



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

SEDE GUAYAQUIL

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

Previa la obtención del Título de:

**INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA**

ANÁLISIS DE CIRCUITOS ELECTRICOS CON FRECUENCIA VARIABLE

**AUTORES**

Arteaga Maldonado Tito Andrés

Sánchez González Andrés Alberto

DIRECTOR: Ing. Gabriel Gonzalo Gaibor Yánez

GUAYAQUIL

2019

## **CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, **ANDRÉS ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ** y **TITO ANDRÉS ARTEAGA MALDONADO** autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, 26 de Febrero del 2019

---

Andrés Alberto Sánchez González

0923970602

---

Tito Andrés Arteaga Maldonado

0950468496

## **CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **ANDRÉS ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ**, con documento de identificación N° **0923970602**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS DE CIRCUITOS ELECTRICOS CON FRECUENCIA VARIABLE**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de Febrero del 2019

---

Andrés Alberto Sánchez González

0923970602

## **CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **TITO ANDRÉS ARTEAGA MALDONADO**, con documento de identificación N° **0950468496**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS DE CIRCUITOS ELECTRICOS CON FRECUENCIA VARIABLE**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de Febrero del 2019

---

Tito Andrés Arteaga Maldonado

0950468496

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR**

Yo, **GABRIEL GONZALO GAIBOR YANEZ**, director del proyecto de Titulación denominado “ANÁLISIS DE CIRCUITOS ELECTRICOS CON FRECUENCIA VARIABLE” realizado por los estudiantes, **ANDRES ALBERTO SANCHEZ GONZALEZ** y **TITO ANDRES ARTEAGA MALDONADO**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, 26 de Febrero del 2019

.....

Gabriel Gonzalo Gaibor Yáñez

Ing.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo esta dirigido a todas las personas que nos apoyaron en este camino hasta la obtención del título, incluidos compañeros de trabajo y de aulas, a todas las personas que siempre estuvieron dándonos ánimos y colaborando en lo que podían para hacer posible este sueño que ahora es nuestra realidad, a mi familia, amigos y compañeros.

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente trabajo queda dirigido con una gran muestra de agradecimiento nuevamente a nuestros padres y hermanos por toda la ayuda y atención que necesitábamos en esos momentos difíciles y de mucho cansancio para la culminación de nuestro proyecto final.

También queremos agradecer a todos nuestros amigos y profesores que estuvieron siempre brindándome excelentes consejos y experiencias en esta etapa de etapa de estudiante universitario.

## **RESUMEN**

**Tema:** ANÁLISIS DE CIRCUITOS ELECTRICOS CON FRECUENCIA VARIABLE

**Autores:** Tito Andrés Arteaga Maldonado, Andrés Alberto Sánchez González.

**Director de Tesis:** Ing. Gabriel Gaibor, MSc.

**Palabras clave:** Ángulos de fase, cnc, mosfet,

El desarrollo de esta tesis se basa en el análisis del comportamiento y el cambio de variación de frecuencia de los circuitos eléctricos que permite el control de los ángulos de fase a su vez se puede utilizar la recolección de datos de variables como voltajes corrientes y frecuencias para el diseño de algún circuito de potencia como ejemplo seria control de velocidad de un motor eléctrico para grúas, CNC, etc.

Las variables dependientes (corriente ,voltaje, frecuencia) nos permitirán en el cálculo la selección de los capacitores e inductores para el circuito de prueba de la tesis que consta de un circuito resonante que nos permite controlar la frecuencia mediante un transistor MOSFET que ayudara con la comprensión del tema y cumplir los objetivos trazados.



## SUMMARY

**Topic:** ANALYSIS OF ELECTRICAL CIRCUITS WITH VARIABLE FREQUENCY.

**Authors:** Tito Andrés Arteaga Maldonado, Andrés Alberto Sánchez González.

**Thesis Director:** Ing. Gabriel Gaibor, MSc.

**Keywords:** Phase angles, cnc, mosfet.

The development of this thesis is based on the analysis of the behavior and the change of frequency variation of the electric circuits that allows the control of the phase angles, in turn, the data collection of variables such as current voltages and frequencies can be used. the design of some power circuit as an example would be speed control of an electric motor for cranes, CNC, etc.

