA. En esta práctica se utiliza un instrumento muy sensibles. Por lo cual se recomienda se tenga cuidado para evitar dañar el equipo. Cuidar que la fuente de tensión este apagado antes de comenzar.

- 1.1 Arme el circuito de la figura 1, utilizando el circuito N°1 del tablero N°2.



Medición de la corriente de deflexión a plena escala

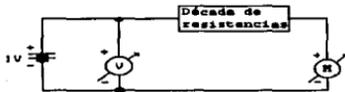
- 1.2 Conecte una fuente de tensión en los terminales E. Ajuste a cero la tensión de salida de la fuente.
- 1.3 Aumente la tensión de la fuente lentamente hasta que la deflexión del instrumento sea a plena escala. La lectura del amperímetro (A) es igual a la corriente de deflexión a plena escala del instrumento (M). Compruebe que la corriente de deflexión a plena escala corresponda al valor medido en el instrumento (M).

2. Medición : la resistencia interna.

- 2.1 Agregue en el circuito una década de resistencias en paralelo con el instrumento (en los terminales R_{in}).
- 2.2 Incremente la década de resistencias (R_{int}), hasta alcanzar una deflexión a plena escala de la corriente medida. Anote el valor de la resistencia de la década (R_{in}) en la tabla 1, en el lugar correspondiente a la resistencia interna.

3. Medición de la sensibilidad del instrumento (Ω / V).

- 3.1 Arme el circuito de la figura 1. Utilice el circuito N°1 del BASIC-1



Medición de la sensibilidad

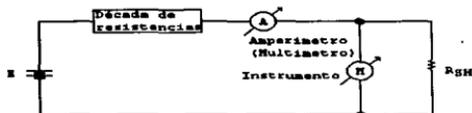
- 3.2 Coloque la década de resistencias en 50Ω . Eligiendo en el multímetro un rango que permita la lectura de 1V con precisión.
- 3.3 Encienda la fuente de tensión; reduciendo la resistencia de la década hasta obtener una deflexión a plena escala en el instrumento. Anote el valor de la resistencia de la década en la tabla 1.

Corriente de deflexión a plena escala (μA).	Resistencia interna (Ω)	Década de Resistencia ($K\Omega$)	Sensibilidad (Ω / V)
50 μA	33	50	30

Datos del instrumento.

4. Uso del multímetro para medir corriente.

4.1 Arme el circuito de la figura 3. Utilice el circuito N°1 del tablero N°2 del BASIC-1.



El instrumento como amperímetro

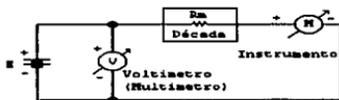
- 4.2 Fije el amperímetro en la escala de 1A o en la escala superior a este valor. Conecte una década de resistencias en el lugar indicado como R_{sh} y fíjela en 0Ω .
- 4.3 Aumente la tensión de la fuente hasta obtener en el amperímetro una lectura 10 veces mayor que la corriente de deflexión.
- 4.4 Aumente la resistencia de la década R_{sh} (en el orden de cientos de ohmios) hasta obtener la deflexión a plena escala en el instrumento.
- 4.5 Cortocircuite la década de resistencias R_{sh} y repita los incisos 4.3 y 4.4 para una corriente 20 veces mayor que la corriente de deflexión a plena escala del instrumento M.

Magnitud medida. Lectura del amperímetro.	Resistencia "Shunt" R_{sh} (Ω)	Lectura del amperímetro (mA)
10 I _m	5 K	2.7
20 I _m	37 K	4.2

El instrumento como amperímetro.

5. Uso del instrumento para medir tensión.

5.1 Arme el circuito de la figura 4. Utilice el circuito N°1 del tablero N°2 del BASIC-1.



El instrumento como voltímetro

5.2 Conecte una fuente de tensión de 3V. Varíe el valor de R_m hasta obtener deflexión a plena escala en el instrumento M. Utilice la década de resistencias como R_m .

5.3 Anote los resultados en la tabla 3.

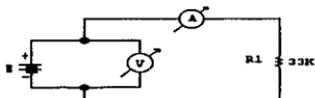
5.4 Fije la década de resistencias a un valor de resistencia de 120 K Ω . Aumente la tensión de la fuente a 5V. Varíe el valor de R_m hasta obtener deflexión a plena escala del instrumento M. Anote el resultado en la tabla 3.

Magnitud medida Rango de medición necesario	Valor de la resistencia (Ω)	Rango de medición (V)	Medición tomada
3V	850 K	0 - 20	2.84
5V	542 K	0 - 20	4.98

El instrumento como voltímetro.

6. Influencia del amperímetro en el circuito.

6.1 Arme el circuito de la figura 5. Utilice el circuito N°1 del tablero N°2 del BASIC-2.



Influencia del amperímetro en el circuito

Conecte el circuito de la siguiente manera.

A. Conecte un cortocircuito en el lugar de R_m (terminales 5 y 6)

B. Conecte un amperímetro entre los terminales 7 y 8.

C. Conecte una resistencia R_x de $33\text{ K}\Omega$ entre los terminales 11 y 12.

D. Conecte una fuente de tensión entre los terminales 1 y 2.

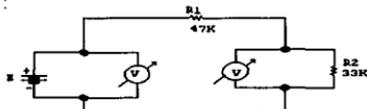
6.2 Varíe la tensión de la fuente según los valores de la tabla 4. Mida la corriente en el circuito para cada cambio de tensión. (Utilice rangos de corriente bajos). anote las mediciones en la tabla 4.

Tensión de la fuente (V)	Corriente medida (μA)	Corriente calculada (μA)	Rango medición de del amperímetro
1	0.0275	0.030	0 - 0.05
2	0.075	0.060	0 - 0.05
4	0.15	0.12	0 - 5
6	0.20	0.18	0 - 5
8	0.275	0.24	0 - 5
10	0.3	0.3	0 - 5
14	0.4	0.42	0 - 5
18	0.55	0.54	0 - 5
22	0.7	0.66	0 - 5
26	0.8	0.78	0 - 5
30	0.9	0.90	0 - 5
33	1	1	0 - 5

TABLA: Influencia del amperímetro en el circuito.

7. Influencia del voltímetro en el circuito.

7.1 Arme el circuito de la figura 6. Utilice el circuito N°1 del tablero N°2 del BASIC-1.



Influencia del amperímetro en el circuito

Conecte el circuito de la siguiente manera:

- Coloque una resistencia R_1 de $47\text{ K}\Omega$ en el lugar de R_m .
 - Coloque un cortocircuito entre los puntos 7 y 8.
 - Coloque una resistencia R_2 de $33\text{ K}\Omega$ en el lugar de R_{SH} .
 - Conecte la fuente de tensión E entre los terminales 1 y 2.
- 7.2 Varie la tensión de la fuente según los valores de la tabla 5. Cambie el rango del voltímetro correspondiente.

Tensión de la fuente (V)	Tensión medida (V)	Tensión * calculada (V)	Rango medición de multímetro
2	0.9	0.825	0 - 2.5
4	1.7	1.65	0 - 10
6	2.5	2.475	0 - 10
8	3.4	3.3	0 - 10
10	4.2	4.125	0 - 10
15	6.20	6.187	0 - 25
20	8.3	8.25	0 - 25

Influencia del voltímetro en el circuito

* Se calcula por medio de la ecuación

$$V_{R_1} = V \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Se ha terminado la práctica. apague la fuente de tensión y entregue el equipo.

CUESTIONARIO

1. De su opinión respecto a la eficiencia del divisor de tensión como medio para la reducción de tensión.
2. Mencione otro método para la solución de la medición de la resistencia efectiva.
3. Dado un circuito con dos resistores en paralelo, explicar como determinar la corriente en cada resistor si la corriente total es conocida.
4. Proponga un método para variar la intensidad de iluminación de una lámpara conectada a una fuente de tensión.
5. En un circuito serie, a que resistor le corresponde la mayor caída de tensión y la mayor disipación de potencia.

CONCLUSIONES

MEDICION DE RESISTENCIAS

OBJETIVO:

1. El alumno aprenderá a realizar mediciones con los principales instrumentos de laboratorio así como el método de calibración de los mismos principalmente el óhmetro.
2. El alumno usará el puente de Wheatstone y su empleo en la medición de resistencias.

INTRODUCCION.

A veces es necesario medir una corriente de solo unas pocas milésimas o millonésimas de amperio o un voltaje de solo unas pocas milésimas o millonésimas de voltio. Medidas de este tipo se requieren en pruebas de circuitos eléctricos.

Los instrumentos calibrados para indicar corrientes en millonésimas de amperio se denominan *microamperímetros*.

Los instrumentos calibrados para indicar corriente en milésimas de amperio se denominan *milliamperímetros*.

Los instrumentos calibrados para indicar voltajes en millonésimas de voltio se denominan *microvoltímetros*.

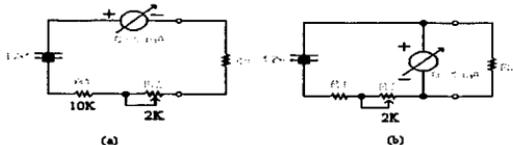
Los instrumentos calibrados para indicar voltajes en milésimas de voltio se denominan *millivoltímetros*.

OHMETROS.

Método del Voltímetro-Amperímetro.

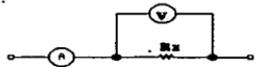
El método del voltímetro-amperímetro es una técnica para medir resistencias cuando sólo se dispone de voltímetros y amperímetros y es satisfactoria una exactitud del 1 ó 2 por ciento. Por ejemplo si se emplea un amperímetro para medir la corriente que pasa a través de una resistencia y un voltímetro para medir su voltaje figura 1, con la ley de Ohm se puede calcular la resistencia $R = E / I$. Si se emplea este procedimiento para medir resistencias elevadas y se conecta el voltímetro como se muestra la figura 1a, el amperímetro medirá la suma de las corrientes que pasan por el voltímetro y la resistencia a medir. El flujo de corriente que pasa por la resistencia es muy pequeño, y el que pasa por el voltímetro puede ser igual o mayor, según la resistencia del voltímetro que se emplee. La resistencia calculada empleando el valor de esta corriente será errónea. Es evidente que solo se debe usar este tipo de conexiones para determinar valores de resistencias bajas.

Es evidente que solo se debe usar este tipo de conexiones para determinar valores de resistencias bajas. Al conectar el voltímetro como se muestra en la figura 1b se elimina el error que se comete con el anterior circuito y es recomendable para determinar valores de resistencias elevadas.



Medida de resistencias por el método del voltímetro-amperímetro. (a) Circuito para medir resistencias bajas. (b) Circuito para medir resistencias elevadas.

Existen dos formas posibles de conectar los instrumentos para efectuar esta medición figura 2. Si se utiliza la conexión mostrada en la figura 2a y la resistencia del voltímetro es muy alta comparada con R_x , entonces el voltímetro tomará solamente una pequeña corriente de R_x y podemos despreciar su efecto de carga. Por consiguiente esta conexión es la mejor para medir la resistencia de valores bajos.



Conexiones de medidores para resistencias con el método de voltímetro y amperímetro.

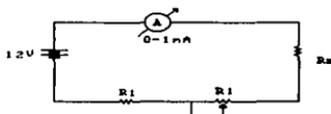
Considerando la otra conexión figura 2b. El valor de la resistencia interna del amperímetro es mucho menor que el valor de la resistencia desconocida, difícilmente afectará el valor de la corriente original que fluirá en ella. por tanto, la conexión (2b) es más exacta para medir resistencias de valores altos.

Método del voltímetro para medir resistencias elevadas.

Se pueden medir las resistencias grandes empleando un voltímetro cuya resistencia R_v se conozca y conectándole como se muestra en la figura 3.

Se toma una lectura con el interruptor cerrado, cortocircuitando así la resistencia; el voltímetro indicará entonces el voltaje de la fuente de energía E_r . Se toma otra lectura con el interruptor abierto, añadiendo así la resistencia desconocida R_x en serie a la del voltímetro.

La nueva lectura de voltaje E_A será, por tanto, el voltaje en el mismo voltímetro, el valor de la resistencia desconocida es igual a



Circuito para medición de resistencias elevadas

$$R_x = R_A \times \frac{E_r - E_A}{E_A}$$

Principio básico del óhmetro.

Un óhmetro es un instrumento que indica la resistencia de un circuito, su principio de funcionamiento se basa en el método del voltímetro para medir resistencias, en la figura 4 se muestra un diagrama esquemático de un circuito interno del óhmetro simple. En dicho instrumento se emplea un apila como fuente de energía y las resistencias estandar calibradas R_1 y R_x se ponen en lugar del voltímetro.

La escala del miliamperímetro se calibra para indicar directamente la resistencia en ohmios. Cuando las terminales T_1 y T_2 se cortocircuitan y la pila esta nueva, de forma que $E = 4.5$ V, entonces $R_1 + R_x$ debe ser igual a $4.5 / 0.001$, o sea 4.500 ohmios, para que el miliamperímetro marque el máximo, lo que ocurre cuando la corriente en el circuito es de 1mA. Cuando los terminales T_1 y T_2 se cortocircuitan, la resistencia del circuito exterior es nula y la escala del miliamperímetro se marca con cero ohmios en lugar de 1mA. Si se coloca una resistencia desconocida R_x entre los terminales T_1 y T_2 aumenta la resistencia total del circuito y disminuye el flujo de corriente en el circuito, lo cual será indicado por el miliamperímetro. Supongamos que al miliamperímetro indica que por el circuito fluye 0.5 mA; entonces

$$R_A + R_1 + R_X = \frac{4.5}{0.0005} = 9.000 \text{ohmios}$$

Como

$$R \quad R_1 + R_A = 4.500 \text{ohmios}$$

entonces

$$R_X = 9.000 - 4.500 = 4.500 \text{ohmios}$$

Por tanto, el miliamperímetro se gradúa para que indique 4.500 ohmios en lugar de 0.5mA. de forme similar se puede calibrar toda la escala para que indique la resistencia del circuito externo en ohmios. La lectura más alta que se puede hacer con cierta precisión es aproximadamente diez veces la del centro; la más baja aproximadamente un décimo de la del centro. El óhmetro que se ha discutido tiene, un escala aproxima de 450 a 45.000 ohmios.

PUENTE DE WHEATSTONE.

Este instrumento consta de cuatro resistencias conectadas en forma de rombo. Una fuente de voltaje, generalmente una pila (de uno o dos elementos), se conecta en serie con un interruptor entre dos terminales de uniones opuestas marcados con los puntos A y B de la figura 5. Se conecta un galvanómetro sensible en serie con otro interruptor y entre los dos terminales de uniones opuestas marcadas con los puntos C y D. La resistencia desconocida R_X es una de las cuatro resistencias que forman el rombo; las otras tres resistencias son del tipo ajustable cuyo valor se indica conforme se varían. Las tres resistencias ajustables se varían hasta, cuando se cierran los interruptores S_1 y S_2 , el galvanómetro no indique paso de corriente. En estas condiciones el puente está equilibrado. El valor de la resistencia desconocida entonces se determina a partir de los valores en que se pusieron las resistencias ajustables para equilibrar el puente. El principio del puente se Wheatstone se puede explicar de la siguiente manera: cuando se cierre el interruptor S_1 , la corriente de la pila tomara dos caminos, es decir, I_1 a través de ACB e I_2 a través de ADB. La caída de tensión en cada resistencia individual será

$$E_{AC} = I_1 R_1 \dots\dots\dots(1)$$

$$E_{CB} = I_1 R_2 \dots\dots\dots(2)$$

$$E_{AD} = I_2 R_S \dots\dots\dots(3)$$

$$E_{DB} = I_2 R_X \dots\dots\dots(4)$$

Quando se equilibra el puente, los puntos de unión C y D están al mismo potencial. Esto es evidente por el hecho de que la lectura en el galvanómetro es cero, ya que la corriente fluye entre dos puntos solo cuando entre ellos existe una diferencia de potencial.

Bajo estas condiciones,

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \dots \dots \dots (5)$$

$$I_1 R_2 = I_2 R_x \dots \dots \dots (6)$$

Dividiendo la ecuación 5 en la ecuación 6, tenemos

$$\frac{I_1 R_1}{I_1 R_2} = \frac{I_2 R_2}{I_2 R_x} \dots \dots \dots (7)$$

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

Re solviendo para R_x

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

Esta es la ecuación fundamental del puente de Wheatstone. Generalmente se hace la relación R_2 / R_1 igual a 1 o a un múltiplo o fracción de 10

PRACTICA

MEDICION DE RESISTENCIAS.

MATERIAL Y EQUIPO.

1. Tablero N° 2 y caja de componentes del BASIC-1.
2. Fuente de Tensión de c.c. variable de 0 a 36 V.
3. Década de resistencias.
4. Multímetro, preferible con un rango de medida de 1mA.

DESARROLLO.

1 Medición de resistencias elevadas

- 1.1 Arme el circuito de la figura 1, utilizando el circuito N°2 del tablero del BASIC 1.



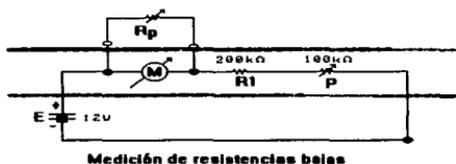
- 1.2 cortocircuite los terminales puntos 21 y 22 y ajuste el potenciómetro P para deflexión del instrumento del instrumento a plena escala ($50 \mu A$). Luego retire los cortocircuitos de los puntos.
- 1.3 Conecte un resistor R_s , el cual es un potenciómetro, a los terminales de medición. Ajuste el potenciómetro R_s a fin de obtener las corrientes indicadas en la tabla 1.
- 1.4 Después de obtener las mediciones de la tabla 1, desconecte R_s , y mida su resistencia con un óhmetro anote su medición en la tabla 1.

Magnitud medida Corriente (μA)	Resistencia medida R_s ($\text{M}\Omega$)	Resistencia calculada ($\text{M}\Omega$)
33	309	303
37	270	270.27
41	243	243.9
45	220	222.2
49	202	204.2

TABLA 1: Medición de resistencias elevadas.

2. Medición de resistencias bajas

- 2.1 Arme el circuito siguiente, figura 2, utilice el circuito N° 2 del tablero N° 2 del BASIC-1.



- 2.2 Conecte el potenciómetro R_p para medir su resistencia, se debe conectar a los terminales de medida.
- 2.3 Antes de conectar el potenciómetro R_p , ajuste el potenciómetro P para deflexión a plena escala del instrumento ($50 \mu\text{A}$).
- 2.4 Cortocircuite los terminales de medida puntos 16 y 18 y, verifique que no circule corriente por el instrumento.
- 2.5 Conecte R_p al circuito y ajuste su resistencia hasta alcanzar las corrientes indicadas en la tabla 2.

2.6 Mida en cada caso la resistencia de R_p (desconectándolo primero del circuito). anote los resultados en la tabla 2.

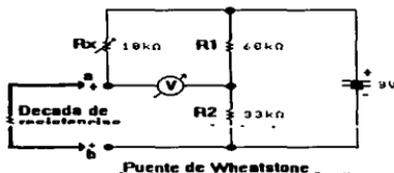
Magnitud medida Corriente (μA)	Resistencia medida R_r ($\text{K}\Omega$)	Resistencia calculada R_r ($\text{K}\Omega$)
0	0	0
33	310	303
37	274	270
41	247	243.9
45	221	222.2
49	204	204

TABLA 2: Medición de resistencias bajas.

3 Puente de Wheatstone

3.1 Arme el circuito de la figura 3, utilizando el circuito N°3 del tablero del BASIC-1.

3.2 Conecte un voltímetro, con un rango apropiado (en este caso bajo).



3.3 Ahora el valor de R_x puede ser cualquier valor, fíjelo.

3.4 Conecte una década de resistencias entre los terminales "a" y "b", tratando de obtener una lectura nula en el voltímetro.

3.5 Desconecte la fuente de tensión. Desconecte la década de resistencias y mida su resistencia. Anote los resultados en la tabla 3.

3.6 Repita el inciso anterior , ahora para cuatro posiciones de Rx. Anote las mediciones en la tabla 3.

Posición de Rx	Valor de la década de resistencias (Ω)	Valor medido de Rx (Ω)	Valor calculado de Rx (Ω)
1	3410	1.98	1.65
2	4720	2.61	2.29
3	10334	5.25	5.015
4	14699	4	3.98
5	34677	5.98	5.89

TABLA 3: Puente de Wheatstone.

CUESTIONARIO

1. ¿Cómo debe de conectarse un óhmetro para medir resistencias elevadas?
2. Cómo debe conectarse un óhmetro para medir resistencias bajas?
3. ¿Qué es una medición óptima? ¿Y como se obtiene?
4. Enuncie el principio del puente de Wheatstone.
5. ¿En qué principio está basado el óhmetro?

CONCLUSIONES

LEYES DE KIRCHHOFF Y TEOREMAS DE REDES

OBJETIVO. El alumno comprobará prácticamente las leyes de Kirchoff y algunos teoremas de redes en circuitos serie-paralelo, midiendo los voltajes y las corrientes de los circuitos.

INTRODUCCION.

La interconexión de dos o más elementos simples de circuitos se llama "red" eléctrica. Si la red contiene al menos un camino cerrado, lo llamaremos circuito eléctrico. Todos los circuitos son redes, pero no todas las redes son circuitos. Una red que contiene al menos un elemento activo, tal como una fuente de tensión o de corriente, es una red activa. Si no contiene ninguna fuente es una red pasiva.

Con la ley de Ohm sólo pueden tratarse matemáticamente cierto número de circuitos simples; sin embargo, los circuitos más complicados requieren el uso de las ecuaciones de Kirchoff. La primera de ellas establece que la suma algebraica de los voltajes en un circuito cerrado es igual a cero

$$\Sigma V = 0 \quad (1)$$

La segunda ecuación establece que la suma algebraica de las corrientes en cualquier nodo del circuito es cero:

$$\Sigma I = 0 \quad (2)$$

Obsérvese que la primera ley se refiere a la suma algebraica de los voltajes alrededor de un circuito cerrado. hay varios puntos de vista que se pueden utilizar para asegurar que los signos algebraicos correctos se conservan. Considérese el circuito de la figura (1).

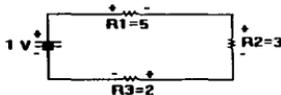


Figura 1

Los signos de polaridad asignados a cada elemento son las polaridades que se desarrollan mientras la electricidad positiva (convencional) fluye en la terminal positiva de la batería (fuente de voltaje), por el circuito externo, hasta el terminal negativo. (será útil poner estos signos a cada elemento en un circuito para ayudar a resolver el problema).

Definiremos como una caída cuando se recorre de un (+) a un (-), y como una subida el recorrido de un (-) a un (+). Aquí se aplica en forma adecuada la ley de voltaje de Kirchhoff, por medio de una de las siguientes "convenciones".

Conforme recorremos el circuito cerrado, las subidas se igualan con las caídas. En el circuito de la figura (1) esto significaría que:

$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3 \quad (3)$$

A las subidas puede asignárseles también el signo (+) y a las caídas signo (-). Si recorremos el circuito cerrado, la expresión resultante es:

$$V - IR_1 - IR_2 - IR_3 = 0 \quad (4)$$

La tercera forma de hacer esto es definir las subidas como (-) y las caídas como (+). Al recorrer el circuito cerrado se tiene:

$$-V + IR_1 + IR_2 + IR_3 = 0 \quad (5)$$

El resultado es el mismo en cada caso. Puede utilizar cualquiera, al cambiar el arreglo de la ecuación (3) tenemos:

$$V / I = R_1 + R_2 + R_3 = R_s \quad (6)$$

Donde el valor efectivo de la resistencia de un circuito en serie, R_s , es la suma de las resistencias individuales. En el circuito de la figura (1) la corriente se puede calcular fácilmente para ser:

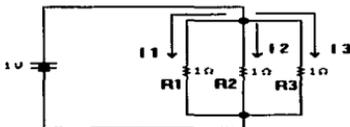
$$I = \frac{V}{R_s} = \frac{1}{5 + 2 + 3} = 0.1A$$

En la figura (2) se muestra otro arreglo de resistencias, es el circuito en paralelo. Note que el voltaje es el mismo a través de todos los resistores, pero que las corrientes que pasan por éstos no son los mismos. Al utilizar la ley de las corrientes de Kirchhoff y al designar las corrientes individuales del mismo modo que en los resistores, se puede escribir para el nodo superior.

$$\sum I = 0 = I - I_1 - I_2 - I_3 \dots \dots \dots (7)$$

Si designamos a las corrientes que entran al nodo como (+), y aquellas que salen como (-), resulta la ecuación (7). Como otra opción, se podría designar a las corrientes que llegan al nodo como (-) y aquellas que salen del mismo como (+). El resultado tendría que ser:

$$-I + I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad (8)$$



Circuito resistivo en paralelo

Figura 2

Empleando la ley de Ohm substituida en la ecuación (7), se produce:

$$I = \frac{V}{R_p} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \dots\dots\dots(9)$$

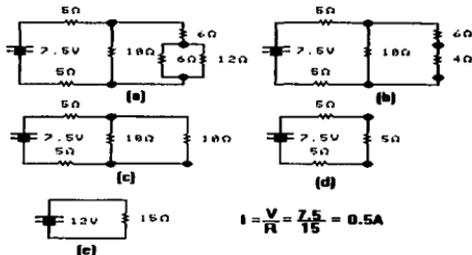
donde R_p es la resistencia efectiva de la red en paralelo. esta ecuación simplificada es:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots\dots\dots(10)$$

Donde sólo hay dos resistores en paralelo, la ecuación (10) viene a ser:

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(11)$$

Pasos para simplificar un circuito:



Por otra parte, el análisis de un circuito requiere de hacer más simple al circuito; esto se hace aplicando los teoremas de redes. entre los teoremas de redes que se analizarán en esta practica están; el de Superposición, el de Thevenin y el de Norton.

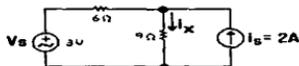
PRINCIPIO DE SUPERPOSICION.

En un circuito que contenga más de una fuente, la corriente y el voltaje de cualquier parte del circuito puede ser encontrada por la suma algebraica de los efectos independientes de cada fuente. Las fuentes que no son analizadas se consideran como un corto circuito.

Por consiguiente, si hay N fuentes, realizaremos N experimentos. Cada fuente independiente es activa solamente en un experimento, y solamente una fuente independiente es activa en cada experimento. Una fuente independiente de tensión inactiva equivale a un corto circuito una fuente independiente de corriente inactiva equivale a un cortocircuito abierto. Observe que las fuentes dependientes en general son activas en cada experimento. Sin embargo, pruebas de la superposición indican que puede enunciarse un teorema mucho más eficaz, si se desea, se pueden hacer activas o inactivas colectivamente un grupo de fuentes independientes. Por ejemplo, supongamos que existen tres fuentes independientes. El teorema anterior establece que podemos encontrar una respuesta dada considerando cada una de las tres fuentes actuando sola y sumando los tres resultados. Alternativamente podemos encontrar la respuesta debida a la primera y segunda fuentes funcionando con la tercera inactiva, y añadir a esta respuesta la obtenida para la tercera fuente actuando sola. Esto equivale a tratar varias fuentes colectivamente como una especie de super fuente.

No existe tampoco razón alguna para que una fuente deba asumir solamente su valor dado o cero en los distintos experimentos; únicamente es necesario que la suma de los diferentes valores sea igual a su valor original. Sin embargo, una fuente inactiva conduce siempre al circuito más simple.

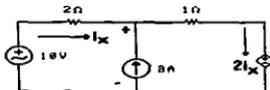
Ejemplo. Considerando un ejemplo en el que se encuentran presentes ambos tipos de fuentes independientes. No es necesario transformar ninguna fuente. En el siguiente circuito utilizemos la superposición para escribir una expresión para la corriente conocida de rama i_x . Debemos primeramente suprimir la fuente de corriente y obtener la parte i_x debida a la fuente de tensión, que es 0.2 amperios.



A continuación suprimimos la fuente de tensión y aplicamos la división de corriente, la parte restante de i_x resulta ser 0.8 amperios. Por tanto, podemos escribir la respuesta detallada como sigue:

$$i_x = \frac{i_x}{i_s} = 0 + \frac{i_x}{i_s} = 0 = \frac{3}{6+9} + 2 \frac{6}{6+9} = 0.2 + 0.8 = 1.0A$$

Como un ejemplo de aplicación del principio de superposición a un circuito que contiene una fuente dependiente, considere el siguiente circuito. Buscamos i_x y primero colocamos la fuente de 3 amperios en circuito abierto.



La ecuación de malla sencilla es:

$$-10 + 2i'_x + 1i'_x + 2i'_x = 0$$

así que;

$$i_x = 0$$

Enseguida ponemos en corto circuito la fuente de 10v y escribimos la ecuación de nudo sencillo.

$$\frac{V''}{2} + \frac{V'' - 2i''_x}{1} = 3$$

y relacionamos la cantidad que controla la fuente dependiente a "v":

$$v'' = -2i''_x$$

Hallamos:

$$i''_x = -0.6$$

y, por tanto,

$$i_i = 2 - 0.6 = 1.4 \text{ A}$$

Comúnmente resulta que poco es el tiempo ahorrado en el análisis de un circuito que contiene una o más fuentes dependientes si se utiliza el principio de superposición, ya que siempre hay por lo menos dos fuentes en operación: una fuente independiente y todas las fuentes dependientes.