The dependent variables (current, voltage, frequency) will allow us in the calculation the selection of capacitors and inductors for the thesis test circuit that consists of a resonant circuit that allows us to control the frequency by means of a MOSFET transistor that will help with the Compression of the theme and meet the objectives set.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS .....	iii
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS .....	iv
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
RESUMEN.....	viii
SUMMARY .....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	x
INDICE DE TABLAS .....	xv
ABREVIATURAS .....	xvi
SIMBOLOGÍA.....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. EL PROBLEMA .....	2
1.1. Descripción del Problema .....	2
1.2. Importancia y Alcances .....	2
1.3. Delimitación.....	2
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. Objetivo General .....	3
1.4.2. Objetivo Especifico .....	3
1.5. Marco Metodológico .....	3
CAPÍTULO II .....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1. Estado del Arte.....	4
2.1.1. Circuitos eléctricos.....	4
2.1.2. Transformador.....	6
2.1.2.1. Transformación de voltaje.....	6
2.1.2.2. Relación de vueltas.....	7

2.1.2.3.	Relación de transferencia de voltaje.....	7
2.1.2.4.	Construcción de transformadores (Características).....	8
2.1.2.5.	Circuito equivalente de un transformador .....	8
2.1.2.	Resistencias y resistividad.....	10
	Resistividad.....	11
2.1.3.	Emparejamiento de impedancia .....	11
2.1.4.	Diodos .....	12
2.1.6.	Transistores MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor).....	15
2.2.	Control de frecuencia .....	22
2.2.2.	Índices de calidad de frecuencia.....	23
2.2.5.	Influencia de la frecuencia en el equipo de los usuarios .....	26
2.2.6.	Efectos de frecuencia .....	27
2.2.7.	Multiplicación de frecuencia.....	29
2.2.9.	Control de frecuencia .....	31
2.3.	Circuitos Resonantes.....	32
2.3.2.	Resonancia de la serie .....	33
CAPÍTULO III.....		41
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	41
3.1.	Construcción del Módulo de pruebas para Circuitos Eléctricos .....	41
Diseño mecánico .....		42
Diseño Eléctrico.....		45
3.2.	Materiales.....	48
Transistor MOSFET IRFP150N.....		48
Capacitores 330nf.....		49
Transformador.....		50
3.3.	Calculo y diseño de un circuito practico .....	50
3.4.	Simulación en MULTISIM .....	54
La señal de pulso sale distorsionada como en la figura 39, debido al potenciómetro que se usa por lo general se utiliza un timer que también es un potenciómetro pero de más precisión. ....		
CAPÍTULO IV.....		58
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	58
4.1.	PRÁCTICAS DEL MÓDULO DIDÁCTICO.....	58
4.1.2.	Práctica #1 .....	58
4.2.	PRÁCTICAS DEL MÓDULO DIDÁCTICO.....	61
4.2.2.	Práctica #2 .....	61

CONCLUSIONES .....	64
RECOMENDACIONES .....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	66
ANEXOS.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los elementos de un circuito ideal .....	6
Figura 2. Representación de un transformador que consiste en de dos circuitos eléctricos unidos por un común.....	7
Figura 3. Circuito Equivalente de un transformador .....	9
Figura 4. Circuito simplificado del circuito equivalente del transformador .....	9
Figura 5 Campo eléctrico producido al aplicar un voltaje a dos placas conductoras a una distancia d.....	14
Figura 6. Símbolos del dispositivo: (a) modo de enriquecimiento de n canales; .....	16
Figura 7. Características ID vs VDS. ....	16
Figura 8. Corriente de conmutación ideal, formas de onda de tensión y potencia. ....	17
Figura 9. (a) Corriente de conmutación práctica, formas de onda de tensión y potencia; y (b) trayectoria de conmutación. ....	19
Figura 10. NMOS con un voltaje de entrada de señal pequeña vgs .....	20
Figura 11. Diferentes arreglos VGS .....	21
Figura 12. Consumo de energía de varios tipos de receptores vs variación de frecuencia. ....	26
Figura 13. Alimentación de frecuencia variable de motor asíncrono.....	27
Figura 14.Circuitos Equivalentes RC en serie a) y en paralelo b).....	28
Figura 15. Un circuito multiplicador de frecuencia que utiliza un diodo de RF. ....	30
Figura 16. Ilustración espectral de la mezcla de señales, que muestra la amplitud en función del tiempo.....	31
Figura 17. Conexión de un diodo varactor en un circuito sintonizado.....	32
Figura 18. Grafico V vs f .....	33
Figura 19. Circuito Equivalente resonante serie .....	34
Figura 20. Estado lógico de cada interruptor y el voltaje resultante del inversor. ....	35
Figura 21. Modulación de vanguardia.....	37
Figura 22. Modulación Triangular .....	38
Figura 23. PWM de muestras múltiples .....	39
Figura 24. Esquema para el calado y trazos del vinilo para el módulo.....	42
Figura 25 .Prototipo del módulo con sus componentes adecuados .....	43
Figura 26. Sustento de armazon metálica para módulo de circuito de practicas .....	44
Figura 27. Puesta en marcha del módulo de circuitos de pruebas eléctricas. ....	45
Figura 28. Recorrido de los cables internos del módulo de practicas .....	46
Figura 29. Adecuaciones del cableado del módulo de circuitos .....	47
Figura 30. Verificación del cableado del módulo de circuitos de prácticas .....	48
Figura 31. Transistor .....	49
Figura 32. Capacitor 3.3uf.....	49
Figura 33. Inductor.....	50
Figura 34.Transformador de 120/24 VAC .....	50
Figura 35. Circuito de práctica demostrativa .....	53
Figura 36. Variación de onda del voltaje de salida de la bobina de trabajo .....	54
Figura 37.Circuito esquemático de la señal pulso para la entrada de la compuerta del MOSFET .....	55