Debemos conocer constantemente las limitaciones de la superposición. Sólo es aplicable a respuestas lineales, y por consiguiente, la potencia, la más corriente de las respuestas no lineales, no es objeto de superposición.

TEOREMA DE THEVENIN.

Cuando se analizan ciertos circuitos eléctricos, muchas veces desea uno, reemplazar una parte del circuito o todo con una representación muy simplificada.

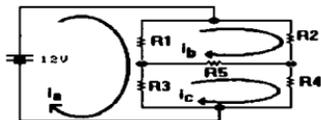
El teorema de Thévenin establece que una red compleja de fuentes y resistencias pueden substituirse por una sola fuente y una simple resistencia equivalentes, (o impedancia en general) en serie con dicha fuente. Cuando este teorema se aplica a un ejemplo, el cálculo del cambio en el flujo de corriente debido al cambio de la resistencia del detector se reduce a un simple cálculo directo para un voltaje con sus resistencias en serie.

Los pasos necesarios para usar el teorema de Thévenin son:

- El elemento a estudiar se "elimina" del circuito, y los extremos abiertos del circuito que se produjo son marcados como V_{ni} .
- El valor de V_{ni} se calcula.
- Todas las fuentes de voltaje cortocircuitadas y todas las fuentes de corrientes son puestas en circuito abierto.
- Ahora se calcula la resistencia equivalente del circuito, R_{ni} .
- La conexión de V_{ni} en serie con R_{ni} está hecha y el elemento bajo estudio se vuelve a insertar dentro del circuito serie para su cálculo.

Estas reglas son claras mediante el uso de un ejemplo.

Dado el circuito siguiente se procede de la manera que sigue:



Paso 1. Elimine R_5 , y las terminales ahora abiertas márkuelas con V_{ni} , Figura (a). La polaridad que se le asigne es arbitraria y se verificará en los cálculos.

Paso 2. Se efectuará la evaluación de V_{ni} empleando las leyes de Kirchhoff

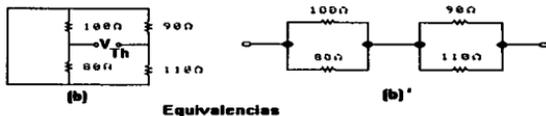
$$0 = 25 - (100 + 80) I_1 \quad (a)$$

$$0 = 100 I_1 + V_{ni} - 90 I_2 \quad (b)$$

$$0 = 25 - (90 + 110) I_2 \quad (c)$$

El resultado es $V_{th} = -2.64\text{v}$. El signo menos sólo significa que el cambio arbitrario de polaridad fue incorrecto.

Paso 3. La fuente de voltaje se cortocircuita y se calcula R_{Th} , figura (b)

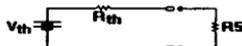


Equivalencias

$$R_{Th} = \frac{(100)(80)}{100 + 80} + \frac{(90)(110)}{90 + 110} = 93.94\Omega$$

Obsérvese que cuando la fuente se pone en cortocircuito, las resistencias que estaban en serie (R_1 y R_2 ; R_3 y R_4) se convierten en combinaciones en paralelo.

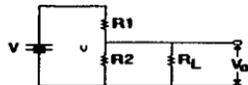
Paso 4. La red está ahora dispuesta en serie como se muestra en la figura (c), y la corriente a través de R_5 se calcula por



(c)

$$I_s = \frac{V_{Th}}{R_{Th} + R_5} = \frac{-2.64}{93.94 + 2} = -0.027\text{A}$$

Una ilustración muy práctica de la utilidad del teorema de Thévenin se encuentra en el divisor de voltaje* que se muestra en la figura siguiente. Cuando $R_L = \infty$



El circuito de divisor de voltaje con carga

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$

Cuando R_L es finito, las expresiones anteriores fallan debido a que la corriente se considera que pasa a través de R_L . La aplicación del teorema de Thévenin ofrece una solución general a este problema. cuando se separa R_L del circuito

$$V_{Th} = V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$

* Este circuito deriva su nombre del hecho de que, en ausencia de R_L , el voltaje aplicado V esta dividido entre R_1 y R_2 . La resistencia R_L representa una "carga" que puede ser un medidor, el filamento de una lámpara o cualquier otro elemento resistivo

Cuando la batería se pone en cortocircuito, también se puede ver que, entonces V_L , que es el voltaje que se desarrolla a través de R_L , se calcula como:

$$V_L = IR_L = \frac{\frac{VR_2}{R_1 + R_2}}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_L} = \frac{VR_2}{R_L + (R_1 + R_2)}$$

Cuando el primer término en el denominador, $R_1 R_2 / R_L$, es pequeño si se compara con el segundo término (es decir, $R_L \gg R_1 R_2$), la salida del divisor de voltaje se aproxima a la condición de estar "sin carga".

TEOREMA DEL CIRCUITO EQUIVALENTE DE NORTON.

El teorema de Thévenin se utilizó para reemplazar un circuito complicado cuando hay una sola fuente de voltaje, y una resistencia en serie. El teorema de Norton reemplaza también un circuito complicado si hay una fuente de corriente constante y una simple resistencia en paralelo con dicha fuente. Estos teoremas de reemplazos son la esencia para el diseño de circuitos. Los diseños con transistores empiezan por una fuente de corriente; por esto, el teorema de Norton se utiliza más en esos casos que el teorema de Thévenin.

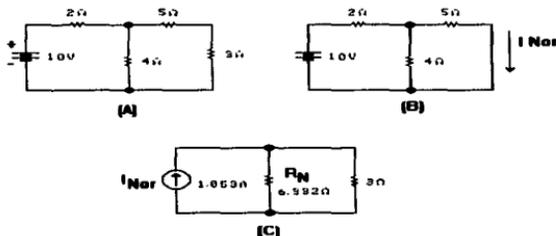
Los pasos necesarios para usar el teorema de Norton son:

- El elemento a estudiar se quita y se substituye por un alambre. La corriente en ese alambre es la corriente en cortocircuito o la corriente de Norton, I_{NOR} .
- Se calcula el valor de la corriente, I_{NOR} .
- Todas las fuentes de voltaje son cortocircuitadas y todas las fuentes de corriente se ponen en circuito abierto.

d) Ahora se calcula la resistencia equivalente del circuito, R_{NOR} . (se debe observar que R_{NOR} siempre es igual a R_{in}).

e) Queda hecha la conexión de I_{NOR} en paralelo con R_{NOR} . El elemento que se quitó antes, también está en paralelo.

El uso del teorema de Norton en esta forma escalonada se ilustra con el siguiente ejemplo.



Teorema de norton aplicado a un circuito resistivo

El interés es el resistor de 3Ω . Si se quita y se reemplaza con un alambre, resulta entonces un circuito como el de la figura (b). La corriente se puede calcular en dos pasos.

Primero, la resistencia equivalente del circuito se emplea para calcular la corriente que fluye a través de la batería:

$$R_{eq} = 2 + \frac{5 \cdot 4}{5 + 4} = 4.22\Omega$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{10V}{4.22\Omega} = 2.368A$$

La corriente que acabamos de calcular es la que circula en la resistencia de 2Ω .

Al utilizar sistema de división de corriente, se puede calcular la que circula en la resistencia de 5Ω (I_{NOR}).

$$I_{NOR} = \left(\frac{4}{4+5}\right)(2.368A) = 1.053A \dots\dots(3)$$

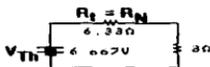
La resistencia de Norton, R_{NOR} , es la resistencia que "se ve" mirando hacia el circuito desde el lugar donde se separó originalmente el resistor de 3Ω y con el voltaje de la fuente en cortocircuito.

$$R_{NOR} = \frac{2 \cdot 4}{2 + 4} + 5 = 6.33\Omega \dots\dots\dots(4)$$

Para finalizar, la fuente de corriente de Norton queda puesta en paralelo con la resistencia de Norton. El elemento de interés también se agrega en paralelo, según se muestra en la figura (c). Este procedimiento se emplea para calcular la corriente en la resistencia de 3Ω .

$$I = \left(\frac{6.333\Omega}{3 + 6.333} \right) (1.053\text{A}) = 0.714\text{A} \dots\dots\dots(5)$$

El equivalente de Thévenin para este circuito se ve en la figura (4). La corriente en el circuito en serie de Thévenin es la corriente que circula en el resistor de 3Ω



$$I = \frac{6.667V}{3 + 6.33\Omega} = 0.714\text{A}$$

Por tanto, los dos circuitos equivalentes (o sea, equivalente al circuito complicado con que empezamos) son equivalentes entre sí. En consecuencia, escoger que teorema se debe emplear depende por entero del gusto personal.

PRACTICA
LEYES DE KIRCHHOFF
Y TEOREMA DE REDES

EQUIPO Y MATERIAL

1. Tablero N° 3 y caja de componentes.
2. Dos fuentes de tensión de c.c. reguladas.
3. Dos multímetros.
4. Una década de resistencias.

1. Leyes de Kirchhoff para voltaje y corriente

- 1.1 Arme el circuito siguiente, en el tablero N°3 del BASIC-1.

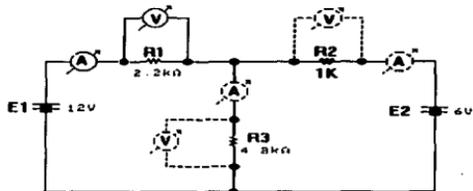


Figura 1

- 1.2. Calcule la corriente y el voltaje y anote las mediciones que se piden en la tabla 1.

Magnitud medida	Tensión medida (V)	Tensión calculada (V)	Corriente medida (mA)	Corriente calculada (mA)
R1	5.13	5.36	2.34	2.44
R2	869mV	644mV	869	644
R3	6.87	6.64	1.47	1.80

Tabla 1 : Leyes de Kirchhoff

- 1.4 Apague la fuente.

2. Teorema de superposición.

- 2.1 Sin cambiar el circuito de la figura 1 (Kirchhoff), desconecte la fuente de tensión de 6V y cortocircuite los terminales a los cuales estaba conectada la misma.
- 2.2 Mida la tensión y corriente en cada resistor. Anote los resultados en la tabla 2. Observe cuidadosamente los sentidos de las corrientes y las polaridades de las tensiones y anótelas.
- 2.3 Desconecte el cortocircuito y conecte una fuente de 6V. Desconecte la fuente de 12V y cortocircuite los terminales a los cuales estaba conectada.
- 2.4 Mida la corriente y la tensión en cada resistor. Anote los resultados en la tabla 2. Observe cuidadosamente los sentidos de las corrientes y las polaridades de las tensiones y anótelas.

Magnitud medida	Tensión medida sobre el resistor (V)				Corriente total sobre el resistor (A)				Corriente parcial a través del resistor (mA)				Corriente total a través del resistor (mA)	
	Medida		Calculada		Medida		Calculada		Medida		Calculada		Medida	Calculada
	Conectada a la Fuente de 12V	Conectada a la Fuente de 6V	Conectada a la Fuente de 12V	Conectada a la Fuente de 6V	Conectada a la Fuente de 12V	Conectada a la Fuente de 6V	Conectada a la Fuente de 12V	Conectada a la Fuente de 6V	Conectada a la Fuente de 12V	Conectada a la Fuente de 6V				
R ₁	6.4	2.7	8.84	3.60	10.3	3.48	2.9	1.2	-1.64	-1.58	1.7	-1.58		
R ₂	2.4	2.0	3.16	2.40	6.1	2.52	2.3	2.4	3.17	-2.58	0	-2.53		
R ₃	2.4	3.9	3.16	3.60	6.4	3.48	0.5	-2.41	858	943	1.4	943		

Tabla 2: Solución de redes mediante el principio de superposición

3. Solución de redes mediante el Teorema de Thévenin

- 3.1 Arme el circuito que se muestra a continuación sin conectar el resistor R₃ que sirve como resistor de carga

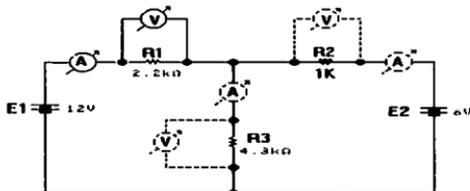


Figura 2

- 3a. Mida el voltaje correspondiente al resistor R_3 puntos (19 y 20). Cuidando la polarización. Anote el valor obtenido en la tabla 1.
- 3b. Desconecte las fuentes y ahora en su lugar ponga cortocircuitos.
- 3c. Mida la resistencia entre los terminales correspondientes al resistor R_3 desconectado y anote el resultado en la tabla 3.

Tensión calculada (V)		Resistencia equivalente (Ω)		Tensión en la carga (V)		Corriente en la carga (mA)	
medida	calculada	medida	calculada	medida	calculada	medida	calculada
8.4	2.45	4.5	4.3	3.8	3.55	0.8	830 μ

Tabla 3. Solución de redes mediante el teorema de Thévenin.

Se calcula con la ecuación siguiente:

$$E_{eq} = E_1 - VR_1 = EE_1 - (E_1 - E_2) \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V$$

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \text{-----} \Omega$$

$$I = \frac{E_{eq}}{R_{eq} + R_L} = \text{-----} \text{ mA}$$

- 3.4 Conecte el circuito siguiente. En lugar de R_1 conecte una década de resistencias



Figura 3

- 3.4 Ajuste la fuente de tensión E_{eq} al valor obtenido en el párrafo 3a.

3.5 Ajuste la década de resistencias al valor obtenido en el párrafo 3c.

3.6 Mida la tensión y la corriente de la carga R_3 . Anote los resultados en la tabla 3.

4. Solución de redes mediante el Teorema de Norton.

4.1 Arme el siguiente circuito. Ahora conectando un cortocircuito en lugar de R_3

4.2 Mida la corriente a través del cortocircuito en R_3 . Tomando en cuenta un rango apropiado en el amperímetro para no dañarlo. Anote sus resultados en la tabla.

Fuente de corriente equivalente (mA)		Resistencia equivalente (Ω)		Tensión en la carga (V)		Corriente en la carga (mA)	
medida	calculada	medida	calculada	medida	calculada	medida	calculada
5	5.38	3.1 K	3.2	12.03	13.2	5	5.23

Tabla 4. Solución de redes mediante el teorema de Norton.

4.3 Arme el circuito de la figura 4 en el tablero, donde R_3 sigue siendo el resistor de carga.

4.4 Cortocircuite los terminales de la fuente de tensión del lado derecho (con la fuente desconectada). Conecte una década de resistencia en R_3 .

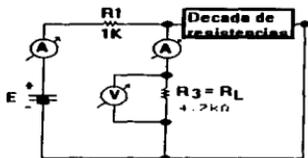


Figura 4

Circuito equivalente

4.5 Ajuste la década de resistencias al valor obtenido en el inciso 3c.

4.6 Ajuste la tensión E, de manera tal que el amperímetro del lado izquierdo indique la corriente obtenida en el inciso 4.2.

4.7 Mida la tensión y la corriente de la carga. Anote los resultados en la tabla 4.

Se terminó la práctica. Apague las fuentes de potencia y entregue el equipo.

CUESTIONARIO.

1. ¿Cuando es preferible el Método de superposición al de Thévenin y al de Norton?
¿Por que?
2. Enuncie el principio de superposición.
3. ¿Qué simplifica el teorema de Thévenin?

CONCLUSIONES

FUENTES DE TENSION Y MAXIMA TRANSFERENCIA DE POTENCIA

OBJETIVOS:

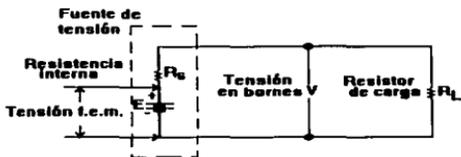
1. El alumno conocerá los componentes prácticos de la fuente de tensión.
2. El alumno analizará la dependencia de la tensión en los bornes en función de la carga
3. Se comprobarán las características de la fuente de tensión constante.
4. Se comprobarán las características de la fuente de corriente constante.
5. Estudiará las condiciones de máxima transferencia de potencia a la carga.
6. Comprenderá el concepto de rendimiento y los métodos para su cálculo.

INTRODUCCION.

La fuente de tensión real.

Un elemento de circuito que pueda proporcionar una diferencia de potencial constante ϵ entre dos puntos (independientemente de la corriente) se llama fuerza electromotriz (FEM), su unidad es el volt (V).

Muchas de las fuentes de fem ϵ prácticas (tales como las baterías químicas, eléctricas (generadores) y electrónicas (rectificadores, fuentes reguladoras de potencia, etc.). Pueden ser representadas por un circuito equivalente (figura 1). Las cuales presentan una resistencia interna R_s , su fuerza electromotriz (FEM) denominada E y su tensión en bornes, denominada V . Donde la FEM y la resistencia interna R_s , no pueden ser separadas la una de la otra y no hay acceso físico a ellas. Sus valores pueden ser identificados solamente mediante mediciones. La tensión en los bornes de la fuente, es la tensión que hay entre sus bornes de salida. Esta tensión, no depende solamente de las características de la fuente sino que depende también del circuito externo conectado a la fuente o, más precisamente, de la corriente que fluye de la fuente, por lo tanto, la tensión en los bornes es menor que la FEM, mientras circula corriente en el circuito.



Circuito equivalente de un fuente de tensión

A fin de encontrar la FEM, se debe medir la tensión en los bornes con la corriente de la fuente igual a cero. Donde la FEM debe ser medida con un voltímetro de resistencia interna muy elevada comparada con la resistencia interna de la fuente.

Se puede determinar la resistencia interna de la fuente conectándola a una resistencia de carga variable. Se mide la tensión en los bornes mientras se varía la carga; la carga correspondiente a una tensión en los bornes será igual a la mitad de la FEM, la cual es la resistencia interna de la fuente (que es la que se desea determinar).

La tensión en los bornes varía con la carga debido a la presencia, de la resistencia interna de la fuente de tensión. Esto lo podemos representar matemáticamente y gráficamente en la forma siguiente:

$$V = E - I \cdot R_s$$

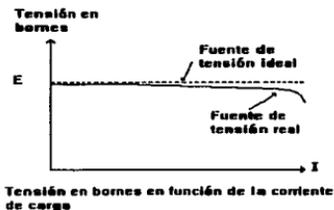
Donde: V es la tensión en los bornes

E es la FEM, en voltios.

I es la corriente suministrada por la fuente, en amperios.

R_s es la resistencia interna de la fuente en ohmios.

La gráfica es:



De la gráfica se obtienen las siguientes conclusiones:

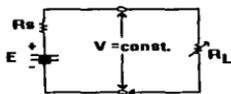
Una fuente ideal de tensión es una en la cual la tensión en los bornes es constante e independiente de la corriente de carga. A fin de que se cumpla esta condición, la resistencia interna de la fuente debe ser igual a cero. En este caso, la tensión en los bornes es constante e igual en valor a la FEM.

B La tensión en los bornes de una fuente de tensión real depende de la corriente de la misma (debido a la caída de tensión en la resistencia interna) y disminuye cuando se aumenta la corriente.

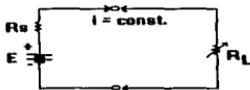
Las fuentes de tensión tales como los generadores o fuentes de potencia electrónicas sobresalen por tener una resistencia interna fija la cual generalmente es baja. Cuanto mejor es la calidad de la fuente, menor es su resistencia interna. En las fuentes electrónicas modernas, la resistencia interna es del orden del milésimo de ohm.

FUENTE DE TENSION CONSTANTE Y FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE.

Una fuente ideal de tensión mantiene constante la tensión en los bornes para toda la corriente que fluye en el circuito externo. La condición para obtener una fuente ideal de tensión es que su resistencia interna sea nula. Por otra parte, una fuente de tensión constante tiene una tensión en los bornes constante solamente para ciertas condiciones del circuito, las que se mencionan a continuación.



Fuente de tensión constante



Fuente de corriente constante

Analizando la figura , en la que se muestra el circuito de una fuente de tensión. Donde $E = 10 \text{ V}$, $R_s = 0.1 \Omega$ y $R_L = 10 \text{ K}\Omega$.

En este caso, la tensión en los bornes es:

$$= E - I \cdot R_s = 10 - \frac{10}{0.1 + 10.00} \cdot 0.1 \cong 10 \text{ V}$$

Cambiando la resistencia de carga por $R_L = 9 \text{ K}\Omega$. La nueva tensión en los bornes será:

$$= 10 - \frac{10}{0.1 + 9.000} \cdot 0.1 \cong 10 \text{ V}.$$

Es claro que en este ejemplo la tensión en los bornes permanece casi constante, a pesar del hecho de haber cambiado la resistencia de carga en un 10 %. Esto es debido a que la resistencia interna R_s es muy baja y por lo tanto despreciable en comparación con la resistencia de carga.

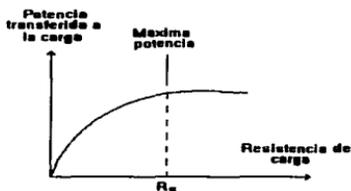
Es así que llamaremos a una fuente de tensión "constante" si su resistencia interna es muy baja comparada con la resistencia de carga sobre todo el rango de variación de la carga.

Podemos definir de manera similar, una fuente de corriente constante: es una fuente (en realidad, de tensión) cuya resistencia interna es muy alta comparada con la resistencia de carga. Por lo tanto, siempre que esta relación se mantenga, la corriente está determinada por la resistencia interna de la fuente. Es así que en el circuito de este tipo, un cambio en la carga, casi no produce un cambio en la corriente, por lo que en realidad la fuente suministra una corriente constante (figura anterior).

MAXIMA TRANSFERENCIA DE POTENCIA

En muchos casos se desea una máxima transferencia de potencia de la fuente a la carga. Supongamos una fuente con cierto valor de FEM y de resistencia interna. Variemos la resistencia de carga y controlemos la variación de la corriente, tensión y disipación de potencia en la carga. Es fácil demostrar que cuanto menor es la resistencia de carga, mayor será la corriente que circula por ella y menor será la caída de tensión. Por otra parte es difícil analizar lógicamente la potencia transferida a la carga en función de la resistencia de carga.

Podemos deducir que se transfiere máxima potencia a la carga cuando la resistencia de la carga es igual a la resistencia interna de la fuente. En caso de que haya diferencia entre las resistencias de la carga y de la fuente, la potencia transferida a la carga será menor que la potencia máxima. La gráfica siguiente nos demuestra esta variación.



Potencia transferida a la carga en función de la resistencia de carga

La potencia transferida a la carga está relacionada con el concepto de rendimiento. El rendimiento η es la relación entre la potencia desarrollada en la carga y la potencia suministrada por la fuente:

$$\eta(\%) = \frac{P_L}{P_S} \cdot 100$$

donde

η . es. el. rendimiento. porcentual

P_L . es. la. potencia. desarrollado. en. la. carga. (en. vatios)

P_S es. la. potencia. entregada. por. la. fuente. (en. vatios)

De la anterior ecuación se deduce que el rendimiento es siempre menor que 100%. Esto es debido a la potencia disipada en la resistencia interna de la fuente:

$$\eta = \frac{P_L}{P_S} = \frac{I^2 \cdot R_L}{I^2 \cdot R_T} = \frac{R_L}{R_T} = \frac{R_L}{R_L + R_S}$$

El rendimiento en el caso de máxima transferencia de potencia no es el máximo supuesto, 100 %, sino solamente 50 %. Para comprobar esto substituiremos la igualdad $R_L = R_S$ en la ecuación anterior:

$$\eta = \frac{R_L}{R_L + R_S} + \frac{R_L}{2R_L} = 0.5$$

PRACTICA
FUENTES DE TENSION Y MAXIMA
TRANSFERENCIA DE POTENCIA

EQUIPO Y MATERIAL:

1. Tablero N°1 y caja de componentes del BASIC-1.
2. Fuente de tensión de c.c. regulada, variable de 0 - 36 V.
3. Multímetro.
4. Década de resistencias.

DESARROLLO

1. Componentes de la fuente de tensión (FEM y tensión en bornes).

- 1.1 Arme el circuito de la figura 1 sobre el tablero N°3 del BASIC-1.

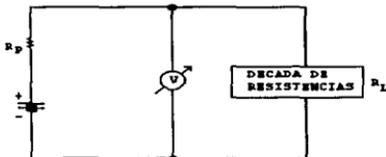


Figura 1: Identificación de los componentes de la fuente de tensión

- 1.2 La resistencia de la fuente está representada por R_p la cual debe ser conectada en el tablero N°3.
- 1.3 Conecte la década de resistencias a los terminales marcados con R_L en el tablero. Denominaremos R_L a ésta década; la cual representa la carga. Cortocircuite los puntos 7 y 8, 11 y 12, 15 y 16.

- 1.4 Mida la tensión en los bornes con la década desconectada. Anote el resultado en la tabla 1.

Resistencia interna (Ω)	Tensión en bornes (V)
1 K	2.2

2. La fuente de tensión

- 2.1 Varie, la resistencia de la década del circuito anterior, según los valores de la tabla 2. Mida la tensión de salida en cada caso. Anote los resultados en la tabla 2.

Magnitud medida Resistencia de carga (Ω)	Tensión de salida (V)	Corriente de carga Calculada (mA)*
470	3.84	8.16
680	4.86	7.14
1000	6.0	6.0
1500	7.20	4.80
2200	8.24	3.75

Tabla 2: Corriente y tensión de carga en función de la resistencia de carga.

* Se calcula con la Ley de Ohm.

3. La fuente como fuente de tensión constante

- 3.1 Varie, la resistencia de la década del circuito de la figura 1, según los valores de la tabla 3. Mida la tensión de la carga en cada caso. Anote los resultados en la tabla 3.

Magnitud medida Resistencia de carga (Ω)	Tensión de salida medida (V)	Tensión de salida calculada (V)
15	0.03	0.0285
22	0.04	0.048
33	0.06	0.0627
47	0.09	0.0893
68	0.13	0.1292

Tabla 3: La fuente como fuente de tensión constante.

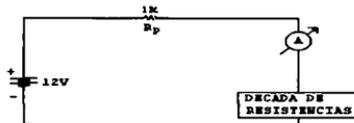
NOTA : La corriente es constante, para este caso es 1.9 mA

* se calcula por medio de la ecuación

$$V = I R$$

4. La fuente como fuente de corriente constante.

4.1 Arme el circuito de la figura 2, sobre el tablero N°3 del BASIC-1. Donde R_p representa la resistencia interna. Conecte la década, la cual representa el resistor de carga R_L , a los terminales R_1 .



La fuente como fuente de corriente constante

4.2 Varie la década de resistencias según los valores de la tabla 4. Mida la corriente en cada caso. Anote los resultados en la tabla 4.

Magnitud medida Resistencia de carga (K Ω)	Corriente de carga medida (mA)	Corriente de carga calculada (mA)*
15	11.8	11.82
22	11.7	11.73
33	11.6	11.62
47	11.5	11.46
68	11.2	11.23

Tabla 4: La fuente como fuente de corriente constante.

* Se calcula por medio de la ecuación

$$I = \frac{V_{fuente}}{R_p + R_{decada}}$$

5. Máxima transferencia de potencia y rendimiento.

5.1 Arme el circuito de la figura 1.

5.2 Varie la resistencia de la década según los valores de la tabla 5. Mida la tensión de la carga en cada caso. Anote los resultados en la tabla 5.

Magnitud medida Resistencia de la década (K Ω)	Tensión de la carga (V)	Potencia de la carga (mW)**	Rendimiento* (%). Calcular
0.100	1.09	11.8	1.08
0.150	1.57	16.3	1.03
0.220	2.16	21.2	0.98
0.330	2.98	26.8	0.89
0.470	3.84	31.3	0.81
0.680	4.86	34.2	0.70
1.00	6.00	36.0	0.6
1.50	7.20	34.5	0.47
2.20	8.24	30.9	0.37
3.30	9.20	25.6	0.27
4.70	9.89	20.7	0.20
6.80	10.4	16.0	0.15
10.00	10.9	11.8	0.10

Tabla 5: Máxima transferencia de potencia y rendimiento.

Se calculan con las ecuaciones

$$* \quad \eta(\%) = \frac{P_L}{P_i} \cdot 100$$

$$** \quad P = V I$$

Se ha concluido la practica . Apague la fuente de tensión. Cheque el equipo y devuélvalo.

NOTA:

Los cálculos que se piden en las tablas se efectuarán por medio de la teoría dada, en las cuales se presentan las ecuaciones para obtener los resultados. Entregar la hoja de cálculos.

CUESTIONARIO.

1. ¿Qué es la FEM y que es tensión de bornes? y ¿Qué relación hay entre ellos?
2. ¿Qué es una fuente de tensión constante, ideal y práctica?
3. ¿Qué es una fuente de corriente constante, ideal y práctica?
4. ¿Cuando el rendimiento es más importante que la máxima transferencia de potencia?
Justifique se respuesta.

CONCLUSIONES.

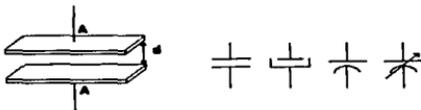
CAPACITORES

OBJETIVO.

1. El alumno conocerá la construcción del condensador y sus propiedades
2. El alumno analizará el comportamiento del condensador en un proceso de carga y descarga.
3. El alumno realizará pruebas con redes de condensadores en serie y paralelo
4. El alumno medirá la constante de tiempo en el circuito RC a partir del concepto de carga y descarga del capacitor.