Figura 38. Circuito esquemático número dos de la señal pulso para la entrada de la compuerta del MOSFET. ....	56
Figura 39 Señal pulso PWM. ....	57
Figura 40. Pruebas del Circuito con Arduino.....	68
Figura 41.Prueba de onda cuadrada pulso.....	69
Figura 42.Prueba en osciloscopio de señal PWM.....	70
Figura 43. Señal tipo pulso positivo y negativo .....	71
Figura 44. Hojas de datos técnicos del MOSFET IRFP150N. ....	72

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pautas para determinar las resistencias de polarización.....	21
Tabla 2. Datos informativos de la práctica demostrativa.....	52

## ABREVIATURAS

a	Área transversal
CC	Corriente continúa
CA	Corriente alterna
$T_{pri}$	Numero de vueltas devanado primario
LTI	Circuitos lineales invariantes en el tiempo
L	Inductancia
$\rho$	Constante resistividad del Material
Q	Coulomb
r.f	Radiofrecuencia
MRI	Imagen por resonancia magnética
Hz	Hertz
PWM	Modulación de ancho de pulso



## SIMBOLOGÍA

#	numero
-	signo menos
+	signo mas
“	comillas de apertura
”	comillas de cierre
%	porcentaje
≈	Aproximado

## INTRODUCCIÓN

El proyecto se basa en el análisis de un módulo de prácticas para realizar pruebas que demuestren el comportamiento de circuitos eléctricos en función de frecuencias variables, simular y poner en práctica los diferentes circuitos planteados y serán demostrados en la práctica para así tener un mejor entendimiento del caso en estudio, todo esto se realizara con la ayuda de un módulo y con diferentes practicas planteadas y demostradas para la futura realización de estas de parte de los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

Demostraremos el comportamiento de velocidad de motores al variar sus valores de frecuencia para así poder tener diferentes velocidades sin necesidad de realizar otro tipo de conexiones.

En los capítulos se detallara la función que cumple la frecuencia dentro del ámbito eléctrico, los diferentes conceptos de las leyes básicas de electricidad, tipos de conexiones, elementos electrónicos que nos ayudaran a cambiar este valor fijo de frecuencia proporcionado en la red y como se obtiene esto.

El proyecto tendrá como principales beneficiarios a la Universidad Politécnica Salesiana y a los estudiantes de la carrera Ingeniería Eléctrica, ya que facilitamos el tablero con todo lo necesario para los laboratorios además de documentación que facilite el aprendizaje de circuitos eléctricos con frecuencia variable. Este trabajo tiene una gran contribución académica para actuales y futuros estudiantes dándole un realce a la decisión de elegir esta carrera en la Universidad.

Existen circuitos resonantes que ayudan al control de la frecuencia esto permite múltiples aplicaciones como por ejemplo, la variación de velocidad de motores, inducción electromagnética entre otros.

# CAPÍTULO I

## 1. EL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del Problema

En el análisis de circuitos con alimentación de corriente alterna, se ha aprendido como determinar tensiones y corrientes en un circuito con una fuente de frecuencia constante. Si la amplitud de la fuente de corriente alterna permanece constante y se varía la frecuencia, se obtiene la respuesta en frecuencia de circuito como una función de la frecuencia.

Esto de manera teórica lo escuchamos mencionar innumerables ocasiones, pero en la UPS, sede Guayaquil no contamos con un módulo para realizar estas prácticas y poder experimentar con estos cambios.

### 1.2. Importancia y Alcances

Con el análisis de esta tesis la carrera de Ingeniería Eléctrica se beneficiara con prácticas teóricas y experimentales brindándole a sus estudiantes todas las facilidades para ser unos excelentes profesionales ya que brindara todas las herramientas a sus estudiantes para su desarrollo profesional, técnicamente con simulaciones y elementos utilizados en el ámbito laboral que son fáciles de adquirir y serán utilizados a futuro por los profesionales, esto llevara a desarrollar una cultura de investigación por parte de los estudiantes ya que se interesaran aún más por saber cómo funciona cada elemento eléctrico parte del circuito para cumplir su función realizada. Es un proyecto muy innovador ya que en un solo tablero podremos encontrar elementos eléctricos y electrónicos que si los utilizamos juntos podemos simplificar muchos funcionamientos.

### 1.3. Delimitación

Este proyecto se realizó en las instalaciones de la universidad politécnica salesiana, en el laboratorio de circuitos eléctricos ubicado en el nuevo edificio, lugar donde encontramos la mayoría de los laboratorios de la Universidad.

El proyecto se centrará en la elaboración de un tablero de conexiones para realizar prácticas estudiantiles y demostrar funciones de acuerdo con el tema planteado.

El tablero será probado con prácticas sobre el análisis de circuitos eléctricos con frecuencia variable, para realizar el arranque de un motor trifásico. El tablero se encontrará en el laboratorio dispuesto por la Universidad. Al contar con elementos y equipos como borneras, resistencias, inductores y capacitores también servirán para su explicación de funcionamiento en clases, además de demás elementos que ayudan a su funcionamiento.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

- Análisis del comportamiento de circuitos eléctricos con frecuencia variable en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la UPS Sede Guayaquil.

### **1.4.2. Objetivo Especifico**

- Diseñar un módulo para realizar prácticas que permitan el control de frecuencia variable para circuitos eléctricos
- Ejecutar la mano de obra necesaria para la construcción de un módulo utilizando elementos de buena calidad y de fácil manejo para los estudiantes de la UPS sede Guayaquil
- Realizar un folleto con prácticas propuestas para el uso del modulo
- Realizar dos prácticas de demostración del correcto funcionamiento del modulo

## **1.5. Marco Metodológico**

### **1.5.1. Hipótesis**

Se utilizó el método analítico y el deductivo para resolver la problemática que tiene la carrera de Ingeniería Eléctrica, por lo cual se propuso este proyecto. Cada elemento utilizado en este tablero se lo implemento de acuerdo con los conocimientos adquiridos y que son de conocimiento general de los estudiantes, se realizó un diseño y seleccionaron elementos de uso general los cuales serán comprensibles para cada persona con conocimientos técnicos siendo estos los estudiantes de la carrera.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Estado del Arte.

##### 2.1.1. Circuitos eléctricos

Estos elementos de circuito ideales. Se puede dividir en dos categorías generales y son

- Activos.
- Pasivos

Según cómo manejen la energía, los elementos activos del circuito son capaces de entregar energía a un circuito eléctrico a través de la conversión de energía, en esta última instancia, de alguna fuente de energía no eléctrica. En cambio los elementos pasivos del circuito son incapaces de hacerlo.

Los elementos pasivos del circuito son incapaces de entregar energía en un circuito eléctrico a través de conversión de otra fuente de energía. En cambio, ellos Pueden absorber energía para uno de los siguientes propósitos:

1. Consumo de energía o conversión de energía en el circuito eléctrico como por ejemplo, calor, luz, sonido o energía mecánica. Los dispositivos que consumen energía a menudo se puede representar convenientemente en los circuitos eléctricos por resistencias ideales, que disipan la energía eléctrica como calor. La propiedad que permite que una resistencia se disipe energía es la resistencia, denotada por el símbolo  $R$ .
2. Almacenamiento temporal en forma de energía eléctrica o, Más específicamente, la energía potencial. El elemento del circuito que almacena esta energía se llama capacitor y la propiedad asociada con este almacenamiento de energía eléctrica es la capacitancia, denotado por el símbolo  $C$  (note que la cursiva  $C$  es capacitancia, mientras que  $C$  no vital es coulomb).
3. Almacenamiento temporal en forma de magnético o, más específicamente, energía cinética. El elemento del circuito que almacena esta energía se llama inductor y la propiedad asociado con este almacenamiento de energía magnética es la inductancia, denotada por el símbolo  $L$ .

Se refiere resistencia, capacitancia e inductancia. a como parámetros del circuito. La figura 1, ilustra la clasificación de los elementos de un circuito ideal, y sus respectivos Símbolos para una resistencia, condensador e inductor.