INTRODUCCION.

Un capacitor (condensador) es un dispositivo para almacenar carga eléctrica, que consta de dos objetos conductores colocados a una distancia corta entre si, sin entrar en contacto. Un capacitor típico se compone de un par de placas paralelas separadas por una pequeña distancia (d) figura 1, con frecuencia las dos placas se enrollan en forma de un cilindro y entre ellos se pone papel u otro aislador.



Diseño de un condensador sencillo y simbología

Supóngase que se aplica un voltaje a un capacitor, conectándolo por ejemplo a una batería, el capacitor se carga rápidamente. Una placa adquiere una carga negativa y la otra una cantidad igual de carga positiva. Para un capacitor determinado, se ha encontrado que la cantidad de carga Q que adquiere cada una de las placas es proporcional a la diferencia de potencial V_{bc} :

$$Q = CV_{bc} \quad (1)$$

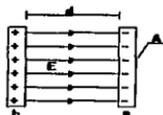
La constante de proporcionalidad, C , en la relación anterior recibe el nombre de capacitancia del capacitor. Las unidades de la capacitancia son coulombs por volt, unidad que se denomina farad (F). La mayor parte de los capacitores tienen capacitancias en el intervalo de 1pF (picofarad) hasta 1 μ F (microfarad = 10⁻⁶F).

DETERMINACION DE LA CAPACITANCIA.

La capacitancia C es una constante para un capacitor específico. El valor de la capacitancia C depende del tamaño forma y posición relativa de los dos conductores, así como del material que los separa.

La capacitancia de un capacitor específico puede determinarse en forma experimental directamente de la ecuación (1), midiendo la carga Q en cualquiera de los conductores para una diferencia de potencial V_{bc} determinada.

Para los capacitores cuya geometría es simple, podemos determinar C en forma analítica. Para determinarlo, C para un capacitor de placas paralelas, ver figura 2. Cada una de las placas tiene una área A y están separadas una distancia d . Suponiendo que d es pequeña si se compara con las dimensiones de cada placa, por lo que el campo eléctrico E es uniforme entre ellas y podemos ignorar su distorsión (líneas de E no rectas) en los bordes.



Capacitor de placas paralelas cuyas placas tienen una área A

Si el campo eléctrico entre dos placas paralelas muy cercanas tiene magnitud $E = \sigma / \epsilon_0$ y que su dirección es perpendicular a las placas. Como σ es la carga por unidad de área

$$E = \frac{Q}{A}$$

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$$

Esta expresión relaciona Q con V_{ba} y partiendo de ella podemos obtener la capacitancia C en términos de la geometría de las placas

$$C = \frac{Q}{V_{ba}} = \epsilon_0 \frac{A}{d} [\text{capacitor de placas paralelas}] \dots\dots (2)$$

Esta relación tiene sentido intuitivamente; un área A mayor significa que para un número determinado de cargas, habrá menor repulsión entre ellas (estarían aún más separadas), de modo que esperamos que pueda mantenerse más carga en cada una de las placas; así mismo, una mayor separación d significa que la carga en cada placa ejerce una fuerza atractiva menor sobre la otra placa, de manera que se extrae menos carga de una batería y la capacitancia es menor.

Nótese que la ecuación (2), el valor de C no depende de Q o de V, por lo que se predice que Q será proporcional a V.

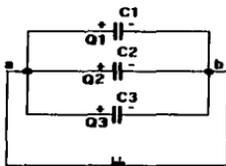
CAPACITORES EN SERIE Y PARALELO.

Los capacitores pueden conectarse entre si en diversas formas. Las formas básicas son las conexiones en serie y paralelo figura (3). Consideraremos en primer lugar una conexión en paralelo como la que se muestra en la figura (3a). Si una batería o voltaje V se conecta en los puntos a y b, este voltaje existe entre cada uno de los capacitores; esto es, como las placas del lado izquierdo de todos los capacitores se conectan mediante conductores, todos ellos alcanzan el mismo potencial cuando se conectan en la batería, lo mismo puede afirmarse para las placas del lado derecho. Cada capacitor adquiere una carga determinada por $Q_1 = C_1 V$, $Q_2 = C_2 V$ y $Q_3 = C_3 V$. La carga total Q que debe salir de la batería es entonces

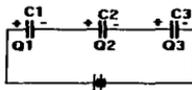
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_1 V + C_2 V + C_3 V$$

Un sólo capacitor que contenga la misma carga Q el mismo potencia V tendría una capacitancia C dada por

$$Q = CV.$$



a) $C = C_1 + C_2 + C_3$
paralelo



b) $1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3$
serie

En consecuencia, tenemos que

$$CV = C_1 V + C_2 V + C_3 V$$

o bien

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \text{ [capacitores en paralelo]} \quad (3)$$

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

El efecto neto de conectar capacitores en paralelo es, por consiguiente, incrementar la capacitancia. esto es precisamente lo que debemos esperar porque estamos, en esencia, incrementando el área de las placas para que la carga se acumule en ella, ecuación (2).

Si los capacitores se conectan en serie figura (3b), fluirá una carga +Q desde la batería hasta una de las placas de C_1 y -Q fluirá a una placa de C_3 . Las regiones A y B entre los capacitores eran u en un principio neutros; por lo que la carga neta debe seguir siendo cero.

La carga +Q en la placa izquierda de C_1 atrae una carga -Q hacia la placa opuesta; como la región A debe tener una carga neta igual a cero, habrá en consecuencia una carga +Q en la placa izquierda de C_2 . Un sólo capacitor que podría substituir a estos tres en serie sin afectar el circuito tendría una capacitancia C tal que

$$Q = C V$$

Ahora bien, el voltaje V entre los tres capacitores en serie debe ser igual a la suma de los voltajes correspondientes a cada uno de ellos:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

Tenemos también que $Q = C_1 V_1$, $Q = C_2 V_2$, $Q = C_3 V_3$ de manera que sustituimos V_1 , V_2 , V_3 en la última ecuación y obtenemos

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

O, bien

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \text{ [capacitores.en.serie]}$$

ENERGIA ALMACENADA EN UN CAPACITOR CARGADO

El proceso de cargar un capacitor comprende la transferencia de carga eléctrica, de una placa que está a un potencial más bajo hacia otra que está a un potencial más alto. Por tanto, se ve que debe realizarse trabajo para cargar un capacitor. Piense en un capacitor de placas paralelas inicialmente descargado, de modo que la diferencia de potencial inicial a través de tales placas es cero. Suponga ahora que se conecta el capacitor a una batería y se desarrolla una carga máxima Q. Se supondrá que el capacitor se carga lentamente, de modo que el problema puede considerarse como un sistema electrostático. La diferencia de potencial inicial es cero, la diferencia de potencial promedio durante el proceso de carga es $V/2 = Q/2C$. De aquí podemos deducir que el trabajo necesario para cargar el capacitor es $QV/2 = Q^2/2C$. Desarrollando la demostración se presenta más detalladamente como

sigue. Suponga que (q) es la carga en el capacitor, en algún instante durante el proceso de carga. En ese mismo instante la diferencia de potencial a través del capacitor es $V = q/C$.

El trabajo necesario para transferir un incremento de carga dq , de la placa de carga $-q$ a la carga $+q$ (la cual está al potencial más elevado) es

$$dW = V dq = q/C dq$$

En consecuencia, el trabajo total requerido para cargar el capacitor desde $q = 0$ hasta una carga final $q = Q$ es

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \dots \dots \dots (5)$$

Pero el trabajo realizado al cargar el capacitor puede considerarse como la energía potencial U almacenada en el mismo. Si se aplica $Q = CV$, la energía electrostática almacenada en un capacitor cargado, puede expresarse, de la siguiente manera

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 \dots \dots \dots (6)$$

Este resultado se aplica a cualquier capacitor, independientemente de su geometría. La energía almacenada en un capacitor puede considerarse como si estuviera almacenada en el campo eléctrico creado entre las placas a medida que aquél se carga. Esta descripción resulta razonable en virtud del hecho de que el campo eléctrico es proporcional a la carga en el capacitor. Para un capacitor de placas paralelas, la diferencia de potencial está relacionada con el campo eléctrico a través de la expresión $V = Ed$. Además, su capacitancia es $C = \epsilon_0 \cdot A / d$. Si se sustituye esta expresión en la ecuación (2) se tiene

$$U = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{2d} E^2 d^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 d E^2 \dots \dots \dots (7)$$

Dado que el volumen de un capacitor de placas paralelas es Ad , la energía por unidad de volumen U , conocida como densidad de energía; es

$$U = \frac{U}{Ad} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \dots \dots \dots (8)$$

Aún cuando la ecuación (8) se dedujo para un capacitor de placas paralelas, la expresión es válida en general; esto es, la densidad de energía en cualquier campo electrostático es proporcional al cuadrado de la intensidad del campo eléctrico en un punto dado.

PRACTICA
CAPACITORES

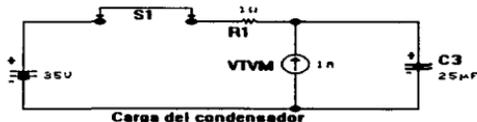
MATERIAL Y EQUIPO.

1. Tablero N° 4 del BASIC 1 y caja de componentes.
2. Fuente de tensión de c.c regulada, variable de 0 - 30 V.
3. Voltímetro electrónico.
4. Multímetro.

DESARROLLO.

1. Carga del Capacitor.

- 1.1 Conecte el circuito de la figura 1, en el circuito 1 del tablero N° 4.



- 1.2 Calcule la constante de tiempo en el circuito anterior.

$$\tau = R_1 \cdot C_3 = \underline{11.75} \text{ seg.}$$

- 1.3 Con un cronómetro controle el tiempo de cargado.
En los terminales 5 y 6 conectamos un cortocircuito y mida la tensión del condensador. Anote el resultado en la Tabla 1.
- 1.4 Desconecte el cortocircuito (S1) y cortocircuite el condensador (C₃) mediante un resistor de R 100Ω, durante un minuto.

1.5 Repita los incisos (3 y 4) para los múltiplos de la constante de tiempo anotados en la tabla 1. Anote los resultados en la misma tabla.

Magnitud medida Número de constante de tiempo (τ)	Tiempo de carga (seg) (*)	Tensión medida (V)	Tensión calculada (V) (**)	Corriente calculada (mA) (***)
0.5	5.858	12.3	13.77	0.079
1.0	11.75	20.5	22.12	0.076
1.5	17.625	24.8	27.19	0.069
2.0	23.5	29.4	30.26	0.065
2.5	29.375	30.3	32.12	0.060
3.0	35.25	31.4	33.25	0.058
3.5	41.125	32.4	33.94	0.054
4.0	47.00	33.00	34.5	0.048
4.5	52.87	33.2	33.2	0.046
5.0	58.75	33.4	33.4	0.0420

Tabla 1. Carga de un capacitor.

(*) se calcula por medio de la ecuación

$$\tau = R \cdot C$$

(**) se calcula por medio de la ecuación

$$e = E\varepsilon \frac{-t}{RC}$$

(***) se calcula por

$$i = I_{\text{máx}} e^{-\frac{t}{RC}}$$

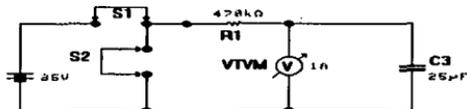
donde

$$\varepsilon = 2.718$$

$$t = \tau = RC$$

2. Descarga del Capacitor.

- 2.1 Arme el circuito de la figura 2. Utilice cortocircuitos en lugar de los interruptores S1 y S2.



Descarga del condensador

- 2.2 Cortocircuite las terminales (5 y 6) durante un minuto. En este tiempo el condensador C_3 se carga. Dejando abierto el interruptor S2
- 2.3 Cortocircuite las terminales (7 y 8) durante un periodo de tiempo igual a 0.5 veces la constante de tiempo. Calculada anteriormente, inciso 1.2. Dejando abierto el interruptor S1.
- 2.4 Repita los incisos 2.2 y 2.3 para los múltiplos de la constante de tiempo de la tabla 2 y anote los resultados en la misma.

Magnitud medida Número constante tiempo (τ)	Tiempo de de descarga * (seg)	Tensión medida (V)	Tensión calculada ** (V)	Corriente calculada ** (A)
0.5	5.875	18.5	18.65	1.35 mA
1.0	11.75	12.7	13.2	1.9 mA
1.5	17.625	7.3	7.96	3.4 mA
2.0	23.5	4.8	5.31	5.2 mA
2.5	29.375	3.3	3.82	7.5 mA
3.0	35.25	1.9	2.16	1.3 mA
3.5	41.125	1.4	1.84	1.78 mA
4.0	47.00	0.9	1.07	2.77 mA
4.5	52.875	0.6	0.876	4.16 mA
5.0	58.25	0.4	0.49	6.25 mA

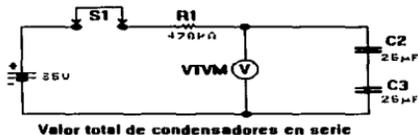
Tabla 2. Descarga de un condensador

* Se tomarán los valores de la tabla 1.

** Se harán los cálculos necesarios y se anotaran en la tabla 2.

3. Capacitores en serie.

3.1 Arme el circuito de la figura 3 en el tablero.



3.2. Cortocircuite las terminales 5 y 6 y mida el tiempo necesario para cargar los condensadores a 22 volts, este tiempo es igual a la constante de tiempo. Anote el resultado en la tabla 3.

C ₁ (μF)	Valor calculado (μF) *	Valor total de la capacidad calculada (μF)	Constante de tiempo (τ) (seg)	Valor de la capacidad medida (μF) *
25	25	12.5	8	24.7

Tabla 3

* se tendrá que calcular para anotar el resultado.

3.3 Calcule el valor de la capacidad de los capacitores , tanto medido como calculado, y anote los valores en la siguiente tabla.

Circuito serie.

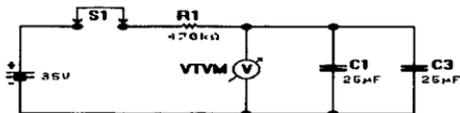
tabla	Valor calculado *	Valor medido
Circuito serie	25	24.7

* se calcula por medio de la ecuación

$$C_r = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

4. Capacitores en paralelo.

4.1 Arme el circuito en el tablero. Conecte un cortocircuito entre las terminales 15 y 16.



Capacidad total de los condensadores en paralelo

4.2 Cierre el interruptor S1 y mida el tiempo necesario para cargar los condensadores. Anote los resultados en la tabla

C ₁ (μF)	C ₂ (μF)	Valor total de la capacidad calculada (μF)	Constante de tiempo (seg)	Valor total de la capacidad medida (μF)
25	25	50	46.5	51.7

Tabla: Circuito paralelo

4.3 Calcule el voltaje en el capacitor C₁.*

$$V_1 C_1 = \underline{17.5} \text{ V}$$

* se calcula con la siguiente ecuación

$$Q_T = E (C_1 + C_2)$$

$$V_1 = Q_T / C_1$$

4.4 Calcule el voltaje en el capacitor C₂. (Por medio de la ecuación anterior)

$$V_2 C_2 = \underline{17.5} \text{ V}$$

a) ¿La suma de V₁ y V₂ es igual al voltaje aplicado?. Explique

Si ya que la suma de los voltaje en los capacitores es:

$$V_T = V_1 + V_2 = 17.5 + 17.5 = 35 \text{ V}$$

b) Por efecto en la carga en el capacitor ¿Puede ocurrir que el voltaje en cualquiera de los capacitores sea mayor o menor que el de la fuente?. Si No ¿Por qué?

CONCLUSIONES.

ELECTROMAGNETISMO

OBJETIVO.

- 1.-El alumno conocerá las leyes básicas del magnetismo y electromagnetismo.
- 2.-El alumno comprobará la relación de las bobinas en circuitos de c.c.
- 3.-El alumno se familiarizará con el relé y varios de ellos.

INTRODUCCION

MAGNETISMO

Se denomina magnetismo a la propiedad que presentan determinadas sustancias, especialmente algunos minerales de hierro cobalto y níquel de atraer ciertos cuerpos tales como limaduras de hierro. Entre los cuerpos que poseen esta propiedad se distinguen la magnetita, mineral de hierro cuya composición es Fe_3O_4 (óxido ferroso férrico) a las regiones donde parece concentrarse el magnetismo de los cuerpos magnéticos se les llama polos magnéticos. A su vez, los cuerpos que poseen polos magnéticos reciben el nombre de imanes.

Si los polos magnéticos se encuentran en los extremos de un imán recto y si dividimos el imán por su centro entonces habremos aislado un polo N y un polo S.

Entre los polos magnéticos se ejercen fuerzas atractivas y fuerzas repulsivas, si al polo N de un imán se le aproxima el polo N de otro imán entonces resultara una repulsión entre los mismos, pero si al mismo polo N se le aproxima un polo S hay una atracción entre ellos. Del mismo modo, si al polo S de un imán acercamos el polo S de otro imán, se observa una repulsión. Estos resultados pueden enunciarse en la siguiente forma:

"Los polos iguales se rechazan y polos diferentes se atraen es decir, si un polo magnético se aproxima a otro polo, se ejercen entre ellos fuerzas iguales y contrarias que son atractivas o repulsivas, según que los polos sean de naturaleza diferente o igual".

CAMPOS MAGNETICOS.

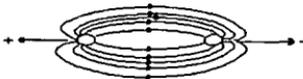
Alrededor de todo imán, hay un campo de fuerzas, el cual es más fuerte en la inmediata vecindad del imán y se debilita progresivamente con la distancia. a este campo se le denomina magnético y se le representa por líneas de fuerza que salen del polo norte y entran al polo sur del imán. Las líneas de fuerza son consideradas como si estuvieran en estado de movimiento constante y son denominadas *flujo*.

La figura siguiente representa el campo magnético en un imán recto alrededor de él. La intensidad del campo magnético se mide en unidades llamadas oersteds.



Campo magnético en un imán recto

El término densidad de flujo se refiere al número de líneas de flujo por área de unidad. El número total de líneas de flujo que emanan de un imán, dividido por el área en que existe el flujo, da la densidad de flujo en líneas por centímetro cuadrado o gauss (figura siguiente).



Líneas de flujo que emana de un imán

Figura 2.

La dirección del campo magnético puede ser determinado por la regla de la mano derecha.

Regla de la mano derecha. La relación entre el sentido del campo y el sentido de la corriente puede describirse con la ayuda de la "regla" de la mano derecha: si el pulgar apunta en el sentido convencional de la corriente, los otros dedos de la mano derecha indican la dirección y el sentido de B (Figura anexa). El sentido convencional de la corriente es opuesto al sentido en el que se mueven los electrones en el conductor.

Cuando el alambre conductor de corriente está en forma de bobina se combinan los campos parciales de cada espira produciendo un campo magnético más fuerte que el de los campos parciales. La ecuación 1 representa matemáticamente la intensidad del campo magnético

$$H = \frac{I \cdot N}{l} \quad (1)$$

donde: H es la intensidad de campo, en $\frac{A \cdot v}{m}$

I es la corriente, en amperios.

N es el número de espiras en la bobina.

l es la longitud de la bobina, en metros.

Se puede determinar la polaridad del campo magnético en una bobina mediante la regla de la mano derecha, aplicándola de manera ligeramente diferente de la que conocemos.

Si se toma la bobina con los dedos de la mano derecha en el sentido de la corriente, el pulgar señala hacia el polo norte del campo magnético.

La intensidad del campo magnético inducido depende considerablemente del tipo de material en el cual se ha arrollado la bobina. Si este material (denominado comúnmente núcleo) es ferromagnético, el campo magnético se determina de acuerdo a la ecuación 2:

$$B = \mu \cdot H = \mu_0 \mu_r H \dots \dots \dots (2)$$

donde: B es la densidad de flujo magnético, en webers/m².

μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío, en voltios segundos sobre amperios metros.

μ_r es la permeabilidad relativa de un material dado, referida a la de vacío.

H es la intensidad de campo magnético en webers.

La figura siguiente representa la estructura y el símbolo gráfico de una bobina.



Figura 3

Las inductancias se construyen devanando alambre en bobinas de varias configuraciones. Esto restringe el campo magnético al espacio físico alrededor de la inductancia y crea un efecto inductivo mayor por unidad de volumen del elemento.

Los principales factores que determinan la magnitud de la inductancia de una bobina son:

1. El número de vueltas de la bobina.
2. El tipo y forma del material del núcleo y en una extensión menor.
3. El diámetro y espaciamiento de las vueltas.

Para inductancias con una forma como las mostradas el valor aproximado de la inductancia se puede calcular a partir de la ecuación:

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 S}{l} \dots \dots \dots (3)$$

donde: L es la inductancia en henrios.

μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío, en voltios segundo sobre ampermetro

μ_r es el coeficiente de la permeabilidad relativa.

N es el número de espiras de la bobina.

S es la superficie de la sección, en metros cuadrados.

l es la longitud de la bobina, en metros.

HISTERESIS

Las bobinas normalmente se devanan alrededor de núcleos de material magnético para incrementar el valor de la inductancia.

Cuando una corriente se inicia en una bobina con núcleo magnético, B y H comienzan de cero. A medida que *i* se incrementa, B y H también incrementan su valor de acuerdo a una curva (figura 5). Si, después de incrementar H desde cero hasta un cierto valor H_1 , se reduce de nuevo H hasta cero (reduciendo la corriente a cero), existirá todavía algún flujo magnético que permanece en el material. Este efecto magnético remanente (*remanencia*) ocurre porque algunos de los pequeños dominios dentro del material permanecen orientados y continúan originando un débil flujo magnético. El hecho de que un flujo magnético permanezca cuando H se vuelve a cero se puede expresar diciendo que B se atrasa a H. Como consecuencia, este efecto de atrasamiento se llama *histeresis* (atrasar).



Figura 4

Curva de histéresis

La curva de histéresis muestra dos fenómenos importantes:

1. El aumento de la intensidad del campo magnético produce saturación del núcleo. Es decir que el aumento de la intensidad de campo por arriba de un cierto valor no produce aumento significativo en la densidad del flujo magnético.
2. Al cesar la corriente en la bobina, el núcleo no vuelve a su estado anterior (desmagnetizado) sino que queda cierto "magnetismo remanente".

COMPORTAMIENTO DE LA BOBINA EN UN CIRCUITO DE C.C.

El principio del comportamiento de una bobina en un circuito de c.c. está dada por la Ley de Lenz que establece que cuando hay una variación de corriente en una bobina se induce una tensión que se opone a la causa que lo produce.

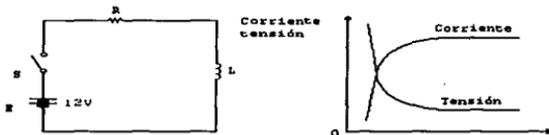


Figura 5

Circuito resistor-bobina y la variación de la corriente y tensión en función del tiempo

Las expresiones matemáticas que describen a la variación de la corriente y la tensión en función del tiempo están dadas en las ecuaciones siguientes:

$$i = \frac{E}{R} \{1 - e^{-t/\tau}\} \dots\dots\dots(4 \text{ y } 5)$$
$$e = Ee^{-t/\tau}$$

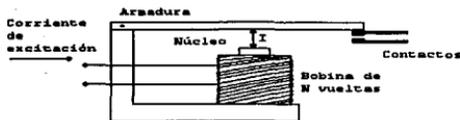
- donde: **i** es la corriente instantánea, en amperios
 e es la tensión instantánea, en voltios
 E es la tensión de la fuente de tensión, en voltios.
 R es la resistencia del circuito, en ohmios.
 L es la inductancia del circuito, en henrios.
 t es el tiempo, en segundos.
 e es la base de los logaritmos naturales ($e = 2.718\dots$)

Observando la ecuación 4 se ve que la corriente a través de la bobina es igual a la corriente que se produciría sin la bobina sólo después de un tiempo infinito (para $t = \infty$ se obtiene $i = E/R$) El periodo de tiempo requerido para que la corriente alcance el 63% de su valor final se denomina "constante de tiempo del sistema" cuyo símbolo es τ . Para el circuito RL mostrado en la figura 5 se obtiene $\tau = R/L$. La constante de tiempo, en lo que se refiere a la tensión, es igual al periodo de tiempo requerido para que la tensión de la bobina disminuya hasta el 37% de su valor inicial (cuando $t=0$).

La corriente del circuito después de un periodo de tiempo igual al de cinco veces la constante de tiempo, es igual al 99,3% del valor final. Por lo que puede referirse a este periodo de tiempo, como el tiempo necesario para acumular la energía máxima. Con respecto a la tensión se puede referir a este periodo, como al tiempo de liberación de toda la energía.

EL RELE ELECTROMAGNETICO

El relé electromagnético es un dispositivo que aprovecha el efecto del campo magnético sobre materiales ferromagnéticos cercanos. Su propiedad de convertir la energía de un campo magnético en una fuerza mecánica posibilita el uso del relé como componente para conectar y desconectar interruptores mecánicos.



Relé electromagnético

ELECTROIMANES Y RELES.

Cuando una bobina se devana alrededor de un núcleo recto de material ferromagnético y una corriente estacionaria se le aplica a la bobina, el campo magnético que se crea tiene la misma forma que el campo producido por un imán permanente. Puesto que el campo magnético de este dispositivo existe únicamente cuando una corriente pasa a través de la bobina, el dispositivo se llama un electroimán.

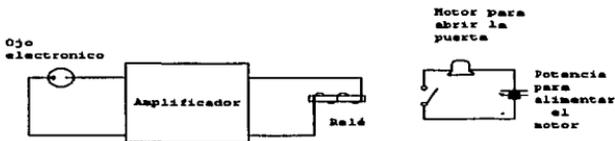
La intensidad de campo de un electroimán se puede cambiar variando la corriente o el número de espiras de la bobina. De cualquier forma, una corriente relativamente débil en la bobina puede producir un campo magnético fuerte si el alambre se devana al rededor de un núcleo de un buen material ferromagnético.

Un imán ejerce una fuerza sobre los materiales ferromagnéticos, está misma fuerza de atracción también se crea cuando pasa una corriente a través del devanado de un electroimán. Si una fuerza se utiliza para atraer y mover una pieza metálica llama armadura y si el movimiento de esta armadura se usa para cerrar o abrir contactos eléctricos, todo el conjunto conforma lo que se llama un relé electromagnético. (En la mayoría de los relés cuando la corriente se suspende un resorte regresa los contactos y la armadura a su posición original).

Como los interruptores, los relés se clasifican como: de un solo polo, una vía, doble vía... etc. Los contactos del relé que están abiertos cuando no pasa corriente a través de la bobina del relé se conocen como contactos normalmente abiertos. Aquellos que están cerrado cuando no pasa corriente se les llama normalmente cerrados.

Los relés se utilizan en un número considerable de aplicaciones industriales y de electrónica. Juegan un papel muy importante en la operación de la maquinaria automática como en los reguladores de voltaje de los automóviles, los mecanismo para abrir o cerrar una puerta por medio de botón pulsador, para garantizar que las lavadoras, aires acondicionados y lavadoras automáticas de platos pasen de un ciclo a otro durante su operación.

La figura ilustra una aplicación en la que se emplea un ojo eléctrico con un relé para abrir o cerrar una puerta.



Circuito para controlar una puerta por medio de un ojo electrónico

La fuerza de atracción del electroimán sobre la armadura localizada a una distancia l de un extremo del imán está dada por

$$f = \frac{B^2 A}{2\mu_0} = \mu_0 \frac{N^2 i^2 A}{2l^2}$$

Donde:

A = área del entre hierro

N = número de vueltas de la bobina

μ_0 = permeabilidad del espacio libre = $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

l = longitud del entre hierro (en metros) , y

i = corriente en amperios.

Otro tipo de relé usado comúnmente es el *relé de lengüeta*. Este relé es de un polo y una vía y posee dos lengüetas ferromagnéticas separadas por una pequeña distancia. Estas lengüetas están montadas dentro de un tubo de vidrio sellado herméticamente y una bobina rodea el tubo de vidrio. Cuando una corriente pasa a través de la bobina, el campo magnético que se produce magnetiza las dos lengüetas. Una de ellas se convierte en un polo norte y la otra en un polo sur. Se desarrolla una fuerza de atracción entre ellas y se establece una conexión cuando se unen. Cuando la corriente se suspende, las lengüetas se separan de nuevo debido a la acción de resorte por la rigidez del material.

PRACTICA
ELECTROMAGNETISMO

MATERIAL Y EQUIPO.

1. Tablero N°5 y caja de componentes del sistema BASIC-1.
2. Multímetro.
3. Dos fuentes de alimentación (o una doble) de 1 Amp y de tensión variable 0-30V.

DESARROLLO:

1. Relación entre la intensidad del campo y las propiedades de la bobina.

1.1 Mida la resistencia de la bobina del relé K_1 entre los puntos "a" y "b". Tome la medición y anote los resultados en la tabla 1.

1.2 Arme el circuito de la figura 1, usando el circuito N°2 del tablero N°5 del BASIC-1.



Figura 1. Circuito para determinar la relación entre la intensidad de campo y las propiedades de la bobina.

1.3 Aumente la tensión de la fuente E, hasta que encienda la lámpara L. Anote la lectura del amperímetro en la tabla 1.

Corriente de la bobina del relé (mA)	Resistencia de la bobina del relé (Ω)
22.5	75

TABLA 1. Relación entre la intensidad de campo y las propiedades de la bobina.

2. Corrientes de activación y desactivación del relé.

2.1 Arme el circuito de la figura 2.

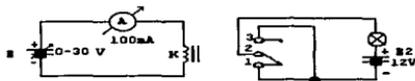


Figura 2. Circuito para la medición de corrientes de activación del relé.

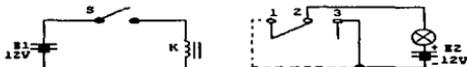
2.2 Aumente lentamente la tensión de la E, hasta que la lámpara L se apague. Mida en esta condición la corriente de desactivación, anote el resultado en la tabla 2.

Corriente de activación del relé (mA)	Corriente de desactivación del relé (mA)
5	0.40

Tabla 2: Corrientes de activación y desactivación del relé.

3. Funcionamiento de relés N.A. (normalmente abiertos) y N.C. (normalmente cerrado)

3.1 Arme el circuito de la figura 3. Conectando un cortocircuito entre los terminales 35 y 36.



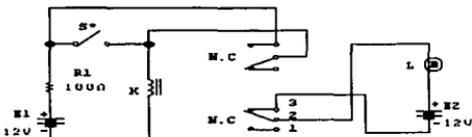
- Utilice un cortocircuito en el interruptor S, de la caja de componentes

Figura 2: Acción de un relé N.A (normalmente abierto)

- 3.2 Cierre el interruptor y observe el comportamiento de la lampara L. repita el proceso varias veces. Abra el interruptor.
- 3.3 Transfiera la conexión del contacto n° 3 del relé al contacto 1. Repita el inciso 3.2. (retire el cortocircuito de los puntos 35 y 36 y colóquelo entre los puntos 33 y 34).

4. Relés de autosustentación.

4.1 Arme el circuito de la figura 4. ajuste la tensión de la fuente a cero.

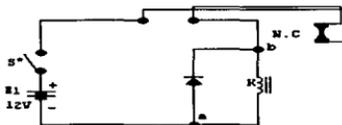


*Utilice un cortocircuito, de la caja de componentes

Figura 4: Relé de autosustentación.

4.2 Cierre el interruptor S y aumente la tensión de E₂ hasta que se encienda la lámpara (el relé ha cambiado de estado). Abra el interruptor S y compruebe si hay algún cambio en el circuito de la lámpara L.

5.1 Arme el circuito de la figura 5



* Utilice un cortocircuito como interruptor S, de la caja de componentes
Figura 5: Funcionamiento del relé como martillo de Wagner.

5.2 Cierre el interruptor y observe el comportamiento del relé.

5.3 Conecte un osciloscopio en paralelo con la bobina del relé (puntos "a" y "b") y observe la forma de onda.

Es una onda sinusoidal la grafica que se observa en el osciloscopio.

5.4 Conecte un diodo entre los puntos "a" y "b" (con el catodo en "a"). Observe su efecto en la forma de onda. Explique!

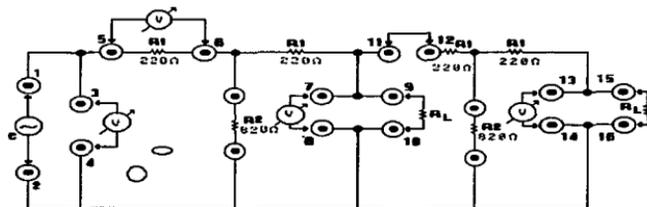
CUESTIONARIO.

1. **¿Que es la curva histéresis?**
2. **¿Que son las líneas de fuerza? y ¿Cómo se determinan?**
3. **¿Que es un relé?**
4. **Describe usos posibles de relés N.A. y N.C.**
5. **¿Cómo se puede determinar la polaridad de un imán?**
6. **Describe usos del relé de autosustentación.**
7. **Analice el efecto del núcleo en el centro de un electroimán.**

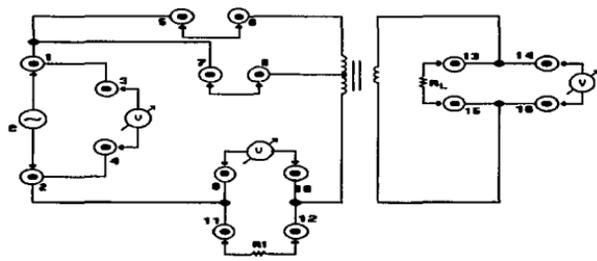
CONCLUSIONES

CAPITULO III

CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA



ALTERNADORES



TRANSFORMADOR

OSCILOSCOPIO

OBJETIVOS

1. El alumno aprenderá el funcionamiento del osciloscopio.
2. El alumno conocerá brevemente sus componentes que lo constituyen y de que forma funcionan para emitir las señales de frecuencia.

INTRODUCCION

Cuando se mide una cantidad eléctrica o una cantidad que se convierte a una forma eléctrica, el instrumento de medición debe mostrar en alguna forma el resultado medido. El osciloscopio es uno de los instrumentos más versátiles y útil para dicha tarea. El osciloscopio consta con subsistemas que se les conoce como:

1. Tubo de rayos catódicos
2. Amplificadores verticales y horizontales
3. Circuito de base de tiempo
4. Fuentes de potencia.

Tubo de rayos catódicos. - El corazón del osciloscopio, el tubo de rayos catódicos (CRT). El tubo es una vasija de vidrio sellada con un cañón electrónico y un sistema de deflexión montados dentro de uno de los extremos y una pantalla fluorescente en el otro. El aire se le extrae al tubo, dejándolo en alto vacío, esto es porque el fino haz de electrones producido dentro del tubo se esparciría por la colisión con moléculas del gas que encuentre en su camino.

La función del cañón electrónico es producir el haz de electrones. El cañón consiste de un cátodo termoiónico (un cátodo hecho de un material que emite electrones cuando se calienta), varios electrodos aceleradores y controles para focos e intensidad. Cuando el cátodo se calienta a una temperatura alta, empieza a emitir electrones. Algunos de estos electrones pasa a través de un pequeño hueco en la **rejilla de control de intensidad** que rodea el cátodo. Si se aplica un voltaje negativo a esta rejilla, solamente pueden pasar un número limitado de electrones. Este número se puede controlar variando la magnitud del voltaje. La intensidad del punto luminoso donde el haz golpea la pantalla depende del número de electrones en el haz.

Los electrones emitidos se comprimen por medio de los ánodos aceleradores y del foco del cañón para formar un haz apretado. Para lograr esta comprensión se utiliza un sistema de enfocamiento electrostático en el osciloscopio. CRT. El mismo campo electrostático también dirige los electrones a lo largo del eje del haz y los acelera hacia la pantalla fluorescente.

Después de dejar el cañón electrónico, el haz enfocado y acelerado pasa a través de dos conjuntos de **placas deflectoras**. Si no hay una diferencia de voltaje entre las placas, el haz continúa derecho y golpea la pantalla en su centro. Si existe una diferencia de voltaje en uno o los dos conjuntos de placas, el haz se desvía de su camino recto. La cantidad de desviación se determina por medio de las magnitudes de las diferencias de potencia. En los osciloscopios típicos se debe aplicar una diferencia de potencial entre 20 y 50 voltios rms para desviar el punto un centímetro.

Los dos conjuntos de placas deflectoras se colocan perpendicularmente uno del otro de tal forma que que puedan controlar independientemente el haz tanto en la dirección horizontal como del vertical.

Como ejemplo, si un voltaje aplicado a las **placas deflectoras verticales** cambia la dirección del haz de electrones únicamente en la dirección vertical. El haz se puede desviar hacia arriba o hacia abajo dependiendo de la polaridad de estas placas. Si el voltaje de la placa superior se hace positivo con respecto al de la placa inferior, el haz cargado negativamente será atraído por la placa superior y desviado hacia arriba. De forma similar, un voltaje aplicado a las placas horizontales desviará el haz hacia la izquierda o la derecha.

La pantalla fluorescente del CRT está cubierta con fósforo esto permite que se aprecie una luz visible (un punto luminoso). La persistencia es el tiempo que toma la intensidad del punto luminoso para decrecer su brillantes.

Para los osciloscopio de laboratorio, un fósforo verde con una persistencia mediana suministra una imagen estable de un trozo repetido. El calor se genera cuando el haz de electrones golpea la pantalla.

El enrejado o malla es el conjunto de líneas verticales y horizontales que se encuentran dibujadas permanentemente sobre la pantalla del CRT. Esta malla sirve como una escala para la medición de las cantidades mostradas por el CRT.

Los amplificadores del osciloscopio. - Los voltajes de entrada se introducen primero en los amplificadores que incrementan su magnitud, la cantidad de amplificación de que cada amplificador suministra, se selecciona por medio de los controles de sensibilidad del osciloscopio. La mayoría de los amplificadores de los osciloscopios de laboratorio son amplificadores directamente acoplados, esto quiere decir que son capaces de amplificar señales de corriente directa, como de corriente alterna.

Hay dos tipos de entradas a través de las cuales una señal se puede conectar a un osciloscopio. Son la entrada simple y la entrada diferencial.

Circuito de la base de tiempo. - La aplicación más común de un osciloscopio consiste en observar la variación de una señal con respecto al tiempo, para esto el voltaje se debe aplicar repetidamente para que el haz pueda trazar el mismo camino, y se pueda tener una imagen estable en la pantalla. A la señal generada por la base de tiempo se le llama señal de barrido. La condición necesaria para obtener un trazo estable de una señal variante con el tiempo, es que la señal de barrido debe de empezar en el mismo punto de la señal de entrada.

Una señal de disparo externa es útil en la medición de la diferencia de fase entre dos ondas sinusoidales de la misma frecuencia o cuando la señal de entrada es muy pequeña para disparar el generador de pulsos.

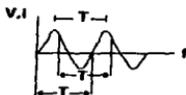
Fuentes de potencia del osciloscopio. - El osciloscopio cuenta con dos fuentes de potencia, una es la de alto voltaje y se utiliza para alimentar el tubo de rayos catódicos. La otra es una fuente de potencia de bajo voltaje que suministra potencia a los amplificadores y circuito de disparo del osciloscopio

Como manejar un osciloscopio. - Aquí se debe tomar en cuenta terminales y punta de prueba del osciloscopio, la punta de prueba es un dispositivo que se usa para transferir la señal de un circuito bajo prueba para un instrumento de medición (en este caso el osciloscopio). Un refinamiento adicional para muchas puntas de prueba simples es un cable para blindaje electrostático que la rodea, este blindaje se conecta a la tierra del osciloscopio, el propósito del blindaje es evitar señales de ruido y zumbido indeseado. Otros tipos de puntas especiales se usan para incrementar la impedancia de entrada o la corriente medida.

Formas de ondas. - Al conectar una fuente de señales al eje vertical (entrada Y) y se calibra correspondientemente la base de tiempo entonces aparecerá una señal gráfica en la pantalla del osciloscopio. La variación de la corriente alterna con el tiempo puede producir varias y diversas formas de onda.

Medición del periodo de una onda. - En la siguiente figura se manifiesta el periodo de una onda sinusoidal, tomamos en cuenta que el periodo es el tiempo en segundos para completar un ciclo y se señala con la letra T. El número de ciclos en un segundo se denomina "frecuencia", su símbolo es (f) y la unidad es el Hertz (Hz).

La relación matemática entre el periodo y la frecuencia se da por:



Periodo de una onda sinusoidal

$$f = 1/T$$

donde:

f es la frecuencia, en hertz

T es el periodo, en segundos.

El periodo se calcula en base a la señal de la pantalla del osciloscopio, tomando en cuenta que:



**Onda sinusoidal con periodo
igual a 4 microsegundos**

Periodo = Número de divisiones (en un ciclo) \times posición del selector de la base de tiempo.

MEDICION DE LOS PARAMETROS DE CORRIENTE ALTERNA.

La amplitud de la corriente (tensión) alterna está definida por tres parámetros:

Pico a pico (p-p): Este valor expresa la amplitud de la onda de un extremo al otro. Es fácil de medir con el osciloscopio, ya que es la distancia vertical (sobre el eje Y) desde el pico positivo hasta el pico negativo de la onda.

Pico (p): Este valor se mide desde el eje de simetría de la onda hasta uno de sus picos. Numéricamente es igual a la mitad del valor pico a pico.

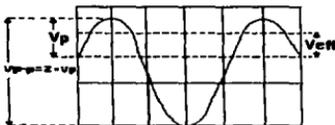
Valor eficaz: El valor eficaz de una forma de onda se refiere a su capacidad de entregar potencia. La misma potencia se puede desarrollar mediante una corriente constante I . Se define que : la corriente alterna tiene el, valor eficaz I_r igual al valor de esa corriente continua.

Para una tensión senoidal, se tiene la siguiente ecuación :

$$v_r = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = 0.707V_p$$

Donde: V_p es el valor de pico en voltios.
 V_r es el valor eficaz en voltios.

La tensión senoidal se mide en el osciloscopio como se muestra en la figura siguiente:



Parámetros de una sinusoides

Antes de hacer las mediciones, se debe calibrar el eje vertical (Y) en unidades de (V/cm). Para la figura anterior cada división representa un voltio, por lo tanto la tensión de pico V_p de la onda es igual a 1.5 voltios.

MEDICION DE FRECUENCIA - FIGURAS DE LISSAJOUS

Este tipo de figuras es importante para la medición de frecuencia con el osciloscopio y su método se describe con la siguiente figura. Si aparece un círculo en la pantalla, significa que la frecuencia medida es idéntica a la frecuencia de referencia. Cuando la frecuencia medida difiere de la frecuencia de referencia, pero es un múltiplo entero de ella, se producen varias figuras (las de Lissajous) en la pantalla del osciloscopio.

La frecuencia se calcula en base al número de lóbulos verticales y horizontales dada la frecuencia de referencia. La ecuación siguiente muestra el método para calcular la frecuencia medida:



Conexiones para la medición de frecuencia mediante las figuras de Lissajous

$$\frac{f_H}{F_v} = \frac{n_v}{n_H}$$

Donde:

n_v : es el número de puntos de contacto con el eje vertical

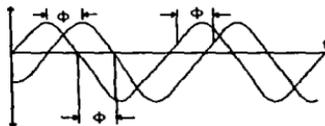
n_H : es el número de puntos de contacto con el eje horizontal

F_v : es la frecuencia de la señal conectada al eje vertical (Y) del osciloscopio

f_H : es la frecuencia de la señal conectada al eje horizontal (X) del osciloscopio

MEDICION DE LA DIFERENCIA DE FASE

Si ondas de igual frecuencia alcanzan sus picos o ceros en distintos momentos, se dice que hay diferencia de fase (defasaje) entre ellos, una onda se adelanta a la otra con un ángulo de fase ϕ . Esto se puede observar en la pantalla de un osciloscopio. El método sencillo, es el basado en las figuras de Lissajous que posibilita la medición de la diferencia de fase con un osciloscopio común.



Dos ondas con diferencia de fase de 90° grados

La ecuación siguiente indica el método para calcular el ángulo ϕ a partir de la figura en la pantalla del osciloscopio.

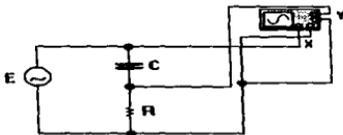
$$\sin \phi = a/b$$

donde: ϕ es el ángulo de fase en grados (radianes).

b es el valor máximo de la elipse en la dirección horizontal (cm.).

a es el valor, en centímetros, desde el centro de coordenadas hasta la intersección de la elipse con el eje horizontal.

La siguiente figura se refiere a la conexión del osciloscopio para medir la diferencia de fase entre la corriente y la tensión en un circuito RC. La tensión del circuito (tensión de la fuente E) se conecta al eje vertical del osciloscopio. La corriente del circuito está en fase con la caída de tensión sobre el resistor R. Aplicando la tensión V_R al eje horizontal del osciloscopio se producirá la representación en el mismo de la fase de la corriente. Es decir que la representación en la pantalla del osciloscopio es la figura de Lissajous que muestra la diferencia de fase entre la tensión y la corriente en el circuito RC.



Conexión del osciloscopio para medir la diferencia de fase en circuitos RC

PRACTICA
OSCILOSCOPIO

MATERIAL Y EQUIPO

1. Tablero N° 1 y caja de componentes del BASIC-2.
2. Osciloscopio.
3. Multímetro de c.a.
4. Generador de señales de audio.
5. Generador de señal de audio con tensión de salida igual a 6.3 voltios (o transformador para reducir la tensión de red a éste valor).

1. Determinación de la frecuencia mediante la medición del período.

- 1.1 Ajuste la señal del generador de audio a 100 Hz, a una tensión de salida de 5 volts (tensión eficaz).
- 1.2 Conecte la señal de salida del generador a la entrada del eje "Y" del osciloscopio.
- 1.3 Utilice el osciloscopio para medir el período. Anote el resultado de la tabla uno.
- 1.4 Repita el inciso anterior para frecuencias que se dan en la tabla

Magnitud medida		
Frecuencia de entrada (Hz)	Período (msec)	Frecuencia calculada (Hz)
1000	0.8	1250
2000	0.45	2222
3000	0.3	3333
4000	0.25	4000
5000	0.2	5000

Tabla 1: Determinación de la frecuencia mediante la medición del período

2. Medición de ondas de c.a.

- 2.1 Ajuste la señal del generador a una frecuencia de 1000 Hz y 1 voltio (tensión eficaz) de salida.
- 2.2 Ajuste la sensibilidad del eje "Y" a 1 voltio por centímetro.
- 2.3 Conecte la señal de salida del generador a la entrada "Y".
- 2.4 Ajuste la base de tiempo del osciloscopio de manera que aparezcan varios ciclos en la pantalla.
- 2.5 Mida los valores de pico y de pico a pico. Anote los resultados en la tabla 2.
- 2.6 Repita las mediciones anteriores para los valores que se dan en la tabla 2, y anótelos en la misma tabla.

Magnitud medida Nivel de señal de entrada (valor eficaz) (V)	Valor pico (Vp)	Valor pico a pico (Vp-p) (V)	Valor eficaz calculado (V)
1	0.5	1	0.35
2	1	2	0.70
3	1.5	3	1.06
4	2	4	1.414
5	2.5	5	1.76

Tabla 2: Medición de tensión eficaz de c.a.

3. Medición de frecuencia en base a las figuras de Lissajous

- 3.1 Conecte el circuito como se indica en la figura 5. El transformador disminuye la tensión de la red de 220V c.a. a 6.3 volts c.a.
- 3.2 Ajuste la sensibilidad del amplificador vertical para obtener una deflexión simétrica de varios pares de divisiones en la pantalla.
- 3.3 Desconecte el generador de señal de la entrada vertical. Conecte otro generador de señal con una frecuencia de 50 Hz a la entrada del amplificador horizontal. Ajuste la amplitud de salida del generador para obtener una deflexión horizontal igual a la obtenida en el párrafo 3.2.

3.4 Vuelva a conectar el primer generador de señal a la entrada vertical. Dibuje la figura que aparece en la pantalla del osciloscopio en la tabla 3.

3.5 Repita las mediciones anteriores para las frecuencias que se dan en la tabla.

<u>Magnitud medida</u>		Forma de la figura que aparece en la pantalla del osciloscopio	Frecuencia horizontal calculada (Hz)*
Frecuencia en la entrada vertical (Hz)	Frecuencia en la entrada horizontal (Hz)		
50	50		58
50	100		111
50	150		143
50	200		200
50	250		243

Tabla 3: Medida de frecuencias mediante las figuras de Lissajous.

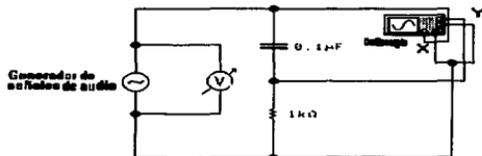
* Se calcula con la ecuación siguiente

$$f = 1 / T$$

(se tomara el periodo T, en segundos de la señal)

4. Medida de la diferencia de fase

4.1 Arme el circuito como se indica en la figura siguiente, en el tablero N°1 del BASIC- 2.



Medida de diferencia de fase

- 4.2 Fije la frecuencia del generador de señal a 500 Hz y a un nivel de salida de 5 Vp-p.
- 4.3 Calibre el osciloscopio para obtener una deflexión igual en ambos ejes (como se ha descrito en el párrafo 3).
- 4.4 Mida las magnitudes de "a" y de "b" (ver figura 8) y anótelas en la tabla 4.
- 4.5 Repita las mediciones anteriores para los valores que se dan en la siguiente tabla

Magnitud medida de entrada (Hz)	a cm	b cm	sen ϕ	Angulo de fase ϕ
500	0.1	0.1	1	90
1000	0.4	0.4	1	90
2000	0.65	0.75	0.915	66.27
3000	0.90	0.98	0.91	66.6
4000	1.1	1.25	0.88	61.6
5000	1.3	1.45	0.89	63.7

Tabla 4: Medición del ángulo de fase

Se ha concluido la practica , apague los instrumentos y cheque el equipo, entréguelo.

NOTA: Los cálculos que se piden hacerlos por separado y entregarlos en el reporte.

CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles son las ventajas del osciloscopio sobre otros instrumentos de medición electrónicos?
2. Explique que es el valor eficaz, valor de pico y valor pico a pico de una onda sinusoidal. Y que relación hay entre estos parámetros.
3. Describa el método para la medición de la diferencia de fase con el osciloscopio.
4. Describa el método para la medición de frecuencia empleando las figuras de Lissajous.
5. Describa la función de cada uno de los siguientes controles del osciloscopio:
 - a) foco
 - b) astigmatismo
 - c) posición vertical
 - d) entrada horizontal externa

CONCLUSIONES

REACTANCIA

OBJETIVOS:

1. El alumno analizará el comportamiento del resistor, del capacitor y de la bobina en un circuito de C.A.
2. El alumno adquirirá el concepto de la reactancia de una bobina y de un capacitor.
3. Usará un método indirecto para la medición de la reactancia.
4. Estudiará el comportamiento del ángulo de fase de la bobina y del capacitor.

INTRODUCCION

El comportamiento de un resistor en los circuitos de C.A. es similar a su comportamiento en los de c.c. En la figura se muestra un resistor conectado a los terminales de una fuente de tensión de C.A. que varía en forma sinusoidal. Se hace notar que la caída de tensión sobre el resistor, y la corriente a través de él, siempre estarán en fase entre ellas.



En las ecuaciones siguientes se dan la tensión de la fuente e y la corriente i en el circuito de C.A. resistivo.

$$e = e_{\text{máx}} \text{ sen } 2\pi \cdot f \cdot t$$

$$i = i_{\text{máx}} \text{ sen } 2\pi \cdot f \cdot t$$

Donde

e	es el valor instantáneo de la tensión en voltios.
$e_{\text{máx}}$	es el valor de la tensión de pico en voltios.
i	es el valor instantáneo de la corriente en amperios.
$i_{\text{máx}}$	es el valor de la corriente de pico en amperios.
f	es la frecuencia en Hz.
t	es el tiempo en segundos.

La ecuación siguiente representa la ley de Ohm para un resistor en un circuito de C.A.

$$i = e / R$$

La figura siguiente representa gráfica y vectorialmente la tensión sobre el resistor y la corriente a través de él.



Descripción gráfica y representación vectorial de la corriente y la tensión en un circuito resistivo de C.A.

LA BOBINA EN UN CIRCUITO DE C.A.

Cuando se conecta una bobina en un circuito, se producirá inmediatamente una caída de tensión sobre la bobina pero la corriente será retrasada por un factor. Este factor es la "reactancia" de la bobina, cuyo símbolo es " X_L ". La expresión matemática que define a la reactancia esta dada por la ecuación siguiente:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

Donde: X_L ...es la reactancia de la bobina

..... f ...es la frecuencia en Hz.

..... L ...es la inductancia de la bobina.

Se puede observar que la reactancia de la bobina es directamente proporcional a la frecuencia y a la inductancia.

En la siguiente figura se muestra una bobina en un circuito de C.A. y la variación de la reactancia con la frecuencia.



En un circuito inductivo (figura anterior) la corriente está determinada por la ley de Ohm. Donde R está reemplazada por la reactancia X_L . Y la ecuación que nos representa la corriente a través de la bobina es:

$$i = e / X_L$$

En una bobina inductiva pura, sin ningún componente de resistencia, la tensión está adelantada a la corriente en 90° , es decir que hay una diferencia de fase de 90° entre la corriente y la tensión. Por lo tanto la corriente y tensión instantáneas pueden ser descritas en las ecuaciones siguientes:

$$i = i_{\text{máx.}} \cdot \text{sen } 2\pi \cdot f \cdot t$$

$$e = e_{\text{máx.}} \cdot \text{cos } 2\pi \cdot f \cdot t$$

La figura siguiente es la representación gráfica y vectorial de la tensión sobre la bobina y la corriente a través de ella.



Descripción gráfica de la corriente y la tensión en un circuito inductivo y su representación vectorial

EL CAPACITOR EN UN CIRCUITO DE C.A.

El comportamiento del capacitor en un circuito de C.A. es parecido, en términos generales, al de la bobina. Cuando se conecta el condensador a una fuente de C.A., se obtiene una reactancia inversamente proporcional a la frecuencia. Se denomina a esta reactancia X_C y está dada por la ecuación siguiente

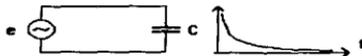
$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

Donde: ... X_C ... es la reactancia del condensador en ohmios.

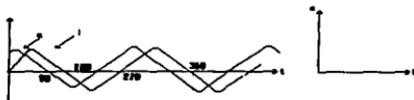
..... f es la frecuencia en Hz.

..... C es la capacidad del condensador en faradios

Para un elemento capacitivo, donde hay solamente un componente reactivo y ningún resistivo, la corriente está adelantada a la tensión en 90° . La figura 6 nos muestra la tensión y la corriente en un circuito capacitivo.



El condensador en un circuito de c.a. [a la izquierda] y variación de la reactancia en la frecuencia [a la derecha]



Gráficas de la corriente y la tensión en un circuito de C.A en función del tiempo

MEDICION DE LA REACTANCIA

El hecho de que la mayoría de los multímetros pueden medir tensión de C.A. pero no corriente de C.A., imposibilita el cálculo directo de la reactancia mediante la medición de la tensión sobre un condensador o una bobina y la corriente a través de ellos; por lo tanto, se debe utilizar un método indirecto para la medición de la reactancia. Se conecta una resistencia en serie con la bobina o el condensador y se determina la corriente midiendo la caída de tensión sobre el resistor. Para obtener una mayor precisión de la exactitud se debe conectar un resistor de valor menor al de la reactancia a medir.

PRACTICA LA REACTANCIA

EQUIPO Y MATERIAL

- 1 Tablero N° 1 y caja de componentes del BASIC-2
- 2 Voltímetro de C.A.
- 3 Generador de señales con salida variable 0-10 voltios.
- 4 Osciloscopio.

1. El resistor en un circuito de C.A.

- 1.1 Arme el circuito de la figura 1, en el tablero N°1 del BASIC-2

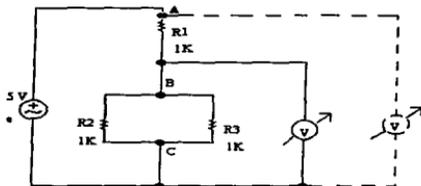


Figura 1: El resistor en un circuito de C. A

- 1.2 Ajuste la frecuencia del generador de señales a 200 Hz y a un nivel de salida de 5V (tensión eficaz).
- 1.3 Mida la tensión entre los puntos "B" y "C" y luego entre los puntos "A" y "C". Anote los resultados en la tabla 1.

1.4 Repita las mediciones del párrafo anterior para las frecuencias indicadas en la tabla 1. anote los resultados en la misma tabla.

Nota: Asegúrese de mantener la tensión del generador de señales a una amplitud constante cuando varíe la frecuencia.

Magnitud medida Frecuencia (Hz)	V _{AC} medida (V)	V _{AC} medida (V)	V _{AB} calculada (V)	I ₁ calculada (mA)	I ₂ calculada (mA)	I ₃ calculada (mA)
200	5	1.67	3.33	3.33	1.67	1.67
400	5	1.67	3.33	3.33	1.67	1.67
600	5	1.60	3.33	3.33	1.67	1.67
800	5	1.67	3.33	3.36	1.67	1.67
1000	5	1.67	3.33	3.36	1.67	1.67

Tabla 1: Resistores en un circuito de C.A.

2. La bobina en un circuito de C.A.

2.1 Arme el circuito de la figura 2 en el tablero N°1 del BASIC-2.

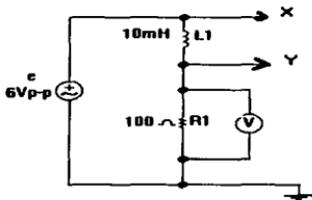


Figura 2: La bobina en un circuito de C.A

2.2 Fije la frecuencia del generador de señales a 1.6 KHz y a un nivel de salida de 6 voltios pico a pico.

2.3 Mida la caída de tensión sobre el resistor y anote los resultados en la tabla 2.

2.4 Repita el anterior inciso para las frecuencias que se indican en la tabla 2, anote los resultados en la misma.

Nota: verificar la tensión del generador de señales a una amplitud constante cuando varíe la frecuencia.