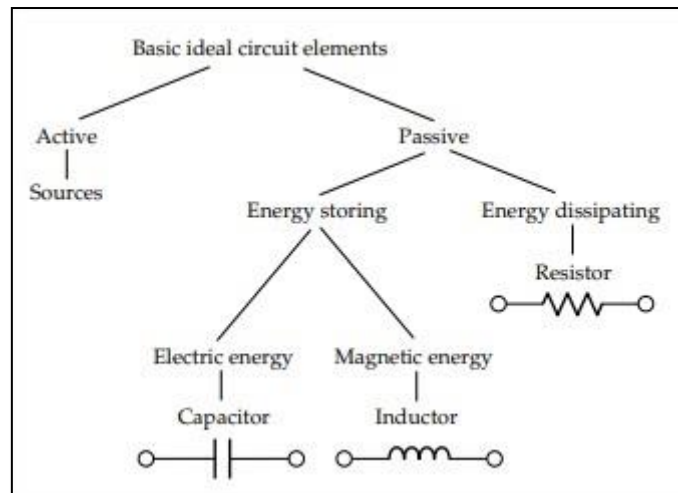
La designación "elemento de circuito" será en adelante exclusivamente referirse a un elemento de circuito ideal

Los tres elementos pasivos de un circuito eléctrico son "ideales" en los siguientes aspectos:

1. Cada elemento realiza su función designada. Solamente. Así, las resistencias ideales solo disipan energía, no almacenan energía eléctrica ni almacenan energía magnética.
2. Los condensadores ideales solo almacenan energía eléctrica, no disipan energía ni almacenan energía magnética de
3. Los inductores ideales solo almacenan energía magnética, no disipan energía ni almacenan energía eléctrica.

Elementos prácticos de un circuito en general no son ideales en este sentido. Por ejemplo, una práctica. El inductor hecho de una bobina de alambre se disipa energía debido a la resistencia finita del alambre. Por otra parte y por la función que realizaba. Por cada uno de los elementos ideales del circuito pasivo es de Una naturaleza fundamentalmente diferente de la realizada. por los otros dos elementos, ninguno de los se pueden representar tres elementos ideales del circuito en términos de los otros dos. En este sentido, el ideal. Los elementos del circuito también se describen como básicos.

Los parámetros del circuito  $R$ ,  $L$  y  $C$  en un determinado Los circuitos son constantes, independientes de cualquier corriente. o voltaje con el que están asociados, y También son independientes del tiempo. Se mostrará luego que la constancia de  $R$ ,  $L$  y  $C$  implica linealidad que se relacionan para estos elementos. Por ello, circuitos eléctricos básicos que comprenden elementos de circuito ideales se refieren a Como circuitos lineales invariantes en el tiempo (LTI).



**Figura 1.** Clasificación de los elementos de un circuito ideal [1].

### 2.1.2. Transformador

Los ingenieros y técnicos Pueden usar transformadores para obtener el óptimo voltaje de operación para un circuito, dispositivo o sistema de electricidad de utilidad de CA estándar.

Los transformadores también tienen otras aplicaciones. Por ejemplo, pueden:

- Haga coincidir las impedancias entre dos circuitos diferentes para que trabajen juntos en

La forma más eficiente posible.

- Proporcionar aislamiento de CC entre circuitos, mientras se deja pasar la CA, por lo que el DC de un circuito no afectará al otro circuito.
- Hacer circuitos equilibrados (de dos extremos) y desequilibrados (de un solo extremo), Sistemas de alimentación, y cargas compatibles entre sí.

#### 2.1.2.1. Transformación de voltaje

Un transformador típico contiene dos bobinas de alambre aislado o esmaltado, junto con un núcleo o forma en la que están heridos. El primario es la bobina o bobina a través de en el que se ingresa la CA. El secundario es la bobina o bobina en la que aparece AC Como resultado de la corriente en el primario.