2.5 Conecte las entradas de los amplificadores X e Y del osciloscopio a los puntos "X" e "Y" de la figura 2. Conectar a tierra el punto de la figura 2. Ajuste los amplificadores del osciloscopio para obtener la misma sensibilidad en ambos ejes.

Determine el ángulo de fase en base a la forma de la figura que aparece en la pantalla (a la frecuencia de 16 KHz). Anote los resultados a continuación:

$$\phi = \underline{\quad 60^\circ \quad}$$

Magnitud medida Frecuencia(KHz)	Tensión medida sobre el resistor (mV)	Corriente calculada (mA)	Reactancia en base a las mediciones (K Ω)	Reactancia calculada (K Ω)
1.6	2.98	29.9	2.1889	2.9
3.2	1.89	18.9	1.33	1.88
4.8	1.34	13.3	1.02	1.53
6.4	1.02	10.2	0.828	1.02
8.0	0.828	8.28	0.694	0.833
9.6	0.694	6.94	0.597	0.689
11.2	0.597	5.97	0.523	0.588
12.8	0.523	5.23	0.466	0.526
14.4	0.466	4.66	0.420	0.434
16.0	0.420	4.20		0.416

Tabla 2: La bobina en un circuito de C.A.

3. El condensador en un circuito de C.A.

3.1 Arme el circuito de la figura 3 en el tablero N°1 del BASIC-2.

Nota: **No conecte**, mientras arma, los puntos "X", "Y" y la tierra al osciloscopio.

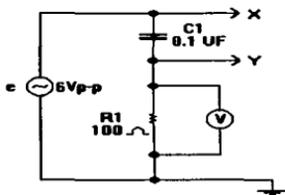


Figura 3: El condensador en un circuito de C.A.

3.2 Fije la frecuencia del generador de señales a 1600 Hz y a un nivel de salida de 6 voltios pico a pico.

3.3 Mida la tensión sobre el resistor R₁ y anótelas en la tabla 3.

3.4 Repita la medición anterior para cada una de las frecuencias indicadas en la tabla 3. Anote los resultados en la misma.

Nota. Asegúrese de mantener la tensión del generador a una amplitud constante, cuando varíe la frecuencia.

Magnitud medida Frecuencia(KHz)	Tensión medida sobre el resistor (mV)	Corriente calculada (mA)	Reactancia en base a las mediciones (KΩ)	Reactancia calculada (KΩ)
1.6	424	4.24	990	994.7
0.800	213	2.13	1950	1989.4
0.530	141	1.41	3000	3002.9
0.400	107	1.07	3960	3978.8
0.320	85.3	0.853	4965	4973.5
0.265	70.5	0.706	6000	6005.8
0.225	60	0.600	7059	7073.5
0.200	53.3	0.533	7953	7957.3
0.180	48	0.480	8820	8841.9
0.160	42.6	0.426	9936	9947.1

Tabla 3: El condensador en un circuito de C.A.

3.5 Conecte las entradas de los amplificadores X e Y del osciloscopio a los puntos "X" e "Y" de la figura 3. Conecte a tierra y determine el ángulo defasado, a la frecuencia de 1600 Hz. Anote los resultados a continuación:

$$\phi = \underline{\quad 90^\circ \quad}$$

Se ha concluido la practica cheque el equipo y entréguelo.

Nota: Los cálculos que se piden en las tablas hacerlos por separado y entregar los resultados.

CUESTIONARIO

1. En base a las tablas 2 y 3, hacer los gráficos de la reactancia en función de la frecuencia.
2. ¿Qué es una reactancia inductiva?
3. ¿Qué es una reactancia capacitiva?
4. Explique por qué la reactancia es una función de la frecuencia
5. ¿Qué es el ángulo de fase?
6. ¿Qué método se emplea para medir corriente alterna? ¿qué factor obliga a usar éste método?
7. ¿Bajo qué circunstancias será la reactancia capacitiva igual a cero?
8. ¿Qué es una inductancia "pura" y una capacitancia "pura"?

CONCLUSIONES

CIRCUITOS RESONANTES

OBJETIVOS

1. El alumno conocerá las características del circuito resonante en serie.
2. El alumno conocerá las características del circuito resonante en paralelo.
3. El alumno comprobará la influencia de una bobina sobre los circuitos resonantes.
4. El alumno efectuará mediciones en los circuitos resonantes.

INTRODUCCION

El circuito RLC (fig.1) suele llamarse circuito resonante, porque su energía se almacena alternadamente en el capacitor y en el inductor. Este efecto que a cierta frecuencia, en las relaciones de fase de inductores y capacitores es tal que podrían cancelarse entre sí.

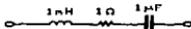


Fig.1 Circuito en serie RLC

Esta frecuencia, f_0 , se llama frecuencia resonante del circuito. Es la frecuencia a la cual se mantienen las siguientes condiciones:

$$|X_C| = |X_L| \dots \dots \dots (1)$$

De modo que

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot C} = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot L \dots \dots \dots (2)$$

o bien

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{LC}}$$

Debido a que la reactancia capacitiva está a 180° fuera de fase con la reactancia inductiva, las reactancias se cancelan entre sí en la frecuencia f_0 . En otras frecuencias ($f_0 \neq f$) el diagrama vectorial de la figura 2 se aplica cuando $X_L > X_C$; el factor Z descansa abajo del vector R si $X_L < X_C$.

La impedancia es:

$$Z = \sqrt{R^2 + (|X_L| - |X_C|)^2} \dots\dots\dots(4)$$

y el angulo de fase es

$$\phi = \tan^{-1} \frac{|X_L| - |X_C|}{R} \dots\dots\dots(5)$$

La ecuación 4 nos dice que, cada vez que $f \neq f_0$, $|X_L| \neq |X_C|$, la impedancia Z del circuito resonante debe ser más grande que el valor de R. En la figura 3 se traza este comportamiento para valores específicos de L; R y C. Para un voltaje senoidal aplicado contra amplitud de pico constante y frecuencia variable, la acción V_s , de la corriente debe representarse entonces por una curva como las de la figura 4. En frecuencias bajas, $|X_C|$ será mucho mayor que X_L , Z será de valor grande y la corriente será pequeña. A medida que la frecuencia aumenta, y $|X_C|$ y $|X_L|$ llegan a ser casi iguales, la impedancia disminuirá y la corriente crecerá. En f_0 , se tiene que $X_L = |X_C|$, $Z = R$, de modo que la corriente está en su valor máximo. Cuando la frecuencia continúa creciendo más allá de f_0 , X_L excederá a $|X_C|$ y la corriente volverá a disminuir otra vez. El factor de calidad, Q, en resonancia ($Q = X_L / R$ con X_L tomada en f_0) determinará la forma de la curva corriente-frecuencia; la figura 4 demuestra la diferencia entre un circuito de alta calidad Q y otra de baja calidad Q.

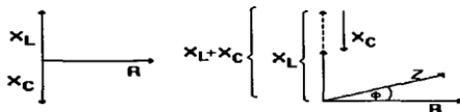


Fig. 2 Representación de impedancia de un circuito RLC

Hay cierto número de otras configuraciones en las que es posible que intervengan L, C y R. El análisis de esos circuitos es un poco menos directa debido a las diferentes relaciones de impedancia. Considérese el circuito de la figura 5. El número imaginario o de notación j se usa en sus análisis.

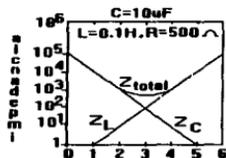
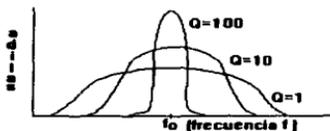


Fig.3 Gráfica de impedancia
contra frecuencia para un
circuito resonante serie RLC



Q contra frecuencia para un circuito serie RLC

Figura 4

Con objeto de evaluar la magnitud y el ángulo de fase del circuito a la frecuencia establecida (1000 Hz) se empieza por calcular las impedancias individuales.

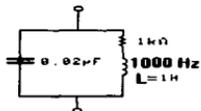


Fig.5 Circuito resonante
en paralelo

$$Z_C = \frac{-j}{(2\pi)(10^3)(2.0 \times 10^{-6})} = j(8.0 \times 10^3)\Omega$$

$$Z_L = j\omega L = j(2\pi)(10^3)(1) = j(6.3 \times 10^3)\Omega$$

Ahora la impedancia de la rama LR es

$$Z_{LR} = R + Z_L = (1 \times 10^3) + j(6.3 \times 10^3)\Omega$$

Y como la impedancia de la rama C está en paralelo con la rama LR

$$\begin{aligned} Z_{Total} &= \frac{Z_C \cdot Z_{LR}}{Z_C + Z_{LR}} \\ \dots &= \frac{[-j(8 \times 10^3)] [(1.0 \times 10^3) + j(6.3 \times 10^3)]}{-j(8.0 \times 10^3) + (1.0 \times 10^3) + j(6.3 \times 10^3)} \\ \dots &= (1.64 \times 10^4) + (1.94 \times 10^4)\Omega \end{aligned}$$

Por consecuencia, la magnitud de la impedancia es

$$Z = \sqrt{(1.6 \times 10^4)^2 + (1.97 \times 10^4)^2} = 2.56 \times 10^4 \Omega$$

mientras el ángulo de fase es

$$\phi = \tan^{-1} \frac{1.97 \times 10^4}{1.64 \times 10^4} = 50.3^\circ$$

Si las mismas componentes se hubieran usado para constituir un circuito resonante en serie, como el de la figura 1, los cálculos producirían distintos resultados.

La impedancia en serie total es

$$Z = R + X_L + X_C$$

$$\dots = (1.0 \times 10^3) + j(6.3 \times 10^3) - j(8.0 \times 10^3)$$

$$\dots = (1.0 \times 10^3) - j(1.7 \times 10^3)$$

Ahora la magnitud de la impedancia es

$$Z = \sqrt{(1.0 \times 10^3)^2 + (1.7 \times 10^3)^2} = 1.97 \times 10^3$$

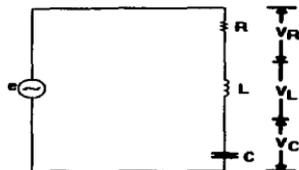
y el angulo de fase

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{-1.7 \times 10^3}{1.0 \times 10^3} \right) = -59.5^\circ$$

Los circuitos resonantes encuentran aplicaciones en osciladores, donde la frecuencia de oscilación está controlada por los valores de las componentes. Análogamente se usan en circuitos de radio receptores donde se emplean los filtros.

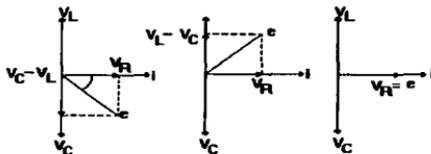
CIRCUITO RESONANTE EN SERIE.

Para un circuito resonante serie al variar la frecuencia se observaran tres rangos diferentes:



Circuito resonante serie

1. La tensión del condensador es mayor que la de la bobina.
2. La tensión de la bobina es mayor que la del condensador.
3. Las tensiones de la bobina y del condensador son iguales.



Representación vectorial del comportamiento del circuito resonante serie en los tres rangos de frecuencia
 A. $V_C > V_L$ B. $V_L > V_C$ C. $V_L = V_C$

De la anterior representación vectorial se puede ver que:

1. Cuando $V_C > V_L$ entonces $X_C > X_L$ y la tensión resultante es capacitiva.
2. Cuando $V_L > V_C$ entonces $X_L > X_C$ y la tensión resultante es inductiva.
3. Cuando $V_L = V_C$ entonces $X_L = X_C$ y la tensión resultante es resistiva pura.

Por lo que se puede definir que la resonancia ocurre a la frecuencia en la cual la reactancia capacitiva es igual a la inductiva como esta dada en la ecuación (*)

$$X_L = X_C$$
$$o$$
$$2\pi \cdot f_0 \cdot L = \frac{1}{2\pi \cdot f_0 \cdot C}$$

donde:

- L es la inductancia de la bobina, en henrios.
- C es la capacidad del condensador, en faradios.
- f₀ es la frecuencia de resonancia, en Hz.

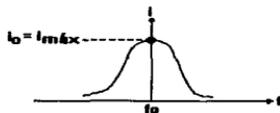
Cambiando la forma de la ecuación anterior se obtiene:

$$f_0^2 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot LC}$$

Por lo tanto la ecuación matemática para la frecuencia de resonancia es :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

La siguiente figura muestra la variación de la corriente en función de la frecuencia para un circuito resonante serie. Donde se muestra que la corriente alcanza su valor máximo a la frecuencia de resonancia. Esta corriente esta limitada por la resistencia en el circuito.



La corriente en función de la frecuencia en el circuito resonante serie

Nota " La curva que representa la variación de la corriente con la frecuencia no es simétrica. En realidad el eje de frecuencia es logarítmico, la corriente será igual a cero para frecuencia igual a cero e infinito.

Dicha curva puede ser más aguda o más extendida. La forma esta determinada por los componentes del circuito y por la relación entre ellos.

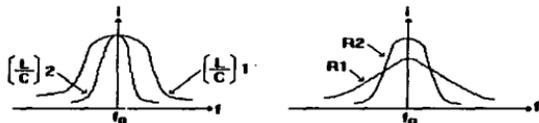
La magnitud que expresa la agudeza de la curva se llama "factor de mérito", cuyo símbolo es Q y su expresión matemática es :

$$Q = \frac{V_L}{V_R} = \frac{V_C}{V_R} = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R}$$

Después de sustituir las magnitudes apropiadas se obtiene la curva de selectividad para dos valores de la relación L / C.

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Para la disminución de la corriente a la frecuencia resonante, es mediante la variación del valor de R manteniendo L y C constantes.



Efecto del factor de mérito en la curva de selectividad

La expresión matemática de la impedancia total en un circuito resonante serie es:

$$\bar{Z} = R + (X_L - X_C)$$

Dado que $X_L = X_C$ a la frecuencia de resonancia se obtiene:

$$\bar{Z} = R$$

donde Z_0 es la impedancia de la resonancia.

La expresión matemática de la corriente para el circuito resonante serie en función de la frecuencia es:

$$\bar{I} = \frac{\bar{e}}{R + j(X_L - X_C)}$$

A la frecuencia de resonancia obtendremos:

$$\bar{I}_0 = \frac{\bar{e}}{R}$$

Las tensiones sobre la bobina y el condensador están dadas por:

$$\begin{aligned} V_L &= V_C = |I_0| X_L = |-I_0| X_C \\ |V_L| &= |V_C| = Q|e| \end{aligned}$$

donde Q es el factor de calidad
e es la tensión de la fuente, en voltios.

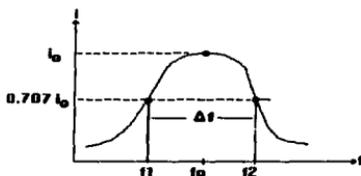
ANCHO DE BANDA.

La selectividad, descrita gráficamente mediante la curva de tensión en función de la frecuencia, también está dada numéricamente por el ancho de banda.

Con este propósito se eligen dos puntos sobre la curva característica. Estos se denominan "puntos de media potencia" y las frecuencias correspondientes a estos puntos son denominadas "frecuencias de media potencia".

Los puntos de media potencia son aquellos, sobre la curva, en los cuales las corrientes correspondientes producen una potencia en el circuito resonante igual a la mitad de la potencia máxima (la potencia de resonancia). El valor de la corriente en estos puntos es igual $0.707 I_0$, donde I_0 es la corriente máxima.

La siguiente figura represente los puntos de media potencia sobre la curva de respuesta en frecuencia:



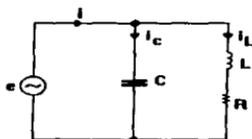
Ancho de banda y puntos de media potencia

Donde f_1 y f_2 son "el ancho de banda", la ecuación matemática que relaciona el factor de mérito (Q), la frecuencia de resonancia (f_0) y el ancho de banda (Δf) está dado por la ecuación:

$$Q = f_0 / \Delta f$$

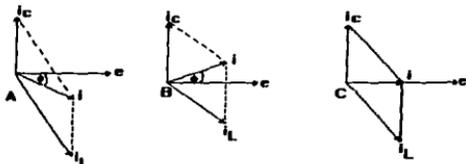
EL CIRCUITO RESONANTE PARALELO

En la siguiente figura se muestra un circuito resonante con dos ramas paralelas; en una, la bobina L y el resistor R y en la otra, el condensador C . No necesariamente R es un componente separado sino puede representar a la resistencia de la bobina.



Circuito resonante paralelo

Se denomina a la corriente en la rama inductiva, i_L , y a la corriente en la rama capacitiva, i_C . Generalmente estas corrientes no estarán en fase con la corriente de la fuente, i , ni con la tensión e . Analizando la representación vectorial de las corrientes del circuito se ve que existen tres rangos distintos.



Representación vectorial de las corrientes del circuito paralelo

Los tres rangos son los siguientes:

1. $f < f_0$ La corriente en la bobina es mayor que la del condensador. El circuito es inductivo.
2. $f > f_0$ La corriente del condensador es mayor que la de la bobina. El circuito es capacitivo.
3. $f = f_0$ Las corrientes en la bobina y en el condensador son iguales en su valor absoluto. El circuito está en resonancia.

Donde f es la frecuencia de la fuente, en Hz.
 f_0 es la frecuencia de resonancia, en Hz.

La frecuencia de resonancia se determina igualando el valor absoluto de la corriente en la bobina con la del condensador. Dándonos como resultado.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

En los circuitos reales, el valor de L es mucho mayor que R , por lo que la ecuación anterior puede quedar.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

La impedancia del circuito en resonancia se da por.

$$Z_0 = \frac{L}{R.C}$$

Esta es la impedancia máxima del circuito paralelo para todas las frecuencias.

Es decir que para todo valor de Z a frecuencias diferentes de la frecuencia de resonancia.

$$Z < Z_0$$

El factor de mérito se calcula de manera similar a la que se emplea para el circuito resonante serie.

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

La corriente total, i , es mínima (cuando la impedancia es máxima) pero las corrientes a través de la bobina y el condensador son relativamente elevadas.

$$|i_L| = |i_C| = i \cdot \sqrt{\frac{C}{L} \left\{ 1 - \frac{1}{Q^2} \right\}}$$

La relación entre estas corrientes con respecto a la corriente de la fuente en resonancia, que está dado por.

$$\frac{|i_L|}{i_0} = \frac{|i_C|}{i_0} = Q \sqrt{1 - \frac{1}{Q^2}}$$

Cuando el valor de Q es elevado esta razón es aproximadamente a Q , es decir que la corriente de la bobina (o del condensador) es casi Q veces mayor que la de la fuente cuando hay resonancia.

La corriente en el circuito de resonancia paralela se comporta de una manera diferente a la corriente del circuito resonante serie. Esta diferencia deriva de la razón de cuando la impedancia en el circuito serie es mínima a la frecuencia de resonancia, en el circuito paralelo toma un valor máximo igual a L / RC . La curva de variación de la impedancia con la frecuencia es idéntica en su forma a la curva de variación de la corriente en el circuito serie. El ancho de banda se calcula de la misma manera usada para el circuito serie. En este circuito existe la misma relación.

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}$$

PRACTICA
CIRCUITOS RESONANTES

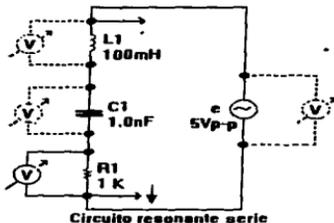
MATERIAL Y EQUIPO:

1. Tablero N°1 y caja de componentes del sistema BASIC-2.
2. Generador de señales.
3. Osciloscopio
4. Voltímetro de C.A.

DESARROLLO.

1. El circuito resonante serie

- 1.1 Arme el circuito de la figura 1, en el circuito N°1 del tablero N°1 del BASIC-2.



NOTA: Asegúrese de mantener la tensión de salida e de la fuente, constante a 5 Vp-p al variar su frecuencia, ya que si no, no se tendrán los resultados deseados.

- 1.2 Varie la frecuencia de la fuente hasta obtener una caída de tensión máxima sobre el resistor R_1 . Anote la frecuencia de resonancia en la tabla 1. Mida la tensión sobre el resistor cuando hay resonancia mediante un voltímetro.

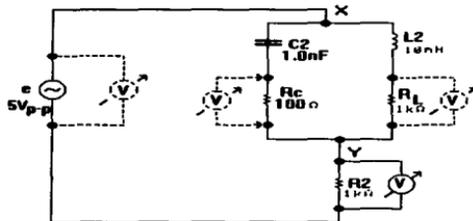
- 1.3 Mida la tensión sobre la bobina y el condensador en resonancia. Anote su medición en la tabla 1.
- 1.4 Conecte el voltímetro sobre el resistor R_1 . Disminuya la frecuencia de la fuente hasta que la lectura del voltímetro sea igual a 0.707 veces el valor que el de la frecuencia de resonancia. Anote las mediciones en la tabla 1
- 1.5 Bajo esta condición mida la tensión sobre la bobina y el condensador. Anote las mediciones en la tabla 1.
- 1.6 Repita los incisos 1.4 y 1.5 para la frecuencia superior de media potencia. Anote sus mediciones en la tabla 1.
- 1.7 Mida el ángulo de fase a la frecuencia de resonancia y a las frecuencias de media potencia. Anote el seno de cada ángulo de fase en la tabla 1.

Frecuencia		f_r (KHz)		f_r (KHz)		f_r (KHz)	
Magnitud medida		$R_1 = 1K$	$R_1 = 2.2k$	$R_1 = 1K$	$R_1 = 2.2K$	$R_1 = 1K$	$R_1 = 2.2K$
f (KHz)	Medida	5.37	5.37	3.79	3.79	6.46	6.46
	Calculada	5.03	5.03	3.82	3.82	6.48	6.48
V_{R_1}	Medida	4.37	4.7	4.25	4.65	4.36	4.7
	Calculada	4.23	4.57	4.16	4.55	4.26	4.83
i_{R_1} (mA)	Medida	4.23	2.88	4.16	2.07	4.20	2.06
	Calculada	4.37	2.10	4.25	2.11	4.26	2.13
V_L (V)	Medida	1.41	0.695	0.988	4.96	1.68	0.832
	Calculada	1.12	0.59	1.03	4.41	1.73	0.879
V_C (V)	Medida	1.36	0.708	1.79	0.960	1.15	0.597
	Calculada	1.7	0.673	1.63	0.893	1.2	0.605
$\sin \phi$	Medida	0.3	0.25	0.56	0.25	0.4	0.22
	Calculada	19.39	16.4	37.8	16.4	23.5	14.26
Δf (kHz)	Medida	5	-----	7	-----	4	-----
	Calculada	1.324	-----	1.355	-----	1.368	-----
Δf (kHz)	Medida	-----	4	-----	5	-----	5
	Calculada	-----	2320	-----	2328	-----	2.462
Q	Medida	0.3162	0.1437	0.3162	0.1437	0.3162	0.1437
	Calculada	0.3148	0.1428	0.3182	0.1479	0.3215	0.1498

Tabla 1: Circuito resonante serie.

2. El circuito resonante paralelo.

2.1 Arme el circuito de la figura 2, en el tablero N°1 del BASIC-2.



Circuito resonante paralelo

- 2.2 Varie la frecuencia de la fuente hasta obtener tensión mínima sobre el resistor R. Anote la frecuencia de resonancia en la tabla 2.
- 2.3 Mida las corrientes a través de la bobina, del condensador y la corriente total, en resonancia. anote los resultados en la tabla 2.
Las corrientes se miden indirectamente, dividiendo la tensión sobre cada resistor por la resistencia correspondiente. Mida el seno del ángulo de fase.
Anote los resultados en la tabla 2.
- 2.4 Aumente la frecuencia de la fuente hasta que la tensión sobre R₁ sea 1.414 veces mayor que la tensión de resonancia. Anote la frecuencia superior de media potencia en la tabla 2.
- 2.5 mida las corrientes, a través del condensador, de la bobina y la total, a la frecuencia superior de media potencia. Anote los resultados en la tabla 2. Mida el seno del ángulo de fase y anote el resultado en la tabla 2. Asegúrese de mantener la tensión de la fuente constante a 5 Vp-p, en cada cambio de frecuencia.
- 2.6 Repita los incisos 2.4 y 2.5 para la frecuencia inferior de media potencia.

2.7 Repita las mediciones luego de haber sustituido al resistor R_1 por el resistor 2.2K.

Frecuencia Magnitud medida	f_r (KHz)		f_r (KHz)		f_r (KHz)	
	$R_1 = 1K$	$R_1 = 2.2k$	$R_1 = 1K$	$R_1 = 2.2K$	$R_1 = 1K$	$R_1 = 2.2K$
f (KHz)	Medida 50.0	50.0	70.7	70.7	99	99
	Calculada 50.3	50.3	71.3	71.3	100.1	100.1
i_c (mA)	Medida 2.11	1.05	7.96	0.83	0.76	6.41
	Calculada 1.58	0.97	7.32	0.789	0.68	6.56
i_1 (mA)	Medida 49.4	0.05	0.17	0.01	0.0	0.01
	Calculada 46.3	0.03	0.14	0.00	0.0	0.0
i_r (mA)	Medida 2.15	1.07	7.99	0.86	0.78	6.49
	Calculada 1.58	1.0	7.46	0.78	0.68	6.5
$\sin \phi$	Medida 0.41	0.57	0.71	0.43	0.5	0.53
ϕ	Medida 22	30	45	23	31	30
	Calculada 24.6	34.8	45.23	25.94	32	32.2
Δf (KHz)	Medida 8	---	7	---	6	---
$R_1 = 1K$	Medida 1.31	---	1.280	---	1.32	---
Δf (KHz)	Medida ---	6	---	4	---	3
$R_1 = 2.2K$	Medida ---	3.30	---	3.25	---	3.33
Q	Medida 0.316	0.143	0.316	0.143	0.316	0.14
	Calculada 0.323	0.154	0.319	0.15	0.32	0.16

Tabla 2: Circuito resonante paralelo.

NOTA: Los cálculos que se piden en la tabla hacerlos por separado y entregarlos.

CUESTIONARIO

1. Describir los comportamientos de los circuitos resonantes serie y paralelo en resonancia.
2. Cómo influye el factor de mérito en los circuitos resonantes.
3. Cómo influye la resistencia de la bobina en un circuito resonante paralelo, sobre la frecuencia de resonancia.
4. Mencione usos posibles de los circuitos resonantes serie y paralelo.
5. Cuales son los métodos prácticos para la medición del ancho de banda en un circuito resonante serie.

CONCLUSIONES

TRANSFORMADORES

OBJETIVO.

1. El alumno analizará los principios básicos del transformador
2. El alumno comprobará el uso del transformador para la adaptación de tensión.
3. El alumno analizará la relación de corriente en el transformador.
4. El alumno analizará la respuesta en frecuencia.

INTRODUCCION

Los transformadores son dispositivos diseñados para transferir energía eléctrica de un circuito al otro. La conexión entre los dos circuitos para lograr esta transferencia se efectúa por medio de un campo magnético. Además de efectuar esta transferencia de energía, los transformadores son capaces de entregar valores diferentes de corriente o voltaje de c.a. en sus terminales de salida de los valores aplicados en los terminales de entrada.

La habilidad de los transformadores para elevar o bajar los niveles de los voltajes y corrientes de c.a. se emplea en los sistemas de distribución de potencia eléctrica y en los medidores de c.a. Esta propiedad también se utiliza en los circuitos electrónicos para obtener alto voltaje o para acople de impedancias. La capacidad de transferir energía por medio de un campo magnético permite que se usen para crear conexiones aisladas. (Conexiones aisladas son aquellas en las cuales no es necesaria una unión física entre los circuitos).

Los transformadores operan en base al fenómeno eléctrico de la *inductancia mutua*. La inductancia mutua es el efecto que se da cuando el campo magnético de un elemento también influencia a otros elementos a su alrededor. Como resultado de este acople magnético se inducen corrientes y voltajes en estos elementos. Si bien la inductancia mutua puede ser un efecto indeseable en algunos casos, la operación de un transformador se basa completamente en el uso de este efecto.

El transformador consiste de dos bobinas (llamadas *primario y secundario*) devanadas alrededor de un núcleo común de material ferromagnético (fig. 1) Si una corriente fluye en el devanado primario entonces se crea un campo magnético que esta restringido únicamente al núcleo alrededor del cual está devanado el primario. Si otro devanado (llamado el secundario) también se devana en el mismo núcleo, el campo magnético creado por el primario estabonará este devanado secundario.

Si la corriente en el primario es estacionaria (c.d.) no afectara la bobina secundaria porque el campo magnético también será constante. En particular, no fluirá corriente en la bobina secundaria.



Diagrama de un transformador

Si la corriente en el primario es variable (a) en vez de ser una corriente estacionaria, el campo magnético en el núcleo también variará. Puesto que un campo magnético variable luce para un conductor como un campo en movimiento, las cargas libres se mueven y originan un flujo de corriente. De esta forma, una corriente variable en el primario origina una corriente en el secundario de un transformador.

El flujo de corriente inducido en el secundario también tiene un voltaje asociado con ella.

La ley de Faraday dice que la magnitud del voltaje inducido por un flujo magnético variable en una bobina de N vueltas está dado por:

$$v = NK \frac{d\phi}{dt} = M \frac{di}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

donde: M es la inductancia mutua que existe entre las bobinas.

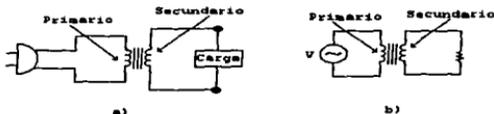
En un transformador ideal todo el flujo magnético creado por la bobina primaria eslabona el secundario. Luego el voltaje en los terminales del secundario depende de la ruta de cambio de la corriente en el primario.

$$V_2 = M \frac{di_1}{dt} \dots \dots \dots (2)$$

La razón del número de vueltas del primario al número de vueltas del secundario es una cantidad importante y se escribe como:

$$\text{Relación de vueltas} = N_p / N_s \dots \dots \dots (3)$$

En esta ecuación, N_p es el número de vueltas del primario y N_s es el número de vueltas del secundario. La relación de vueltas es la que determina que tanto un transformador eleva o baja un voltaje (ver figura 2).



a) Transformador elevador de voltaje $N_p < N_s$
 b) Transformador reductor de voltaje $N_p > N_s$

En efecto, la razón del voltaje a través del primario (V_p) al voltaje a través del secundario (V_s) es igual a la relación de vueltas.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots \dots \dots (4)$$

Ejemplo. Se tiene un transformador elevador con una relación de 1:10. Si este transformador se conecta a la línea. ¿Cuál será su voltaje de salida?

Solución. Utilizando la ecuación 4 se tiene.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$V_s = V_p \times \frac{N_s}{N_p} = 115 \times \frac{10}{1}$$

$$V_s = 1.150V$$

En la práctica el voltaje de salida del transformador del ejemplo anterior es un poco menor que el voltaje calculado. La resistencia y las pérdidas en el núcleo que existen reducen la salida ideal de la bobina secundaria. Estas pérdidas se pueden calcular y el diseñador puede añadir unas vueltas al secundario para garantizar la relación específica de voltaje.

Aun cuando el transformador pueda aumentar o disminuir el voltaje, esto se hace aumentando o disminuyendo la corriente respectivamente.

Por lo que se deduce que un transformador elevador de voltaje es un reductor de corriente. Por ejemplo, un transformador que eleva el voltaje por un factor de cinco va a disminuir la corriente en el secundario hasta un valor de un quinto de la corriente en el primario. Matemáticamente, esto se expresa así:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \dots\dots\dots (5)$$

donde: I_p e I_s son las corrientes en las bobinas primarias y secundarias.

Además de elevar y disminuir voltajes y corrientes, un transformador puede hacer que la impedancia de la carga conectada en el secundario tenga un valor diferente cuando se mide desde el devanado primario. Esto permite emplear el transformador como un dispositivo para acoplar impedancias.

Por ejemplo, una carga resistiva conectada a través del devanado secundario parece tener un valor diferente si se mira a través del devanado primario, esto permite emplear el transformador como un dispositivo para acoplar impedancias. Cuantitativamente, la resistencia de carga R_{eq} aparece igual a R_l que se calcula por medio de:

$$R_{eq} = \left[\frac{N_p^2}{N_s^2} \right] \cdot R_l \dots\dots\dots (6)$$

Ejemplo. Una carga de 10 ohms de impedancia se conecta a través del secundario de un transformador con una relación de vueltas de 8:1. ¿Cuál es la impedancia que aparece a través del devanado primario?

Solución. De la ecuación 6 tenemos.

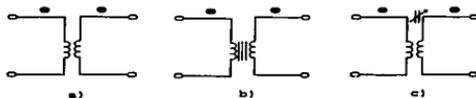
$$R_p = \left[\frac{N_p}{N_s} \right]^2 R_s$$

$$R_p = (64)(10)$$

$$R_p = R_{eq} = 640\Omega$$

Además del acople de impedancias, el transformador conecta dos partes de un circuito sin una conexión eléctrica entre ellas. Puesto que únicamente efectos magnéticos unen las dos partes, permanecen aisladas eléctricamente una de la otra. Esta es una propiedad muy útil cuando se desea restringir un alto nivel de voltaje de corriente directa a una parte de un sistema. Cuando se emplea un transformador aislador la componente de corriente alterna de la señal se acopla entre las dos partes del circuito mientras que el nivel de corriente directa no se transfiere.

Los símbolos usados para los transformadores se muestran en la figura 3. Las polaridades de las bobinas del transformador se indican por medio de los puntos.



Símbolos para transformadores a) Transformador con núcleo de aire b) Transformador con núcleo de hierro c) Transformador con núcleo variable

PRACTICA TRANSFORMADORES

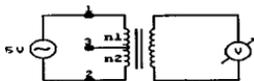
MATERIAL Y EQUIPO

1. Tablero N° 3 y caja de componentes del BASIC - 2.
2. Década de resistencias.
3. Voltímetro electrónico de C. A.
4. Generador de señales.

DESARROLLO.

1. EL TRANSFORMADOR EN CIRCUITO ABIERTO.

- 1.1 Arme el circuito de la figura 1, en el tablero N° 3 del BASIC - 2.

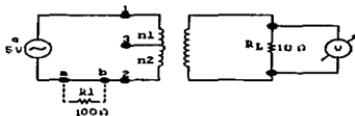


El transformador en circuito abierto

- 1.2 Fije la frecuencia del generador de señales a 1 KHz y el nivel de salida a 5 o más volts (con la carga conectada).
- 1.3 Mida la tensión sobre el arrollamiento del secundario. Anote la medición en la tabla 1.
- 1.4 Conecte el generador de señales a los terminales 2 y 3 de la figura 1. Con el nivel de salida del generador fijo en 5V, repita la medición de la tensión sobre el arrollamiento del secundario. Anote la medición en la tabla 1.
- 1.5 Conecte un resistor de 1K en serie con el primario y con el nivel de salida del generador de señales fijo en 5V, vuelva a conectar el generador entre los puntos 1 y 2.
- 1.6 Mida la caída de tensión sobre el resistor, anote la medición en la tabla 1. Esta tensión es proporcional a la corriente del primario. Si o No.

2 EL TRANSFORMADOR EN CARGA.

2.1 Arme el circuito de la figura 2.



El transformador con carga

- 2.2 Mida la tensión sobre el arrollamiento del secundario en carga. Anote el resultado en la tabla 1. Además conecte una década de resistencias en lugar de R_L .
- 2.3 De la figura 2, abra el circuito del primario (desconectando los cortocircuitos) en los puntos marcados "a" y "b". Mida la caída de tensión sobre el resistor. Anote los resultados en la tabla 1.
- 2.4 Repita el inciso con el generador de señales conectando a los terminales de n_2 , puntos 2 y 3.

Magnitud medida.	Puntos de conexión del generador de señales	E_s Circuito Abierto (V)	T	VR_1 Circuito Abierto (V)	I_1 Circuito abierto (mA)	E_s en carga (V)	I_2 en carga (mA)		VR_1 en carga (V)	I_1 en carga (mA)	
							Medida	Calculada		Medida	calculada
1-2		1,9		12,7	55,4	1,06	42,0	42,6	1,7	17,0	17,33
2-3		1,9		-----	-----	2,3	34,0	34,49	2,6	25,0	25,32

TABLA 1: El transformador en circuito abierto y con carga

3 EL TRANSFORMADOR ADAPTADOR DE IMPEDANCIAS

- 3.1 Arme el circuito de la figura 3. En lugar del resistor conecte la década de resistencias (se debe desconectar el cortocircuito del resistor).
- 3.2 Fije la década de resistencias a cero y mida la tensión de la carga, aumente la resistencia de la década hasta que la tensión de la carga tenga la mitad del valor anterior. Anote este valor de la resistencia de la década.

- 3.3 Repita el inciso con el generador de señales conectado a los terminales de n_2 puntos 2 y 3.

Magnitud medida. Puntos entre los que se conecta el generador.	Medida	Resistencia reflejada (Ω)	
		Medida	Calculada
1 - 2	32.6	400	427
3 - 3	61.5	300	316

TABLA 2: El transformador adaptador de impedancias.

4 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL TRANSFORMADOR.

- 4.1 Conecte el circuito de la figura 2, en lugar del resistor conecte un cortocircuito.
- 4.2 Fije la frecuencia del generador de señales a 50 Hz y el nivel de salida a 5V. Mida la tensión del secundario. Anote el resultado en la tabla 3.
- 4.3 Repita el inciso anterior para cada una de las frecuencias dadas a continuación, asegúrese que la señal del generador se mantenga en 5V para cada frecuencia.

Frecuencia Hz	e_0 (V)
20000	0.777
18000	0.758
16000	0.762
14000	0.767
12000	0.770
10000	0.772
9000	0.773
8000	0.774
7000	0.775
6000	0.776
5000	0.778
4000	0.780
2000	0.786
1000	0.788
800	0.788
600	0.788
400	0.787
200	0.785
100	0.764
50	0.500

TABLA 3: Respuesta en frecuencia del transformador.

Se ha concluido la practica. Apague los instrumentos y devuelva el equipo.

NOTA: Los cálculos que se piden en las tablas hacerlos en hojas aparte y entregarlas.

CUESTIONARIO

- 1. Con los datos obtenidos en la tabla 1, calcule la relación de vueltas y anote el resultado en la misma tabla.**
- 2. Explique el principio del funcionamiento del transformador.**
- 3. Dibuje la curva de respuesta del transformador mediante los datos de la tabla 3.**
- 4. Cómo pueden ser clasificadas las pérdidas del transformador.**
- 5. Cómo se calcula el rendimiento de un transformador.**

ATENUADORES

OBJETIVO

1. El alumno realizará pruebas con redes de cuatro terminales.
2. El alumno definirá la impedancia de entrada e impedancia de salida de una red.
3. Definición de la impedancia característica.
4. El alumno analizará las características de redes conectadas en serie.
5. El alumno conocerá las características de un atenuador.
6. El alumno se familiarizará con el método de diseño de redes.

INTRODUCCION:

El atenuador es una de resistencias que se emplea para reducir el voltaje, la corriente o la potencia en cantidades controlables y conocidas que son independientes de la frecuencia.

Las resistencias en un circuito atenuador pueden conectarse de varias maneras:

- 1.- De forma que las impedancias de entrada y salida sean iguales.
- 2.- De forma que las impedancias de entrada y de salida sean diferentes.
- 3.- De forma que den lugar a atenuaciones de diferente magnitud.

Algunas de las formas en las que se conectan las resistencias para formar un atenuador son los circuitos de tipo L, T, H, . O. escalera y en T puenteada. Cuando se emplean solamente resistencias fijas en la red, la atenuación es una cantidad fija y determinada por el tipo de red y los valores de las resistencias empleadas. A este tipo de red se le llama a veces alternador fijo. Cuando alguna de las resistencias es variable, la magnitud de la atenuación puede controlarse modificando una o más de las resistencias variables. Este tipo de red se llama a veces, atenuador variable.

La magnitud de la atenuación producida por una red se expresa por:

$$\alpha = I_L / I_{L_0}$$

donde: α = constante de transferencia imagen
 I_L = corriente de carga sin atenuador
 I_{L_0} = corriente de carga con atenuador

Atenuador en L.

El atenuador es una red no compensada que consta de dos resistencias, una colocada en una de las ramas en serie y la otra en la rama en la derivación. Estas resistencias tienen valores que una de las impedancias, imagen del atenuador permanece constante, independientemente de la magnitud de la atenuación.

El atenuador en L tendrá por consiguiente, una impedancia, que será independiente de la atenuación, en el extremo de entrada o salida. A causa de esta característica, el atenuador en L se emplea generalmente cuando se conectan varias cargas diferentes a una fuente de potencia común y hay que variar la energía consumida en cada carga sin modificar la impedancia ofrecida a la fuente de la señal.

Atenuador en T

Este tipo de atenuador es una red no compensada en la que están dispuestas tres resistencias formando la letra T. Las resistencias en las ramas en serie, R_1 y R_2 son generalmente del mismo valor para hacer que la impedancia imagen de entrada R_e sea igual a la impedancia imagen de salida R_s . Se emplea generalmente al atenuador en T cuando la magnitud de la atenuación o la presencia de la red no tienen efecto sobre las relaciones de impedancia del circuito. Esto se consigue haciendo que la impedancia imagen del atenuador sea igual a R_e o R_s . Este tipo de atenuador, tendrá una impedancia constante en los terminales de entrada y salida independientemente de la magnitud de la atenuación.

Atenuador en H.

Este atenuador es una red en T compensada en la que se disponen cinco resistencias de manera que forman una letra H cuando se mira lateralmente. Se puede hacer una red compensada en H para obtener las mismas características que la red no compensada en T. Esto se consigue haciendo que las resistencias en todas las ramas en serie sean iguales entre sí e iguales también a la mitad del valor requerido por la resistencia empleada en la rama serie de un atenuador en T. En el circuito indicado con (d), $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = a$ a la mitad de la resistencia R_3 o R_3 de la figura (c).

Atenuador en π .

El atenuador en π es una red no compensada que contiene tres resistencias conectadas para formar la letra griega π figura (e). En este tipo de atenuador, las resistencias de las ramas en derivación, R_1 y R_2 son normalmente del mismo valor para conseguir que la impedancia imagen de entrada sea igual a la impedancia imagen de salida. El atenuador en π puede ser proyectado para producir las mismas características operativas que el atenuador en T, o sea que las relaciones de impedancia del circuito no sean afectadas por ningún cambio en la atenuación de la red.

Atenuador en O.

El atenuador en O es una red compensada que contiene cuatro resistencias conectadas de manera que forman una letra O figura (f). Se puede hacer una red compensada en O para producir las mismas características operativas que la red en π no compensada.

Esto se consigue haciendo que las dos resistencias en las ramas en serie sean del mismo valor e iguales a la mitad del valor de la resistencia empleada en la rama serie de un atenuador en π . En el circuito dibujado en la figura (f), $R_4 = R_5 = a$ a la mitad de la resistencia de R_3 de la figura (e).

Atenuador en escalera.

Este atenuador consta de un conjunto de dos o más redes simétricas de sección en π . La disposición indicada en la figura (g), consta de tres secciones en π en cascada. Los valores de las resistencias empleadas en la rama serie y derivación en cada sección son tales que producen impedancias imagen en cada extremo que son iguales a las impedancias imagen entrada y salida. Se aprecia que R_1 , R_2 , y R_3 , representan las ramas serie de las secciones en π , 1, 2, y 3, respectivamente; R_4 y R_5 , las ramas en la derivación en serie 1, y 3, respectivamente; R_6 y R_7 . La resistencia equivalente de las dos ramas en derivación adyacente de las secciones 2 y 3, respectivamente. La impedancia entre cualquier punto de unión y el lado común de un atenuador en escalera es igual a la mitad de la impedancia imagen.

La atenuación total de una red en escalera es igual al producto de las atenuaciones de todas las secciones. Así, si la constante de transferencia imagen de cada sección es diez cada sección reducirá la corriente de carga a 1/10 de su valor y la atenuación total de un atenuador de tres secciones será $1/10 \times 1/10 \times 1/10$ o sea 1/1.000. Las redes en escalera se emplean en equipos electrónicos, tales como generadores de señal, donde se requiere que el voltaje y la corriente sean reducidos con arreglo a relaciones conocidas. Cuando se conectan los terminales de unión de varios atenuadores en escalera como el de la figura (g) a los terminales de un conmutador giratorio y se emplean valores que produzcan un $\alpha = 10$, se pueden obtener atenuaciones de 0, 1/10, 1/100, y 1/1000.

Atenuador en T punteada.

Un atenuador en T punteada consta de cuatro resistencias conectadas como muestra la figura (h). Para obtener un valor constante de la impedancia imagen que sea independiente de la atenuación, las cuatro resistencias han de tener el siguiente valor: $R_1 = R_4 = R_i$ y $R_2 = R_3 = R_i^2$. Este tipo de atenuador es equivalente al atenuador sencillo en T. Sin embargo, para conseguir una atenuación variable con valores constantes de la impedancia imagen, la red en T punteada necesita que solo sean variables las resistencias R_2 y R_3 , mientras que la red en T sencilla requiere que las tres resistencias sean variables.

Cálculos de circuitos atenuadores.

El diseño de atenuadores es una especialidad dentro de la electrónica. Las siguientes ecuaciones son válidas solamente para atenuadores en L, en T y en π . Para el atenuador tipo L de resistencias sencillas de la figura (a) que suministra energía a una carga R_L .

$$R_1 = \frac{R_L (K - 1)}{K}$$

$$R_2 = \frac{R_L}{K - 1}$$

$$K = \frac{e_i}{e_o}$$

Ejemplo

Una carga de 1.000 ohmios es alimentada por una fuente de d-c de 100 V. Se desea reducir el voltaje de carga a 10 V por medio de un atenuador tipo L similar al de la figura (a) y conservar aún una situación de carga de 1.000 ohmios en la fuente de energía. a) ¿Cuáles son los valores de K, R_1 y R_2 ? Empleando los valores obtenidos en el aparato, a), b) calcular la resistencia en los terminales de la fuente de energía. c) comprobar el voltaje de salida y el valor de K.

Datos: $R_L = 1.000$ ohmios $e_i = 100V$ $e_o = 10V$

Encontrar: a) K, R_1 , R_2 b) R c) e_o , K

Solución:

$$a) K = \frac{e_i}{e_o} = \frac{100}{10} = 10$$

$$R_1 = \frac{R_L (K - 1)}{K} = \frac{1000(10 - 1)}{10} = 900 \text{ohmios}$$

$$R_2 = \frac{R_L}{K - 1} = \frac{1.000}{10 - 1} = 111.1 \text{ohmios}$$

$$b) R_1 = R_1 + R = 900 + 100 = 1000 \text{ohmios}$$

$$\text{en donde } R = \frac{R_2 R_L}{R_2 + R_L} = \frac{111.1 \times 1.000}{111.1 + 1.000} = 100 \text{ohmios}$$

$$c) e_o = \frac{e_i R}{R_1 + R} = \frac{100 \times 100}{900 + 100} = 10 \text{volts}$$

$$K = \frac{e_i}{e_o} = \frac{100}{10} = 10$$

Para un circuito atenuador del tipo T de resistencias y que suministra energía a una carga R_L , tenemos (para la figura c):

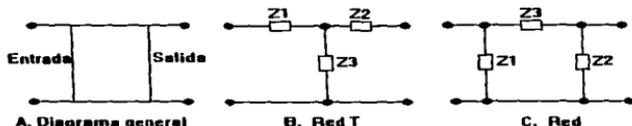
$$R_1 = R_3 = R_L \frac{K-1}{K+1}$$

$$R_2 = \frac{2R_L K}{K^2 - 1}$$

$$K = \frac{e_i}{e_o}$$

Las redes Cuadripolos.

La figura 1 nos muestra un diagrama general de una red cuadripolo; en las cuales se encuentran redes simétricas π y T. En este experimento trataremos con redes simétricas solamente, es decir que en ellas $Z_i = Z_o$.

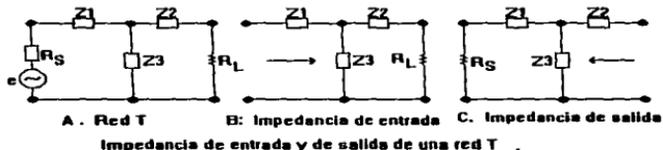


Redes cuadripolos

Se define a la impedancia de entrada de una red cuadripolo como la impedancia "vista" por la fuente en dirección a la carga, cuando la red está cargada.

La impedancia de salida de una red es "vista" por la carga en dirección a la fuente, cuando la fuente está cortocircuitada.

Se muestran a continuación las impedancias de entrada y salida de una red T.



Las impedancias de entrada y salida pueden ser calculadas en base a la figura mencionada arriba. Las expresiones matemáticas de las impedancias están dadas por las ecuaciones:

$$Z_{en} = Z_1 + \frac{Z_3(Z_2 + R_L)}{Z_3 + Z_2 + R_L}$$

$$Z_{sal} = Z_1 + \frac{Z_3(Z_1 + R_L)}{Z_3 + Z_1 + R_L}$$

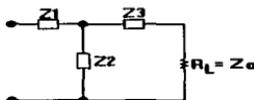
donde:

Z_{en} = impedancia de entrada

Z_{sal} = impedancia de salida

El parámetro que define la impedancia característica de un cuadripolo es de la siguiente manera: Si la carga de la red es igual a la impedancia característica de la misma, la impedancia de entrada también es igual a la impedancia característica. Se da por medio de la ecuación:

$$Z_0 = \sqrt{Z_1^2 + 2Z_1Z_2}$$

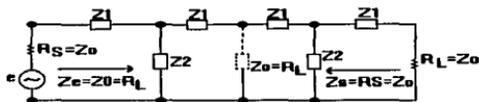


Red T cargada con la impedancia característica

Conexión de redes en serie.

Cuando se conectan varias redes simétricas, teniendo todas las redes la misma impedancia característica Z_0 . Si se conecta una carga de impedancia igual a Z_0 a la última de estas redes, se puede considerar a toda la cadena de redes como una red única con impedancia de entrada y de salida fijas.

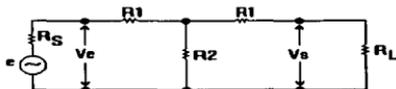
Una conexión de dos redes en serie se muestra en la figura siguiente.



Conexión en serie de dos redes T

EL ATENUADOR.

Se puede variar a la tensión o a la corriente mediante un potenciómetro, siempre que no haya una exigencia de que las impedancias de entrada y de salida sean constantes. Por esta razón, se emplea generalmente un atenuador cuando se desea mantener las impedancias de entrada y de salida constantes.



Atenuador simétrico T

La red de un atenuador debe cumplir con las siguientes condiciones:

- A. Impedancia de entrada y de salida adecuadas.
- B. Atenuación de acuerdo a lo especificado.

La atenuación se mide en decibels, como se indica a continuación:

$$\text{Atenuación de decibels} = 20 \log_{10} \frac{P_i}{P_o} = 20 \log_{10} \sqrt{\frac{P_i}{P_o}}$$

donde: P_i es la potencia de entrada
 P_o es la potencia de salida

El término $\sqrt{\frac{P_i}{P_o}}$ es el coeficiente de atenuación y se le denomina α .

En una red simétrica en la cual la entrada y la salida están adaptadas a una misma impedancia, el valor del coeficiente de atenuación (α) es igual a la razón entre la tensión de salida y la tensión de entrada.

Para diseñar una red atenuadora se necesitan la impedancia característica y la atenuación requerida. Las ecuaciones que relacionan la atenuación, la impedancia característica y las resistencias de un atenuador simétrico T, son:

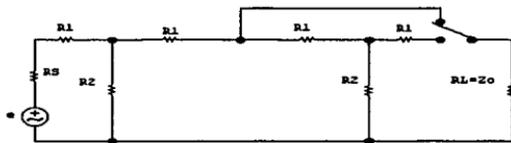
$$\alpha = \frac{R_1 + R_2 + Z_0}{R_2}$$

$$R_1 = Z_0 \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1}$$

$$R_2 = Z_0 \frac{2\alpha}{\alpha^2 - 1}$$

$$Z_0 = \sqrt{R_1^2 + 2R_1R_2}$$

Cuando se desea obtener una atenuación variable, se debe utilizar un atenuador como se muestra enseguida. En donde la atenuación de todo el circuito es igual al producto de las atenuaciones de cada red por separado.



PRACTICA ATENUADORES

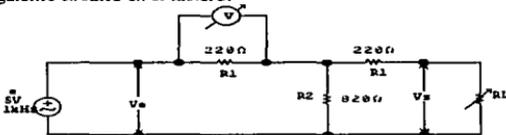
EQUIPO Y MATERIAL.

1. Tablero N°5 y caja de componentes del sistema BASIC-2
2. Voltímetro electrónico de C.A.
3. Generador de señales.
4. Década de resistencias.

DESARROLLO:

1. Impedancia característica.

- 1.1 Arme el siguiente circuito en el tablero.



Circuito para la medición de la impedancia característica.

- 1.2 Varie la década de resistencias como se indica en la tabla 1, manteniendo el generador de señales en 5 voltios. Mida en cada caso la tensión sobre el resistor R_1 izquierdo. Anote los resultados en la tabla 1.

Magnitud medida R_1 (Ω)	V_a (V)	V_b (V)	R_0 (Ω) Medida	R_0 (Ω) Calculada
330	5.54	1.93	170	178.6
390	5.55	1.87	191	197.2
470	5.57	1.79	208	210.4
560	5.59	1.72	224	228.5
680	5.61	1.65	239	242.6
1000	5.61	1.51	258	262.3

Tabla 1. Resistencia de entrada e impedancia característica.

- 1.3 En base a los datos obtenidos calcule la impedancia característica:

$$Z_0 = \underline{\quad 64^{\circ} \quad}$$

2. Coeficiente de atenuación

- 2.1 Cargue al circuito, figura 1, con una resistencia igual a la de Z_0 calculada en el párrafo anterior.
- 2.2 Fije la tensión de salida del generador en 5 voltios. Mida la tensión de salida y anote el resultado en la tabla 2.

V_m (V)	V_{ms} (V)	α Medida	α Calculada
5	2.5	1080	1040.8

Tabla 2 Factor de atenuación.

3. La impedancia de entrada en dos redes conectadas en serie.

- 3.1 Arme el siguiente circuito, figura 2:

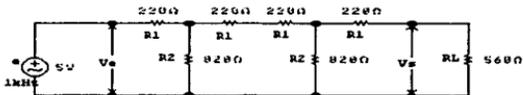


Figura 2. Conexión de dos redes iguales en serie

- 3.2 Mida la caída de tensión sobre el resistor R_1 que está más a la derecha y anote el resultado en la tabla 3

V_m (V)	V_{R_1} (V)	R_m (Ω) Medida	R_m (Ω) Calculada
5	1.69	2.68	220.26

Tabla 3 Impedancia de entrada de dos redes iguales conectadas en serie

4. Atenuación de dos redes iguales conectadas en serie.

4.1 Mida la tensión de salida del circuito de la figura 2, y anote los resultados en la tabla 4.

V_{in} (V)	V_{out} (V)	α Medida	α Calculada
5	1.147	625	618.7

Tabla 4 Atenuación de dos redes iguales conectadas en paralelo

CUESTIONARIO.

1. ¿Que es un atenuador?
2. ¿Que es la impedancia de entrada de un cuadripolo?
3. Calcule la resistencia de entrada en base a los valores obtenidos de la tabla 3 y anotelo en la misma tabla.
4. Calcule el coeficiente de atenuación en base a los resultados anotados en la tabla 4 y anotelo en dicha tabla.
5. Cuantos tipos de atenuadores hay (los más comunes).

CONCLUSIONES.

FILTROS.

OBJETIVO.

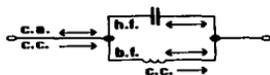
1. El alumno conocerá los parámetros y cálculos del filtro.
2. El alumno analizará el filtro pasa bajos.
3. El alumno analizará el filtro pasa altos.
4. El alumno analizará el filtro pasa banda.
5. El alumno analizará el filtro rechaza banda.

INTRODUCCION.

En general se puede considerar a un *filtro* como dispositivo para separar diferentes corrientes o tensiones. Su principio se basa en varias propiedades inherentes, siete de las cuales son relativamente importantes en el estudio de la acción del filtro.

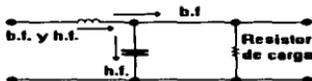
1. Una bobina presenta menos oposición a la corriente continua que a la corriente alterna.
2. Un condensador bloquea completamente la corriente continua y presenta más oposición a una corriente de baja frecuencia que a una de alta frecuencia.
3. Un circuito resonante presenta baja impedancia en la resonancia, y la impedancia aumenta a medida que la frecuencia se aparta de la resonancia.
4. Un circuito resonante paralelo presenta alta impedancia en la resonancia, y ésta disminuye a medida que se aparta de la resonancia.
5. La oposición que un circuito inductivo puro presenta a la corriente alterna aumenta cuando aumenta la frecuencia.
6. La oposición que un circuito capacitivo puro presenta a la corriente alterna disminuye cuando aumenta la frecuencia.
7. Los resistores solos no proporcionan acción de filtro debido a que se oponen tanto a la corriente alterna como a la corriente continua. Sin embargo, el valor de la resistencia del circuito afecta a la agudeza de la acción de filtro. Cuando aumenta la resistencia, también aumenta la impedancia y la banda de frecuencias que deja pasar el filtro es más ancha. Recíprocamente, la disminución de la resistencia hace que disminuya la impedancia y la acción del filtro es más aguda.

La figura siguiente muestra los caminos de la corriente



Camino de las corrientes de diferentes frecuencias en la bobina y el condensador

Filtro de paso bajo. Este filtro está destinado a dejar pasar la corriente continua y las señales de c.a. cuya frecuencia sea inferior a la de 'corte', al mismo tiempo que atenúa las de frecuencia superior a la de corte. Lo mismo que en la mayoría de filtros, está constituido por una combinación de condensadores, bobinas y resistencias. Puede ser conectado como resonante serie o resonante paralelo, o como ambos.

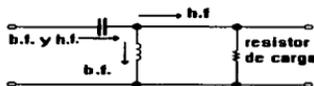


Filtro de paso bajo con indicación de los caminos de las corrientes baja y alta frecuencia

La figura anterior representa un *filtro de paso bajo* simple. La inductancia insertada en la línea presentará poca oposición a las corrientes de baja frecuencia (b.f) y la oposición aumentará cuando las frecuencias de las corrientes sean más altas. Como $X_L = 2\pi fL$, la reactancia inductiva se reduce cuando aumenta la frecuencia. El condensador se conecta en paralelo con la tensión aplicada como desacople para desviar las altas frecuencias (h.f) no deseadas devolviéndolas a la fuente. El valor del condensador se elige de modo que presente poca oposición a la corriente en todas las frecuencias superiores a la de corte y mucha oposición a las de frecuencia inferior a ésta.