### 2.1.2.2. Relación de vueltas

Los ingenieros definen el número de giros primario a secundario en un transformador como el número de vueltas en el  $T_{pri}$  primario dividido por el número de vueltas en el  $T_{sec}$  secundario. Puede denotar esta relación como:

$$T_{pri} : T_{sec} \quad 1$$

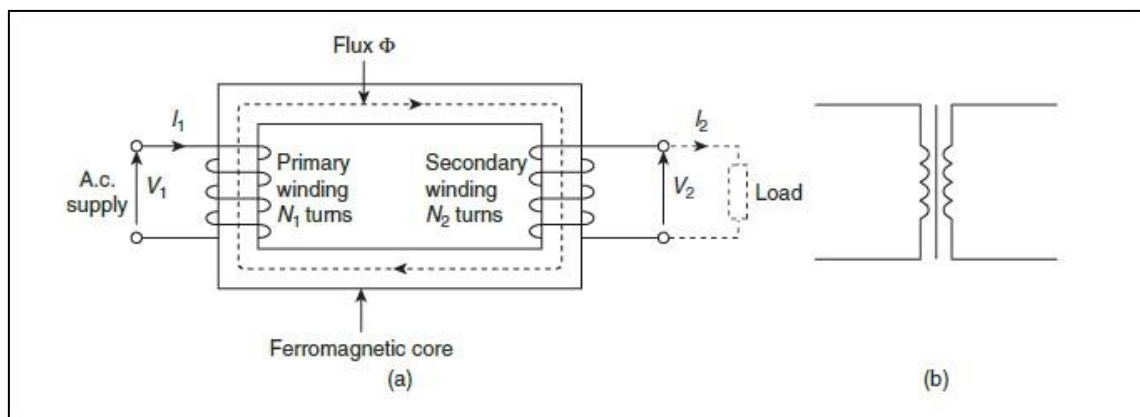
Donde T representa el número de vueltas

### 2.1.2.3. Relación de transferencia de voltaje

En un transformador bien construido, la relación de transferencia de voltaje primario a secundario es igual a la Proporción de giros primarios a secundarios. Puedes escribir este hecho en términos matemáticos como

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \quad 2$$

En la Figura 2(a) se representa un transformador que consiste en de dos circuitos eléctricos unidos por un común



**Figura 2.** Representación de un transformador que consiste en de dos circuitos eléctricos unidos por un común [1].



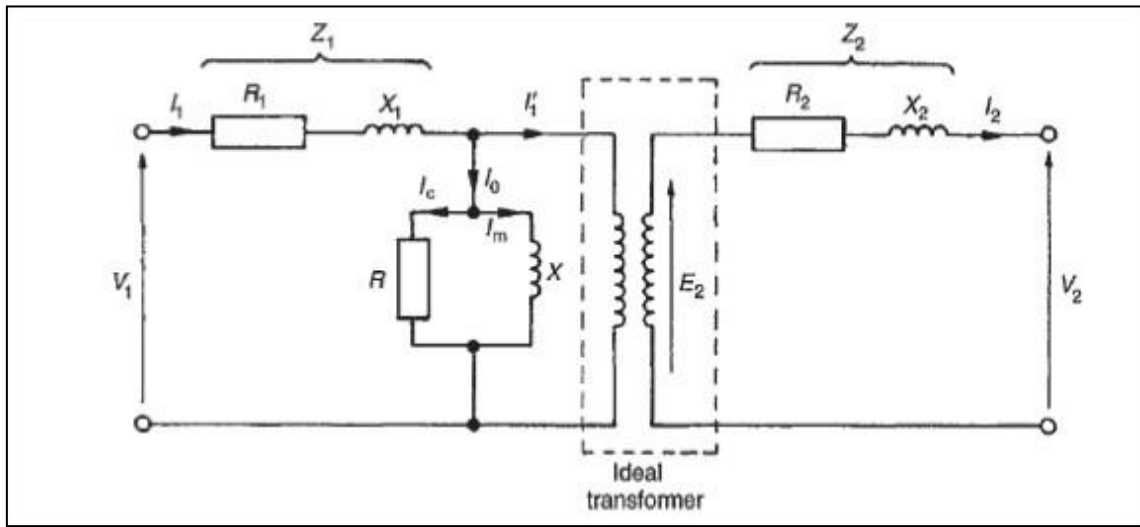
#### **2.1.2.4. Construcción de transformadores (Características)**