Como la corriente sigue siempre el camino de menor resistencia, entre los terminales de la fuente aparecerán las corrientes de alta frecuencia. Aunque las corrientes de frecuencias altas y bajas están presentes en la fuente, el efecto resultante del filtro de paso bajo es ofrecer poca impedancia u oposición a las corrientes de baja frecuencia y alta impedancia a las corrientes de alta frecuencia, cortocircuitando parcialmente los conductores de la línea en cuanto a estas últimas.

Filtro de paso alto. Este tipo de filtro permite que todas las corrientes cuya frecuencia sea superior a un cierto valor pasen por el circuito mientras rechaza o atenúa las que tengan una frecuencia inferior a una predeterminada de corte.

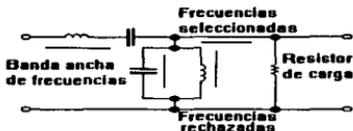


Filtro de paso alto con indicación de los caminos de las corrientes de baja y alta frecuencia

La figura anterior, representa un tipo sencillo de *filtro de paso alto*. El condensador de la línea presenta poca oposición a las corrientes de alta frecuencia, pero su oposición es grande a medida que disminuye la frecuencia. También bloqueará la corriente continua.

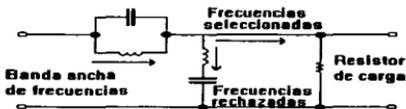
Cuando se proyecta un filtro de paso alto, se debe elegir el condensador con un valor que permita el paso de las corrientes superiores a la de corte y rechace todas las de frecuencia inferior a este valor. La bobina conectada en paralelo con la tensión de fuente se utiliza para desacoplar o desviar las corrientes de baja frecuencia no deseadas. Puesto que la reactancia inductiva disminuye con la frecuencia, las corrientes de baja frecuencia encontrarán poca o ninguna oposición en la bobina; por el contrario, las corrientes de alta frecuencia encontrarán una alta impedancia, que tendrían que vencer para llegar al resistor de carga.

Filtro de paso de banda. Se llama *filtro de paso de banda* al proyectado para dejar pasar las corrientes de una estrecha banda de frecuencias en un circuito y rechazar todas las frecuencias superiores e inferiores a esta banda. Se ha visto que en un circuito resonante serie presenta una baja impedancia a las corrientes de frecuencias cercanas a la resonante, o esta última, y una alta impedancia a todas las otras. Además, un circuito resonante paralelo ofrecerá una alta impedancia a las corrientes de frecuencias cercanas a la resonancia, o a ésta, y baja impedancia a todas las otras. Conectando estos circuitos entre sí, como en la figura (1), se formará un *filtro sencillo de paso de banda*. Ambos circuitos se proyectan de modo que sean resonantes en la frecuencia central de la banda cuyo paso se desea. El circuito serie presenta la más baja impedancia en la resonancia y hará pasar todas las frecuencias incluidas en la banda; el circuito resonante paralelo presentará alta impedancia a estas frecuencias y las obligará a que continúen recorriendo el circuito serie. Cualquier corriente cuya frecuencia esté fuera de esta banda encontrará una alta impedancia a consecuencia del circuito resonante paralelo. Por tanto, las frecuencias que no sean las que la banda desea, serán desviadas a través de este último circuito.



Filtro de paso de banda con indicación de los caminos de las frecuencias indeseadas y deseadas

Filtro de eliminación de banda. A este tipo de filtro se le suele denominar también de *supresión de banda* y de *exclusión de banda*. Su función es opuesta a la del filtro de paso de banda y su principio de funcionamiento es el mismo en cuanto se emplean circuitos resonantes serie y resonante paralelo; sin embargo su posición relativa en el circuito es la inversa. El circuito resonante serie se conecta en paralelo con la tensión aplicada, mientras el circuito resonante en paralelo está conectado en serie con la línea. Ambos circuitos se calculan para que sean resonantes en la frecuencia central de la banda a eliminar. Como el circuito paralelo presenta la más alta impedancia en la resonancia o cerca de la resonancia, estas frecuencias serán rechazadas y desacopladas o desviadas por el camino de menor oposición que presenta el circuito serie. La figura siguiente representa una forma sencilla de *filtro de eliminación de banda*.

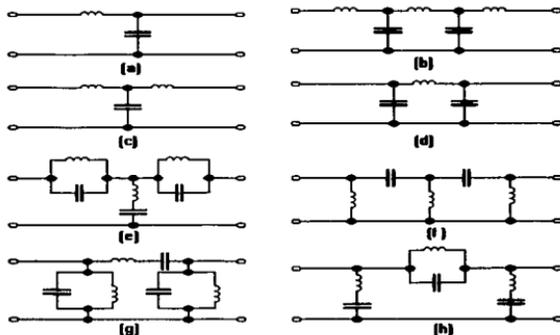


Filtro de eliminación de banda con indicación del camino que siguen las frecuencias admitidas y las rechazadas.

Características de filtro.

Para propósitos de explicación, cada uno de los filtros mencionados está representado por una sola sección. aunque es posible conseguir todo el efecto del filtro con una sola sección, la adición de bobinas, condensadores y circuitos resonantes aumentará la efectividad o agudeza de la acción de filtro. Una vez añadido estos componentes los filtros recuerdan la forma de algunas letras cuando se observan en un esquema de circuito. Por ejemplo, añadiendo una bobina a un filtro de paso bajo simple, su aspecto en un esquema será como el de la letra T. Un filtro compuesto por una bobina y un condensador le da una forma parecida al de la letra L, mientras la adición de una bobina o un condensador en paralelo con la línea representará una forma parecida a la letra griega π .

Por razones obvias, a los filtros se les denomina por su aspecto en un circuito, así como por su finalidad. La figura siguiente nos representa varios ejemplos de tipos diferentes de filtros de varias secciones.



Circuitos típicos de filtro. a) Tipo L. Filtro de paso bajo; b) filtro de paso bajo, de dos secciones; c) filtro de paso bajo, tipo T; d) filtro de paso bajo, tipo pi; e) filtro de eliminación de banda, tipo T, con una sola sección; f) filtro de paso alto, de dos secciones; g) filtro de paso de banda, de tipo pi; h) filtro eliminador de banda, de tipo pi.

Resumen acerca de los circuitos LCR (filtros).

He aquí un resumen del efecto de las inductancias, capacidades y resistencias combinadas en un circuito.

- Aunque su principio fundamental de funcionamiento es algunas veces idéntico, los circuitos que constan de L, C y R se clasifican de modo general como circuitos de sintonía o filtros, dependiendo de su función de diseño y de su posición en un circuito eléctrico.
- Los circuitos de sintonía son necesarios para seleccionar una frecuencia entre muchas otras. Los filtros pueden seleccionar y dejar pasar una frecuencia o una banda de frecuencias, rechazar o suprimir una cierta banda de frecuencias, dejar pasar bajas frecuencias y rechazar las altas, o dejar pasar estas frecuencias y rechazar las bajas.

- c. La frecuencia de la fuente es la de la corriente aplicada al filtro por la tensión. La frecuencia de salida es la que deja pasar el filtro hasta la impedancia de carga.
- d. Los filtros se clasifican de acuerdo con su aspecto en un esquema de circuito y finalidad del diseño.
- e. Todos los circuitos LCR funcionan en virtud de la impedancia que presentan a las corrientes de diferentes frecuencias. La reactancia inductiva aumenta y la reactancia capacitiva disminuye cuando aumenta la frecuencia. Los circuitos serie LCR presentan baja impedancia en la resonancia, mientras los circuitos paralelo LCR presentan alta impedancia.
- f. Aumentando el número de componentes de filtros aumenta la agudeza de la acción del filtro. Por otra parte, reduciendo la razón de la resistencia a la reactancia se aumenta el Q del circuito y se agudizan las características de paso de banda. Recíprocamente, aumentando la resistencia se deja que pase una banda más ancha de frecuencias.

CALCULOS DE FILTROS.

Filtro de paso bajo. Se puede proyectar un filtro de paso bajo simple utilizando las siguientes fórmulas para determinar los valores de los componentes.

$$L = \frac{R}{\pi \cdot f_c} \dots y \dots C = \frac{1}{\pi \cdot f_c \cdot R}$$

donde L = inductancia, henrios
 C = capacidad, faradios
 f_c = frecuencia de corte, Hz
 R = resistencia de terminación, o carga, ohmios

La frecuencia de corte se puede calcular por la fórmula

$$f_c = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

Filtro de paso alto. Los valores de L y C para un filtro de paso alto se pueden determinar como sigue, siendo aplicable la misma regla a R que en el caso de filtros de paso bajo:

$$L = \frac{R}{4\pi \cdot f_c} \dots y \dots C = \frac{1}{4\pi \cdot f_c \cdot R}$$

La frecuencia de corte en hertzios se puede hallar por la fórmula siguiente:

$$f_c = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$$

Filtro de paso de banda y de eliminación de banda. El cálculo de los valores de los componentes de estos tipos de filtros se reduce a un problema de circuitos sintonizados y resonancias. Para que los circuitos sintonizados sean resonantes en la frecuencia central de la banda se pueden seguir los procedimientos explicados en los componentes L y C.

PASO O ETAPA DE CIRCUITO.

Las combinaciones de circuitos LCR y tubos de vacío o transistores son partes o secciones esenciales de los circuitos electrónicos. cuando se utilizan conjuntamente se les denomina paso o etapa. Los términos que ordinariamente se emplean para designar un paso indican usualmente su finalidad, tal como paso audio, paso oscilador, paso amplificador r.f., etc. Por ejemplo, paso amplificador f.f. indicará que se trata de un circuito que consta de un tubo de vacío o transistor y componentes LCR diseñados para recibir corrientes únicamente dentro del espectro de r.f. y amplificarlas antes de que sean transferidas al paso siguiente.

Aunque para conectar la combinación se pueden emplear varios métodos, los dos que más se utilizan son (1) conectar la salida de un circuito LCR a la entrada de un tubo de vacío o transistor, y (2) conectar la salida de un tubo de vacío o transistor a la entrada de un circuito LCR.

PRACTICA FILTROS

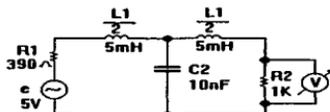
EQUIPO Y MATERIAL:

1. Tablero N° 4 y caja de componentes del sistema BASIC-2.
2. Generador de señales.
3. Voltímetro electrónico de C.A.
4. Multímetro.

DESARROLLO.

1. Filtro pasabajos.

- 1.1 Arme el circuito de la figura 1, en el tablero N°4 del BASIC-2.



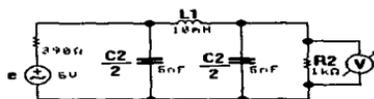
Filtro pasabajos T

- 2.1 Varie la frecuencia del generador de señales manteniendo el nivel de salida constante a 5 voltios como se indica en la tabla 1 y mida la tensión de salida sobre R_2 . Anote los resultados en la tabla 1.

Frecuencia de trabajo (KHz)	1	2	5	6	8	10	15	20	30	40	45	50
Tensión de salida (V)	2.54	2.54	2.54	2.55	2.55	2.56	2.63	2.75	2.66	1.16	0.78	0.54
Filtro α	2.78	2.78	2.77	2.77	2.71	2.76	2.75	2.7	2.6	2.2	1.9	1.6

Tabla 1: Filtros pasa bajos.

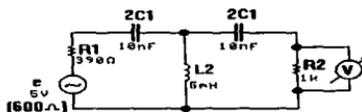
1.3 Arme el circuito de la figura 2. Repita el inciso 1.2 y anote los resultados en la tabla 1.



Filtro pasabajos

2. Filtro pasa altos.

2.1 Arme el circuito de la figura 3:



Filtro pasa-altos T

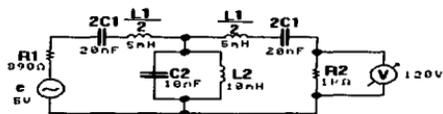
2.2 Varie la frecuencia del generador de señales como se indica en la tabla 2, manteniendo el nivel de salida constante a 5 voltios. Mida la tensión de salida sobre el resistor R_2 . Anote los resultados en la tabla 2.

Frecuencia de trabajo (kHz)	5	6	7	9	10	12	14	16	18	20	30	40	50
Tensión de salida (V)	2,6	3,1	3,6	4,5	5,1	6,0	7,0	7,8	8,7	9,0	1,3	1,4	1,9

Tabla 2: Filtro pasa altos

3. Filtro pasa banda.

3.1 Arme el circuito de la figura 4.



Filtro pasa-banda

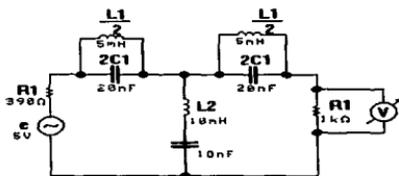
3.2 Varie la frecuencia del generador de señales como se indica en la tabla 3, manteniendo el nivel de salida constante a 5 voltios. Mida la tensión de salida sobre el resistor R_2 . Anote los resultados en la tabla 3.

Frecuencia de trabajo (KHz)	dc	3	4	6	8	10	12	15	18	20	26	30	40	45	50	60	70
Tensión de salida (V)		.11	.31	1.5	2.8	2.6	2.56	2.54	2.54	2.55	2.65	2.79	1.95	1.23	0.78	0.216	0.13

Tabla 3: Filtro pasa banda.

4. Filtro rechaza banda.

4.1 Arme el circuito de la figura 5:



Filtro rechaza-banda

4.2 Varie la frecuencia del generador de señales como se indica en la tabla 4, manteniendo constante el nivel de salida a 5 voltios. Mida la tensión de salida sobre R_2 . Anote los resultados en la tabla 4.

Frecuencia trabajo (KHz)	dc	3	4	6	8	10	12	13	14	15	20	24	26	28	40	50
Tensión de salida (V)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7	0.024	1.8	2.8	2.7	2.5	2.5	2.5

Tabla 4: Filtro rechaza banda

Apague los instrumentos y devuelva el equipo.

CUESTIONARIO

1. Calcule la frecuencia de corte del circuito de la figura 1. Anote el resultado en la tabla 1.

$$\text{La ecuación es: } f_c = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

2. Calcule la frecuencia de corte del circuito de la figura 2: Anote el resultado en la tabla 1.

$$\text{La ecuación es: } f_c = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

3. Con los datos obtenidos en la tabla 1 dibuje la gráfica de la tensión de salida en función de la frecuencia.
4. Determinar la frecuencia de corte del filtro en base a la curva característica obtenida. Anote los resultados en la tabla 1.
5. Calcule la frecuencia de corte del circuito de la figura 3. Anote el resultado en la tabla 2.
6. Con los datos obtenidos de la tabla 2, dibuje la gráfica de la tensión de salida en función de la frecuencia.
7. Determine la frecuencia de corte del filtro en base a la curva característica que se ha dibujado en la gráfica 2
8. ¿Qué es la frecuencia de corte de un filtro?
9. Describa el funcionamiento de los principales filtros mediante gráficas.
10. Analice los circuitos eléctricos de los filtros y explique su modo de funcionamiento.

CONCLUSIONES.

IMPEDANCIA.

OBJETIVOS.

1. El alumno analizará los métodos matemáticos para el análisis de circuitos de C.A.
2. El alumno comprobará los principios de representación mediante vectores y cálculo vectorial.
3. El alumno estudiará el comportamiento en C.A de circuitos R-C serie y paralelo.
4. El alumno estudiará el comportamiento en C.A de circuitos R-L serie y paralelo.

INTRODUCCION:

Los conceptos de impedancia de entrada, salida y efecto de carga. Los términos están interrelacionados y a menudo indican si un instrumento de medición puede realizar una función específica en forma adecuada. estos términos se explican mejor si definimos primero el concepto de impedancia.

Impedancia, en términos generales, es el cociente entre el voltaje y la corriente y se indica por medio de la letra Z. Las unidades de la impedancia son los ohmios (Ω). En los circuitos de corriente directa la impedancia es equivalente al cociente del voltaje de (corriente directa) y la corriente de (corriente directa).

Puesto que las resistencias son los únicos elementos efectivos en los circuitos de (c.d.), la impedancia es justamente igual a la resistencia de la parte del circuito en el cual se determinan V e I.

$$Z_{cd} = V / I = R \quad (1)$$

En los circuitos de c.a. la impedancia se define como el cociente entre el voltaje rms en la parte del circuito que se considera.

$$Z_{ca} = V_{rms} / I_{rms} \quad (2)$$

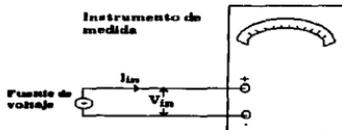
Sin embargo en los circuitos de c.a. la impedancia no es estrictamente resistiva y contiene una componente reactiva debida a la contribución de los condensadores e inductancias.

Todo instrumento eléctrico exhibe una impedancia característica vista desde sus terminales de entrada o salida y siempre se puede reemplazar el instrumento por esta impedancia (junto con una fuente de voltaje apropiada, si el instrumento contiene elementos activos, además de los pasivos).

Si se trata de un instrumento de medición (tal como un voltímetro, osciloscopio, etc.), el cociente entre el voltaje a través de los terminales de entrada y la corriente que fluye dentro de ellos es la *impedancia de entrada* del instrumento.

$$Z_{in} = V_{in} / I_{in} \quad (3)$$

La impedancia de entrada se puede medir conectando una fuente de voltaje a través de los terminales de entrada del instrumento y midiendo la corriente que fluye para un determinado nivel de voltaje (figura 1). Obsérvese que este cociente (y consecuentemente la impedancia de entrada) puede ser tan alto en algunos instrumentos que hace difícil su medición. Si se utilizan señales de corriente directa para excitar el instrumento, V_{in} e I_{in} son cantidades de corriente directa.



Determinación de la impedancia de entrada de un instrumento de medida con ayuda de una fuente de voltaje

Si las señales de entrada al instrumento son cantidades de c.a., V_{in} e I_{in} son valores rms o eficaces.

La *impedancia de salida* de un instrumento se define como

$$Z_{out} = V_{out} / I_{out}$$

En la mayoría de los casos estamos interesados en la impedancia de salida de los dispositivos o instrumentos que contienen elementos activos y sirven como fuentes de señales en los sistemas de medición. (Instrumentos y dispositivos tales como fuentes de potencia, osciladores, baterías, amplificadores y transductores activos caen dentro de esta categoría).

Para estas fuentes, V_{out} es el voltaje que aparece a través de los terminales de salida en circuito abierto. I_{out} es la corriente calculada que fluiría si los terminales de salida estuvieran cortocircuitados. Sin embargo, la impedancia de salida de las fuentes no se mide cortocircuitando los terminales de ella.

Los instrumentos que se utilizan para medir voltaje se colocan en paralelo con el elemento o circuito que se mide. Idealmente, un instrumento de medida no debe producir disturbios o cambios en los valores de la corriente y el voltaje en el circuito al que se conectan. En el caso de los instrumentos para medición de voltaje, ellos no deben tomar corriente del circuito. Esta condición se satisface si el dispositivo de medida aparece como un circuito abierto entre sus terminales. La impedancia de entrada del instrumento medidor de voltaje indica qué tan cerca se encuentra el instrumento de ser un circuito abierto ideal. Puesto que los medidores de voltaje no son ideales, ellos toman una pequeña corriente del circuito al cual se conectan. El efecto de derivar corriente se conoce como el *efecto de carga* del instrumento.

A medida que la impedancia de entrada de un medidor de voltaje es más alta, más exacta es la medición de voltaje que efectúa.

Si una fuente de señal (un generador o un oscilador) suministra energía a un circuito, se dice que el circuito *carga* la fuente al derivar corriente de la fuente. A medida que la impedancia conectada a través de los terminales de salida se hace más pequeña, la corriente de salida de la fuente se incrementa. Por tanto, se dice que los osciladores o generadores son *cargados* cuando una baja impedancia se conecta a través de sus terminales de salida.

REPRESENTACIÓN VECTORIAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA BOBINA Y DEL CONDENSADOR.

En un inductor "puro" (sin componente resistiva) la tensión está adelantada a la corriente en 90° , para un condensador puro la corriente está adelantada a la tensión en 90 grados. En la figura se muestra la representación vectorial del comportamiento de un inductor puro y un condensador puro.

The image contains two phasor diagrams. The left diagram shows a vertical vector labeled I_C pointing upwards and a horizontal vector labeled V pointing to the right. Below it is the equation $I_C = \frac{V}{-jX_C} = \frac{jV}{X_C}$. The right diagram shows a horizontal vector labeled V pointing to the right and a vertical vector labeled I_L pointing downwards. Below it is the equation $I_L = \frac{V}{jX_L} = -j \frac{V}{X_L}$.

Corriente y tensión en un inductor puro (a la derecha) y en un condensador puro (izquierda)

Respecto a la figura anterior con representaciones vectoriales a un plano complejo se expresa a las reactancias como:

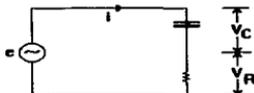
$$jX_L = j2\pi \cdot fL; -jX_C = -j \frac{1}{2\pi \cdot fC}$$

- donde: X_L ...es. la reactancia de la bobina, en ohmios
 X_C ...es. la reactancia del condensador, en ohmios
 f ...es. la frecuencia, en Hz
 L ...es. la inductancia, en henrios
 C ...es. la capacidad, en faradios

Al incluir en un circuito de corriente alterna un resistor, una bobina y un condensador, se requiere el conocimiento de la impedancia, su símbolo es la Z y se mide en ohmios.

IMPEDANCIA DE UN CIRCUITO R-C SERIE

En la siguiente figura se muestra un circuito RC de c.a.



Circuito RC serie

Se escribe la siguiente ecuación para las tensiones correspondientes al circuito anterior.

$$\vec{v} = \vec{v}_R + \vec{v}_C$$

donde e es el vector que representa a la tensión de la fuente, en voltios.

\vec{v}_C ...es. el vector que representa la caída de tensión sobre el resistor, en voltios.

\vec{v}_R ...es. el vector que representa a la caída de tensión sobre el condensador, en voltios.

En el circuito serie dado, circula una corriente uniforme i a través de todos los componentes, entonces:

$$\vec{v} = \vec{i}R + \vec{i}(-jX_C)$$

Se factoriza obteniendo

$$\vec{v} = \vec{i}(R - jX_C) = \vec{i} \cdot \vec{z}$$

Por lo tanto, la impedancia para un circuito RC serie será:

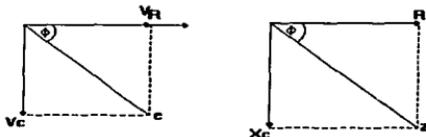
$$\bar{Z} = R - jX_C$$

Y la corriente en el mismo circuito será:

$$i = \frac{\bar{v}}{R - jX_C}$$

De la representación vectorial de la tensión, de la corriente y de la impedancia se pueden obtener sus valores absolutos y sus ángulos de fase. Estos valores pueden ser calculados mediante las reglas de la aritmética de los números complejos.

En las siguientes figuras se observan las representaciones vectoriales de las distintas magnitudes en el circuito RC serie.



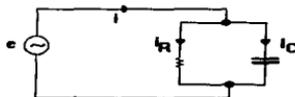
Representación vectorial de las tensiones, corrientes, reactancias e impedancias en el circuito RC serie

Se define a la potencia del circuito de corriente alterna como el producto de la tensión por la corriente en fase con ella, de acuerdo a esta definición, la potencia del circuito será.

$$P = e \cdot i \cdot \cos \phi$$

IMPEDANCIA DE UN CIRCUITO RC PARALELO

En la siguiente figura se muestra un circuito RC paralelo.



Círculo RC paralelo

Aplicando las leyes de Kirchoff se obtiene la siguiente relación matemática para las corrientes:

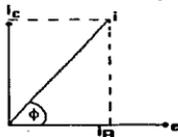
$$\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_C$$

De la anterior fórmula se sustituyen los valores correspondientes para las corrientes y se obtuvo:

$$\frac{\vec{e}}{\vec{Z}} = \frac{\vec{e}}{R} + \frac{\vec{e}}{-jX_C}$$

Dividiendo a ambos miembros por \vec{e} obtenemos:

Se muestra la representación vectorial del circuito RC paralelo.



Representación vectorial del circuito RC paralelo

IMPEDANCIA DE UN CIRCUITO RL SERIE

La figura muestra un circuito RL serie.



Circuito RL serie

El análisis del circuito RL serie es similar al del circuito RC. Por lo tanto, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\vec{v} = \vec{V}_R + \vec{V}_L = V_R + jV_L$$

$$e = \sqrt{(V_R)^2 + (V_L)^2}$$

$$\vec{Z} = R + jX_L$$

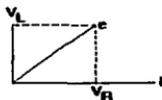
$$\vec{I} = \frac{\vec{v}}{R + jX_L}$$

$$i = \frac{e}{Z}$$

$$P = e \cdot i \cdot \cos \phi$$

$$\tan \phi = \frac{X_L}{R}$$

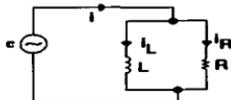
La figura representa el circuito RL serie vectorialmente.



Representación vectorial del circuito RL serie

IMPEDANCIA DEL CIRCUITO RL PARALELO

La figura representa el circuito RL paralelo.



Circuito RL paralelo

El siguiente análisis del circuito RL paralelo es similar al circuito RC paralelo donde obtenemos las ecuaciones similares.

$$\vec{i} = \vec{i}_R + \vec{i}_L = i_R + jI_L$$

$$|i| = \sqrt{(i_R)^2 + (I_L)^2}$$

$$\vec{Y} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{(X_L)^2}}$$

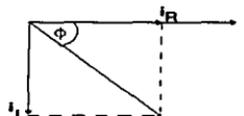
$$\vec{i} = \vec{e} \cdot \vec{Y}$$

$$|i| = |e| \cdot |Y|$$

$$P = |e| \cdot |i| \cdot \cos\phi$$

$$\tan\phi = \frac{1/X_L}{1/R} = \frac{R}{X_L}$$

En la siguiente figura se observa la representación vectorial del circuito RL paralelo.



Representación vectorial del circuito RL paralelo

PRACTICA

IMPEDANCIA

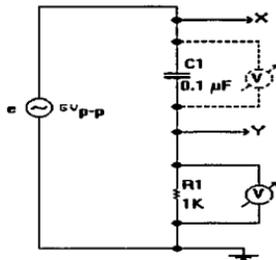
EQUIPO Y MATERIAL:

1. Tablero número uno y caja de componentes del BASIC-2
2. Generador de señales
3. Un voltímetro electrónico
4. Un osciloscopio

DESARROLLO

1. El circuito RC serie.

- 1.1 Arme el siguiente circuito en el tablero N° 1 del BASIC-2



Circuito RC serie

- 1.2 Fije la frecuencia del generador a 16 KHz y a un nivel de salida de 5 volts pico a pico. Mida las tensiones sobre el resistor y sobre el condensador, anote los resultados en la tabla 1.
- 1.3 Mida el ángulo de fase, y anote el resultado en la tabla N° 1.

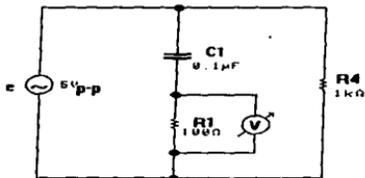
- 1.4 Repita las mediciones anteriores para las frecuencias que se dan en la tabla 1. Asegúrese de mantener la tensión de salida constante a 5 volts pico a pico.

Magnitud Medida Frecuencia (KHz)	V_{Cl}		V_{R1} (V)		Sin ϕ	ϕ		Lima		P (mW)
	Medida	Calculada	Medida	Calculada		Medida	Calculada	Medida	Calculada	
16.00	0.350	0.361	0.347	0.355	.10	5	5.7	3.8	3.52	1350
8.00	0.690	0.693	0.343	0.345	.24	12	11.5	3.6	3.47	1410
5.30	1.02	0.979	0.334	0.339	.30	15	17.4	3.5	3.4	1426
4.00	1.31	1.19	0.328	0.332	.40	20	23.0	3.4	3.3	1360
3.20	1.58	1.40	0.318	0.323	.54	24	26.0	3.2	3.17	1378
1.60	2.49	2.9	0.200	0.160	.78	41	44.0	2.8	2.51	885
0.80	3.16	2.96	0.164	0.178	.90	62	64.1	1.8	1.6	379
0.50	3.37	3.3	0.12	0.118	.96	72	73.0	1.2	1.06	160
0.40	3.43	3.4	0.109	0.0988	.98	80	78.5	1.0	0.86	72
0.30	3.5	3.47	0.088	0.0711	1	89	90.0	0.8	0.65	42

Tabla 1: Circuito RC serie.

2. El circuito RC paralelo.

- 2.1 Arme el circuito siguiente en el tablero N°1 del BASIC-2.