- Para transformadores de potencia, calificados posiblemente en varios MVA y funcionando a una frecuencia de 50Hz. en Gran Bretaña, el material de núcleo utilizado suele ser Acero laminado de silicio o stalloy, las laminaciones. Reducir las corrientes de Foucault y el acero al silicio. manteniendo la pérdida de histéresis al mínimo. Se utilizan transformadores de gran potencia en la distribución principal. Sistema y en circuitos de suministro industrial. Los transformadores de potencia pequeños tienen muchas aplicaciones, Ejemplos que incluyen soldadura y rectificador. Suministros, circuitos de campana doméstica, lavado importado. máquinas, y así sucesivamente.
- Para transformadores de frecuencia de audio (af), nominal desde unos pocos mVA hasta más de 20VA, y en funcionamiento en frecuencias de hasta 15kHz, el pequeño El núcleo es también de acero laminado de silicona. Atípico. Aplicación de a.f. transformadores está en un audio Sistema amplificador.
- Transformadores de radiofrecuencia (r.f), en funcionamiento. en la región de frecuencia MHz tienen o bien un aire Núcleo, un núcleo de ferrita o un núcleo de polvo. Los núcleos de polvo consisten en partículas finas de hierro carbonilo o permaloy (es decir, níquel y hierro), cada partícula de los cuales está aislado de su vecino. Aplicaciones de r.f. Los transformadores se encuentran en la radio y receptores de televisión.
- Los bobinados de los transformadores suelen ser de esmaltados. Cobre o aluminio.
- El enfriamiento se logra por aire en pequeños transformadores. y aceite en transformadores grandes

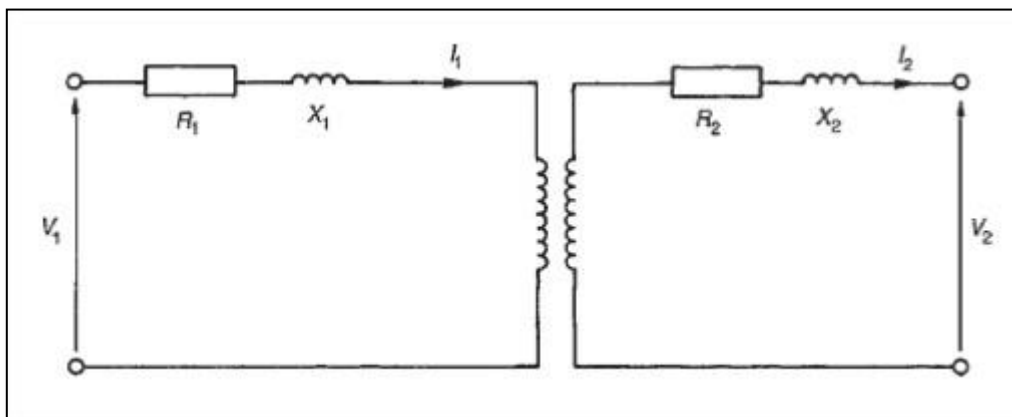
#### **2.1.2.5. Circuito equivalente de un transformador**

La figura 3 muestra un circuito equivalente de un transformador. R1 y R2 representan las resistencias del primario y Los devanados secundarios y X1 y X2 representan las reactancias. de los devanados primarios y secundarios, debido a flujo de fuga. Las pérdidas del núcleo por histéresis y corrientes parásitas son permitidas por la resistencia R que toma un IC actual, el Componente de pérdida de núcleo de la corriente primaria. Resistencia reactiva X toma el componente imantante Im. En un simplificado El circuito equivalente que se muestra en la figura 4, R y X se omiten ya que la corriente sin carga  $I_0$  es normalmente solo de 3 a 5 por ciento de la corriente primaria de carga completa. A

menudo es conveniente suponer que todas las resistencia y reactancia como estar en un lado de la transformador. La resistencia  $R_2$  en la figura 4 puede ser reemplazada.



**Figura 3.** Circuito Equivalente de un transformador [1].



**Figura 4.** Circuito simplificado del circuito equivalente del transformador [1].

Insertando una resistencia adicional  $R'2$  en la primaria Circuito tal que la potencia absorbida en  $R_2$  cuando se lleva la corriente primaria es igual a la del  $R_2$  debido a la corriente secundaria, es decir

$$I_1^2 R_2' = I_2^2 R_2 \quad 3$$

Entonces la resistencia equivalente total en el circuito primario  $R_e$  es igual a las resistencias primarias y secundarias del transformador real. Por lo tanto,  $R_e = R_1 + R_2'$

$$R_e = R_1 + R_2 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^2 \quad 4$$

### 2.1.2. Resistencias y resistividad.

(i) Resistencias de alambre enrollado una longitud de cable como nicrom o manganina, cuyo Se conoce el valor resistivo por unidad de longitud, se corta a la valor deseado y enrollado alrededor de un formador cerámico previo. Ser lacado para su protección. Este tipo de resistencia tiene un gran tamaño físico, lo cual es una desventaja; sin embargo, Se pueden realizar con un alto grado de precisión. y puede tener una alta calificación de potencia. Las resistencias de alambre enrollado se utilizan en circuitos de potencia y arrancadores de motor.