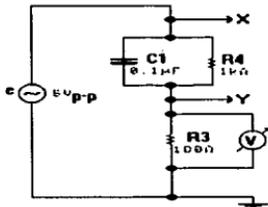
Circuito RC paralelo

- 2.2 Fije la frecuencia del generador de señales a 1.6 KHz. Mida la tensión sobre R_1 . Anote el resultado en la tabla 2.
- 2.3 Repita la medición para las frecuencias que se dan en la tabla 2.

Magnitud medida Frecuencia (KHz)	I_{R1} (mA)		I_{R2} (mA)		I_{R3} (mA)		ϕ		Sen ϕ	P (mW)	
	Medida	Calculada	Calculada	V_{R1} (V)	V_{R2} (V)	Medida Calculada	Medida Calculada				
1.600	3.5	3.54	3.54	354	454	4.5	4.54	23.0	23.5	0.4	188
0.800	1.7	1.77	3.54	177	359	3.5	3.54	28.0	38.0	0.5	107
0.530	1.1	1.18	3.54	118	339	3.2	3.39	25.0	27.0	0.46	98
0.400	0.8	0.88	3.54	88.8	331	3.1	3.31	28.0	29.3	0.49	90
0.320	0.7	0.711	3.54	71.1	328	3.0	3.28	29.0	32.5	0.53	85
0.260	0.5	0.589	3.54	57.7	326	3.1	3.26	26.0	29.0	0.48	90
0.220	0.45	0.500	3.54	48.9	325	3.2	3.25	25.0	25.9	0.43	94
0.200	0.4	0.45	3.54	44.4	324	3.15	3.24	23.0	22.3	0.38	93
0.180	0.4	0.40	3.54	40.0	321	3.1	3.23	23.0	24.8	0.42	94
0.100	0.2	0.22	3.54	22.2	323	3.0	3.3	23.0	23.5	0.4	98

Tabla 2 Circuito RC paralelo.

- 2.4 Arme el circuito de la figura siguiente en el tablero N°1 del BASIC-2.

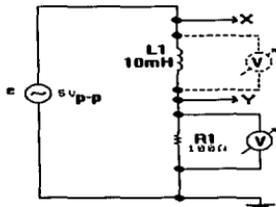


Circuito RC paralelo

- 2.5 Fije la frecuencia del generador de señales a 1.6 KHz. Mida la tensión sobre R_3 . Mida el seno del ángulo de fase mediante el osciloscopio. Anote los resultados en la tabla 2.
- 2.6 Proceda a repetir las mediciones anteriores para cada una de las frecuencias dadas en la tabla 2.

3. El circuito RL serie

3.1 Arme el circuito de la figura siguiente sobre el tablero N°1 del BASIC-2.



Circuito RL serie

3.2 Fije la frecuencia del generador de señales a 1.6 KHz. Mida la tensión sobre el resistor y luego sobre la bobina. Mida el seno del ángulo de fase. Anote los resultados en la tabla 3.

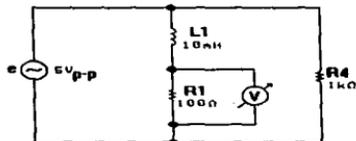
3.3 Repita las mediciones para cada una de las frecuencias de la tabla 3.

Magnitud medida Frecuencia (KHz)	V_{R1} (V)		V_{L1} (V)		Seno ϕ	I (mA)		P (mW)		
	Medida	Calculada	Medida	Calculada		Medida	Calculada	Medida	Calculada	
0.40	0.8	0.86	4.2	4.43	.24	14	13.88	32.0	34.3	28
0.60	1.2	1.25	3.2	3.31	.40	13	14.4	31.0	33.1	36
0.90	1.6	1.74	3.0	3.08	.50	30	30.0	29.0	30.8	80
1.20	2.0	2.13	2.7	2.82	.60	36	40.0	27.0	28.2	64
1.60	2.3	2.5	2.3	2.49	.76	45	49.4	23.0	24.9	43
3.00	3.0	3.12	1.5	1.66	.84	58	57.1	16.0	16.6	14
6.30	3.2	3.43	0.8	0.86	.96	72	73.3	8.5	8.66	20
9.50	3.3	3.49	0.5	0.58	.97	75	75.9	5.5	5.84	35
12.60	3.4	3.51	0.4	0.43	.98	77	78.5	4.0	4.43	40
16.00	3.5	3.52	0.3	0.35	1	90	90	3.0	3.5	0

Tabla 3: Circuito RL serie

4. El circuito RL paralelo.

4.1 Arme el siguiente circuito en el tablero N°1 del BASIC-2.



Circuito RL paralelo

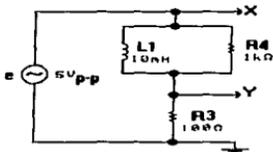
4.2 Fije la frecuencia del generador de señales a 1.6 KHZ. Mida la tensión sobre R₁. Anote los resultados en la tabla 4.

4.3 Repita la medición para cada frecuencia que se da en la tabla 4.

Magnitud medida Frecuencia (KHz)	V _{in} (V)	I ₁ (mA)				I (mA)				φ		F (MHz)
		Medida		Calculada		Medida		Calculada		medida		
0.30	3.47	32.0	34.8	3.54	3.46	33.0	34.6			12	11.5	100
0.60	3.31	31.0	33.1	3.54	3.27	32.0	32.7	.3	.4	21	23.5	99
0.90	3.09	30.0	31.0	3.54	3.01	30.0	30.1	.5	.6	32	30.0	76
1.20	2.82	27.0	28.2	3.54	2.74	26.0	27.3	.6	.6	35	36.9	60
1.60	2.49	25.0	24.9	3.54	2.38	23.0	23.8	.7	.7	43	44.4	41
3.00	1.66	16.0	16.6	3.54	1.56	15.0	15.6	.82	.82	96	95.6	12
6.30	.866	8.0	8.66	3.54	.851	8.4	8.51	.92	.92	65	66.9	3
9.50	.584	5.0	5.84	3.54	.620	6.0	6.20	.9	.9	64	65.2	1
12.60	.443	4.1	4.43	3.54	.514	5.0	5.14	.96	.96	72	73.7	0
16.00	.350	3.5	3.51	3.54	.451	4.5	4.52	.98	.98	78	78.5	0

Tabla 4: Circuito RL paralelo

4.4 Arme el circuito siguiente en el tablero N°1 del BASIC-2.



Circuito RL paralelo

4.5 Fije la frecuencia del generador de señales a 1.6 KHz y nivel de salida de 5 voltios pico a pico. Mida la tensión sobre R_3 y el seno del ángulo de fase. Anote los resultados en la tabla 4.

4.6 Repita las mediciones para cada frecuencia que se da en la tabla 4.

Asegúrese de tener la amplitud del generador de señales a 5 voltios pico a pico para cada frecuencia dada en la tabla.

Se terminó la práctica, revise el equipo y entregarlo.

NOTA. Para la solución de las tablas respaldarse en la introducción previamente estudiada.

CUESTIONARIO

- 1 ¿Qué son los números complejos y números imaginarios?
- 2 Qué representa un número complejo en el plano complejo.
- 3 ¿Se pueden emplear las leyes de Kirchhoff en los circuitos de c. a.?
- 4 Cómo influye la frecuencia en el ángulo de fase en un circuito RL serie y en uno paralelo.
- 5 Explique cómo se emplea un resistor auxiliar para realizar mediciones indirectas. ¿Tiene importancia el valor del resistor?

CONCLUSIONES.

CIRCUITOS ACOPLADOS

OBJETIVOS

1. Se analizará el concepto de circuito acoplado.
2. El alumno analizará varios tipos de circuitos acoplados.
3. Se analizará el comportamiento de circuitos acoplados sintonizados en función de diferentes factores.
4. Familiarización con el coeficiente de acoplamiento crítico.

INTRODUCCION

Cuando hay transferencia de energía entre dos circuitos eléctricos, estos se denominan circuitos acoplados. La transferencia de la energía puede ser directa e indirecta.

La figura 1 muestra un circuito acoplado por inducción.

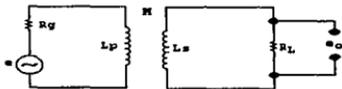


Figura 1: Circuito acoplado no sintonizado

Un acoplamiento inductivo (magnético) figura 1, se basa en el fenómeno de la inductancia mutua. Las variaciones de la corriente de la bobina L_p del primario inducirán una tensión en la bobina L_s del secundario, la cual producirá una corriente que circulará en el secundario. La inductancia mutua, M , es una medida de la cantidad de energía transferida de la bobina del primario L_p a la del secundario L_s . El factor de acoplamiento " K " expresa la relación entre el flujo magnético en la bobina del primario y el flujo en la bobina del secundario.

Matemáticamente la inductancia mutua se representa por:

$$M = K\sqrt{L_p \cdot L_s}$$

donde:

M ...es. la. induc. tancia. mutua, en. henrios.

K ...es. el. factor. de. acoplamiento.

L_p ...es. la. inducción. de. la. bobina. primaria. en. henrios.

L_s ...es. la. inducción. de. la. bobina. secundaria. en. henrios.

EL CIRCUITO ACOPLADO NO SINTONIZADO

La figura 1 muestra un circuito acoplado no sintonizado. El cual se representará por un circuito equivalente utilizando la "impedancia reflejada" la cual expresa la influencia del circuito secundario sobre el primario. La impedancia reflejada está dada por la ecuación:

$$Z' = \frac{(2\pi \cdot f \cdot M)^2}{Z_2}$$

donde:

Z' ...es. la. impedancia. reflejada, en. ohmios.

M ...es. la. inductancia, en. henrios.

f ...es. la. frecuencia. de. la. fuente, en. Hz.

Z_2 ...es. la. impedancia. del. circuito. secundario, en. ohmios.

Sustituyendo el valor de Z_2 en la ecuación anterior tenemos

$$Z' = \frac{(2\pi \cdot f \cdot M)^2}{R_2 + jX_{L_2}}$$

Dividiendo el numerador por el denominador y separando las partes reales e imaginarias tenemos:

$$R' = \frac{(2\pi \cdot f \cdot M)^2 \cdot R_2}{(R_2)^2 + (X_{L_2})^2} \dots y \dots X' = -j \frac{(2\pi \cdot f \cdot M)^2 \cdot X_{L_2}}{(R_2)^2 + (X_{L_2})^2}$$

donde:

R' ...es la resistencia reflejada, en ohmios.

X' ...es la reactancia reflejada, en ohmios.

R_2 ...es la resistencia del secundario, en ohmios.

X_2 ...Es la reactancia del secundario, en ohmios

M ...es la inductancia mutua en henrios.

f ...es la frecuencia, en Hz.

Se observa que la reactancia del secundario es básicamente inductiva mientras que la reactancia reflejada en el primario es capacitiva (-j). Donde se puede concluir, que la reactancia reflejada al primario es de signo contrario que la reactancia básica del secundario.

En la figura 2 se observa el circuito equivalente del circuito de la figura 1. Donde el circuito secundario aparece como una impedancia reflejada, conectada en serie con el circuito primario.

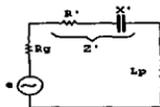


Figura 2: Circuito equivalente del circuito acoplado no sintonizado

Calculando en forma simple la corriente i_1 en el circuito primario. Para calcular la tensión de salida e_s , primero se calcula la tensión reflejada en el circuito secundario, e' . El cálculo de la tensión reflejada se basa en el circuito equivalente donde e está en serie con el circuito secundario, como se observa en la figura 3.

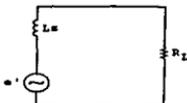


Figura 3: Circuito equivalente que contiene a la tensión reflejada en el circuito secundario

La ecuación siguiente da la tensión reflejada e' :

$$e' = 2\pi f M i_1$$

donde:

e' ...es la tensión inducida en el secundario, en voltios

i_1 ...es la corriente en el circuito equivalente del primario, en amperios

M ...es la inductancia mutua, en henrios.

f ...es la frecuencia, en Hz.

Se puede calcular la corriente del secundario y la caída de tensión sobre R_L . Esta caída de tensión es igual a v_o .

EL CIRCUITO ACOPLADO CON EL SECUNDARIO SINTONIZADO

La figura 4 muestra un circuito acoplado con el secundario sintonizado, es decir, el secundario es un circuito resonante sintonizado.

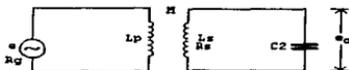


Figura 4 : Circuito acoplado con el secundario en resonancia

Dado que en resonancia la impedancia del secundario es igual a R_L , la resistencia reflejada en el primario será:

$$R' = \frac{(2\pi f M)^2}{R_L}$$

donde R' estará en serie en el circuito equivalente con la resistencia y la reactancia del primario. Por lo tanto se puede calcular la corriente del primario así como también la tensión reflejada en el secundario y la tensión de salida. La tensión de salida en el circuito acoplado es la tensión sobre el condensador, matemáticamente:

$$e_o = e_{c_2} = e' Q_2$$

donde:

e_{c_2} ... es la tensión sobre el condensador, en voltios.

e' ... es la tensión reflejada en el secundario.

Q_2 ... es el coeficiente de mérito del circuito secundario

CIRCUITO ACOPLADO CON PRIMARIO Y SECUNDARIO SINTONIZADOS

La figura 5 muestra un circuito acoplado con primario y secundario sintonizados. Los circuitos primario y secundario son circuitos resonantes que tienen la característica de una resistencia pura.

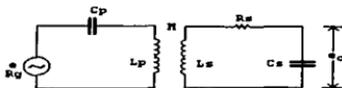


Figura 5: El circuito acoplado con primario y secundario sintonizados

La frecuencia de resonancia de los circuitos tienen la característica de una resistencia pura. A primera vista, el circuito se ha de comportar como un circuito resonante común, pero, existen condiciones que complican el comportamiento del circuito. Matemáticamente se expresan las componentes de la impedancia reflejada para cualquier frecuencia.

$$R' = \frac{(2\pi \cdot f \cdot M)^2 \cdot R_2}{(R_2)^2 + (X_{L_2} - X_{C_2})^2}$$

$$X' = \frac{(2\pi \cdot f \cdot M)^2 \cdot (X_{L_2} - X_{C_2})}{(R_2)^2 + (X_{L_2} - X_{C_2})^2}$$

La frecuencia de resonancia, donde el secundario refleja en el primario una resistencia solamente y dado que el primario tiene también la característica de una resistencia pura, el circuito equivalente es sencillo y conveniente para los cálculos.

La "selectividad" es un factor importante en los circuitos acoplados. La selectividad está determinada por las características del primario así como también por la carga en el primario del secundario. En la figura siguiente se muestran las curvas de respuesta del circuito primario para tres coeficientes de acoplamiento diferentes.

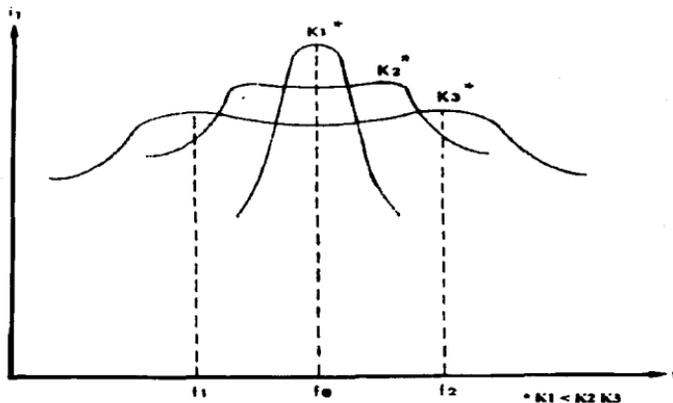


FIGURA : Curvas de respuesta del circuito primario

Analizando la figura 6 se puede ver que la selectividad del circuito disminuye con el aumento del coeficiente de acoplamiento K . Se observa que para coeficientes de acoplamiento mayores de un cierto valor determinado, el circuito primario tiene dos "crestas".

Las ecuaciones que nos representan las frecuencias de estas crestas son:

$$f_1 = \frac{f_0}{\sqrt{1+K}}$$

$$f_2 = \frac{f_0}{\sqrt{1-K}}$$

donde:

f_1 ...es la frecuencia de la primera cresta, en Hz.

f_2 ...es la frecuencia de la segunda cresta, en Hz.

K ...es el coeficiente de acoplamiento.

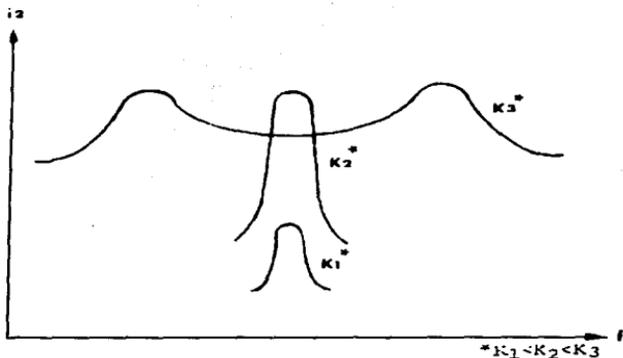


FIGURA: Curvas de respuesta del circuito secundario para diferentes coeficientes de acoplamiento.

La figura 7 muestra las curvas de respuesta del circuito secundario para los mismos valores del coeficiente de acoplamiento que se dieron en la figura 6.

Se ve en la figura 7, que cuando el coeficiente de acoplamiento tiene un valor elevado (K_3), la respuesta del secundario es similar a la respuesta de doble cresta del primario. No obstante, para bajos valores del coeficiente de acoplamiento, el secundario se comporta como un circuito resonante común con una sola cresta.

COEFICIENTE DE ACOPLAMIENTO CRITICO

Un caso especial de acoplamiento es cuando la resistencia reflejada en el primario es igual a la resistencia del mismo. Esta condición, como es sabido, produce la máxima transferencia de potencia. El coeficiente de acoplamiento en este caso se llama "coeficiente de acoplamiento crítico" y se denomina K_c y su expresión matemática es:

$$K_c = \frac{1}{\sqrt{Q_1 \cdot Q_2}}$$

donde:

K_ces. el. coeficiente. de. acoplamiento. crítico

Q_1es. el. factor. de. mérito. del. circuito. primario.

Q_2es. el. factor. de. mérito. del. circuito. secundario.

Si el factor de mérito del primario y del secundario son iguales, entonces K_c será:

$$K_c = \frac{1}{Q_1} = \frac{1}{Q_2}$$

CIRCUITO ACOPLADO CON PRIMARIO RESONANTE EN PARALELO Y SECUNDARIO RESONANTE EN SERIE.

La figura 8 muestra un circuito acoplado con propiedades similares a las de los circuitos anteriores, donde su análisis es diferente al de ellos. En este caso, el primario es un circuito resonante paralelo mientras que en el anterior el primario era un circuito resonante serie.

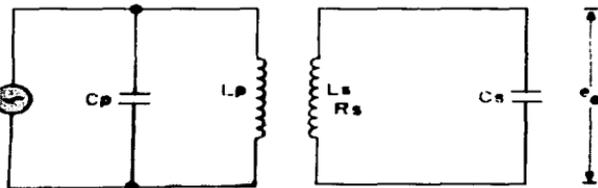


FIGURA: Circuito acoplado con circuito primario resonante en paralelo y secundario resonante en serie

El
 circuito de la figura 8 es empleado en varios dispositivos electrónicos. Analizando este circuito se obtendrá que la resistencia reflejada en el primario disminuye su impedancia. La resistencia reflejada baja al factor de mérito y aumenta el ancho de banda.

La tensión de salida e_s , para el circuito dado, se calcula de la siguiente manera

A.....Cálculo de la resistencia reflejada

$$R' = \frac{(2\pi \cdot f \cdot M)^2}{R_2}$$

B.....Cálculo de la impedancia del primario.

$$Z_{op} = \frac{L_p}{C_p(R_p + R')}$$

C.....Cálculo de la corriente de la fuente que circula en el bobinado de L_p .

$$i_p = \frac{e Q_1}{R_s + R'}$$

D.....Cálculo de la tensión inducida en el secundario.

$$e' = 2\pi \cdot f \cdot M \cdot i_p$$

E.....Cálculo de la tensión de salida.

$$e_s = e' Q_2$$

Los pasos aquí descritos son correctos para el caso que la frecuencia de la fuente, la frecuencia de resonancia del circuito primario y la frecuencia de resonancia del circuito secundario sean todas iguales. Si la frecuencia de la fuente es diferente que cualquiera de las dos frecuencias de resonancia, el ancho de banda aumentará, la selectividad disminuirá y la tensión de salida disminuirá.

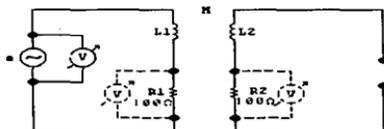
PRACTICA

CIRCUITOS ACOPLADOS

I. Medición de los parámetros del circuito acoplado.

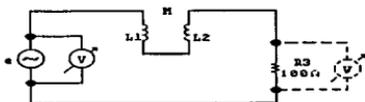
1.1 Emplee un óhmetro para medir la resistencia de las bobinas L_1 y L_2 en el tablero n°2 del sistema BASIC-2. Anote los resultados en la tabla

1.2 Conecte el circuito de la siguiente figura en el tablero n°2 del sistema BASIC-2.



Circuito para la medición de la inductancia del primario y del secundario.

- 1.3 Fije la frecuencia del generador de señales a 3,2 kHz y a un nivel de salida igual a 1 voltio (estando el circuito cargado).
- 1.4 Mida la caída de tensión sobre R_1 . Anote el resultado en la tabla n°1.
- 1.5 Mida la caída de tensión sobre R_2 . Anote el resultado en la tabla n°1.
- 1.6 Conecte el circuito de la siguiente figura.



Circuito para la medición de la inductancia mutua

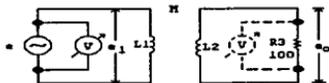
- 1.7 Fije la frecuencia del generador de señales a 3,2 KHz y a un nivel de salida igual a un voltio (cargado).
- 1.8 Mida la tensión sobre R_3 y anote el resultado en la tabla n°1 (para la conexión 1).
- 1.9 Repita el párrafo 1.8 permutando los terminales de la bobina L_2 . Anote el resultado en la tabla n°1. Quite el cortocircuito de los puntos 17 y 18 y conéctelo entre los puntos 15y 16. Quite el cortocircuito de los puntos 26 y27 y conéctelo entre los puntos 28 y 29.

R_{L1} Ω	R_{L2} Ω	V_{R1} V	L_1 H *	V_{R1} V	L_2 H *	V_{R3} conexión 1 de L_2	V_{R3} conexión 2 de L_2	M H *
75	75	6.8	88	3.78	68	0.313	0.147	59.7

Tabla n°1: Parámetros del circuito acoplado

2. EL CIRCUITO ACOPLADO NO SINTONIZADO

- 2.1 Conecte el circuito de la figura siguiente.



Circuito acoplado no sintonizado

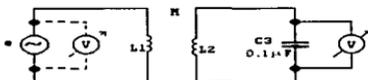
- 2.2 Fije la frecuencia del generador de señales a 3,2 KHz y a un nivel de salida igual a 5 voltios (sin carga). Conecte el generador al circuito.
- 2.3 Mida la tensión e_i sobre L_1 y anote el resultado en la tabla nº2
- 2.4 Mida la tensión e_o sobre R_3 y anote el resultado en la tabla nº2

e_i (V)		i_i (mA)		e_o (V)	
medida	calculado*	medida *	calculado*	medida	calculado*
5	4.49	15	14.79	0.2	0.139

Tabla nº2: Circuito acoplado no sintonizado

3. EL CIRCUITO ACOPLADO CON SECUNDARIO SINTONIZADO

- 3.1 Conecte el circuito de la siguiente figura. Fije la frecuencia del generador de señales a 2,5 kHz y a un nivel de salida igual a 5 voltios (sin carga). Conecte el generador al circuito.



Circuito acoplado con secundario sintonizado.

- 3.2 Conecte el voltímetro electrónico de c.a al circuito de salida, en paralelo C_3 . Ajuste la frecuencia del generador de señales hasta obtener máxima tensión de salida e_o (en esta condición el circuito el circuito secundario está en resonancia). Mantenga la tensión de entrada constante. Anote la frecuencia de resonancia en la tabla nº3.
- 3.3 Desconecte el generador de señales del circuito y ajuste la salida a 5 voltios. Vuelva a conectarlo al circuito con la frecuencia antes fijada. Mida la tensión de entrada e_i . Anote el resultado en la tabla nº3.
- 3.4 Mida la tensión de salida e_o . Anote el resultado en la tabla nº3.

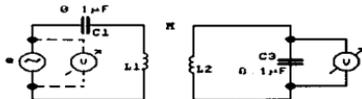
3.5 Varie la frecuencia del generador de señales para determinar las frecuencias de media potencia. Anote el ancho de banda en la tabla n°3.

f_c (KHz)	e_1 (V)		I_1 (mA)		e_2 (V)		Δf (KHz)		
medida calculada									
6.0	6.32	5.0	5.19	16.5	17.04	12.0	12.63	3	3.2

Tabla n°3: Circuito acoplado con secundario sintonizado

4. El circuito acoplado sintonizado (primario y secundario resonante en serie)

4.1 Conecte el circuito de la siguiente figura.



Circuito acoplado sintonizado

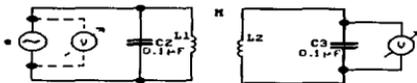
- 4.2 Ajuste la salida del generador de señales a 5 voltios (sin carga). Conecte el generador de señales al circuito y ajuste la frecuencia hasta máxima tensión de salida en el secundario. Mantenga la tensión de entrada, e, constante. Anote la frecuencia de resonancia en la tabla n°4.
- 4.3 Desconecte el generador de señales del circuito y ajuste su salida a 5 voltios. Vuelva a conectar el generador al circuito.
- 4.4 Mida la tensión de entrada, e. Anote el resultado en la tabla n°4.
- 4.5 Mida la tensión de salida, e_2 . Anote el resultado en la tabla n°4.
- 4.6 Mida el ancho de banda, manteniendo la tensión de entrada constante. Anote el resultado en la tabla n°4.

f_c (KHz)	e_1 (V)		I_1 (mA)		e_2 (V)		Δf (KHz)	
medida calculada								
2.98	3.2	4.62	5.19	17.00	17.06	12.00	12.63	6

Tabla n°4: Circuito acoplado sintonizado

5. El circuito acoplado sintonizado (primario resonante en paralelo).

5.1 Conecte el circuito de la siguiente figura.



Circuito acoplado sintonizado

- 5.2 Varíe la frecuencia del generador de señales hasta obtener una tensión de salida máxima en el secundario. Mantenga la tensión de entrada constante.
- 5.3 Desconecte el generador de señales del circuito y fije su salida a 5 voltios. Vuelva a conectar el generador al circuito.
- 5.4 Mida la tensión de entrada e_i . Anote el resultado en la tabla n°5.
- 5.5 Mida la tensión de salida e_o . Anote el resultado en la tabla n°5.
- 5.6 Mida el ancho de banda manteniendo la tensión de entrada constante. Anote el resultado en la tabla n°5.

f_i (KHz)	e_i (V)		i_i (mA)		e_o (V)		Δf (Hz)	
medida	calculada	medida	calculada	medida	calculada	medida	medida	
2.0	2.43	5.0	5.17	18.0	18.13	4.48	5.52	4

Tabla n°5: Circuito acoplado sintonizado

Se ha concluido el experimento. Apague los instrumentos y devuelva el equipo.

CUESTIONARIO

- 1. Explique el método utilizado en este experimento para medir inductancia mutua M .**
- 2. ¿Cuál es el acoplamiento más común?**
- 3. ¿En cuantos circuitos se dividen los circuitos de acoplamiento inductivos?. Además mencione sus nombres.**
- 4. ¿Qué ventajas tienen los circuitos acoplados sintonizados sobre los filtros pasabanda?.**

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La realización de este trabajo nos permitió llevar a cabo las practicas, en los módulos que se elaboraron y así poder corroborar los resultados por medio del paquete de Work Bench, realizándose las mediciones en dicho paquete y comprobando las mediciones que se realizan con los módulos y tomando las lecturas y así poder corroborar los datos.

Por otra parte se realizaron los cálculos necesarios para comprobar los resultados, llegándose a la conclusión de que los resultados tomados y calculados variaban muy poco esto debido a los instrumentos de medición, o a que se redondeaban los resultados de la calculadora.

FALTA PAGINA

No. 203a la 206

BIBLIOGRAFIA

FISICA
MARCELO ALONSO
EDWARD J. FINN
ED. ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA

FISICA (FISICA MODERNA)
RAYMOND A. SERWAY
TOMO II DE. MC. GRAW-HILL

FISICA (FUNDAMENTOS Y APLICACIONES)
ROBERT M. EISBERG
LAURENCE S. LERNER
VOL. II DE. McGRAW-HILL

ANALISIS DE CIRCUITOS EN INGENIERIA
WILLIAM H. HAYT
JACK E. KEMMERLY
ED. McGRAW-HILL.

FUNDAMENTOS DE FISICA
FRANK J. BLATT
ED. PRENTICE-HALL

ANALISIS DE CIRCUITOS BASICOS
JOHN O. MALLEY
McGRAW-HILL

FISICA
RESNICK ROBERT
FALLIDAY DAVID
ED. C.E.C.S.A.

**FISICA GENERAL
VOLUMEN II
DOUGLAS C. GIANCOLI
ED. PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA.S.A.**

**FISICA FUNDAMENTAL
J. OREAR
2a. EDICION
ED. LIMUSA**