(ii) Resistencias de óxido de metal. Con una resistencia de óxido de metal, una fina capa de platino. Se deposita sobre una placa de vidrio; entonces se dispara y una fina pista grabada hacia fuera. Entonces se encierra totalmente en un exterior tubo. Resistencias de óxido de metal se utilizan en equipos electrónicos.

(iii) Resistencias de carbono Este tipo de resistencia está hecha de una mezcla de carbono. Aglutinante de resina negro y un polvo refractario que se presiona en forma y se calienta en un horno para formar un Varilla maciza de longitud y anchura estándar. El resistivo El valor está predeterminado por la relación de la mezcla. Las conexiones finales de metal están engarzadas en la varilla para actuar. Como puntos de conexión para circuitos eléctricos. Este tipo La resistencia es pequeña y se produce en masa a bajo precio; Tiene Precisión limitada y una calificación de baja potencia. Las resistencias de carbono se utilizan en equipos electrónicos.

## Resistividad

La resistencia de un conductor eléctrico depende de Cuatro factores, que son:

- (a) la longitud del conductor,
- (b) el área de la sección transversal del conductor,
- (c) el tipo de material
- (d) la temperatura del material.

La resistencia,  $R$ , es directamente proporcional a la longitud,  $l$ , y es inversamente proporcional a la transversal área,  $a$ , de un conductor, es decir,  $R \propto l / a$ . Así, para ejemplo, si el área de la sección transversal de un trozo de alambre es doblado entonces la resistencia se reduce a la mitad.

Dado que  $R \propto l$  y  $R \propto 1 / a$  entonces  $R \propto l / a$ . Insertando un constante de proporcionalidad en esta relación el tipo del material utilizado puede ser tenido en cuenta. El constante de proporcionalidad se conoce como la resistividad del Material y se le da el símbolo  $\rho$  (rho griego). Así,

$$R = \frac{\rho l}{a} \text{ ohmios} \quad 5$$

### 2.1.3. Emparejamiento de impedancia

En un circuito de corriente continua, la oposición a la corriente resulta de la resistencia en los componentes y cableado. En un circuito de CA, la resistencia se opone al flujo de corriente de la misma manera Como lo hace para DC. Pero los circuitos de corriente alterna tienen otro efecto, la reactancia, que también se opone. (o impide) actual. La reactancia puede manifestarse como capacitancia o como inductancia.

La impedancia es una matemática especializada. Combinación de resistencia, reactancia capacitiva y reactancia inductiva. La resistencia no cambia con la frecuencia de CA Pero la reactancia sí, si el circuito Contiene inductancia y / o capacitancia. Si mantienes constantes todos los demás factores, la reactancia capacitiva disminuye a medida que

aumenta la frecuencia de CA, y la inductiva la reactancia aumenta a medida que aumenta la frecuencia de CA.

Un circuito o sistema de CA funciona mejor cuando la impedancia de una fuente de energía es igual a la impedancia de la carga a la que va esa potencia, y ni la fuente ni la carga contienen ninguna reactancia. Este estado ideal de cosas no viene por casualidad. Por lo general, las dos impedancias deben ser idénticas y sin reactancia mediante transformadores. Este proceso se llama coincidencia de impedancia.

#### **2.1.4. Diodos**

El término diodo significa "dos elementos". En los viejos tiempos de la electrónica (antes de aproximadamente 1960), los tubos de vacío de dos elementos sirvieron como diodos. El elemento catódico emitido los electrones, y el elemento ánodo los recogió. Los electrones fluían fácilmente a través del tubo del cátodo al ánodo, pero no a la inversa. Hoy en día, la mayoría de los diodos comprenden silicio u otros materiales semiconductores, pero los ingenieros todavía llaman a los elementos correspondientes al cátodo y al ánodo.

##### **Características**

Dos categorías de semiconductores prevalecen en la electrónica: tipo N, en la que la carga portadores son principalmente electrones; y tipo P, en el que los portadores de carga son principalmente agujeros (átomos con electrones "faltantes").

La Unión Cuando las muestras de material semiconductor de tipo N y P descansan en contacto físico, se obtiene una unión P-N que forma un diodo semiconductor. La figura 6-1 muestra el símbolo esquemático para este componente. La línea recta corta representa el tipo N material, que actúa como el cátodo. La flecha representa el material de tipo P, que actúa como el ánodo.

En un diodo, los electrones normalmente pueden fluir contra la flecha, pero no en la dirección que señala la flecha. Si interconecta una batería, una resistencia y un diodo, como se muestra en la Fig. 6-2A, la corriente fluirá en el circuito (excepto cuando el voltaje está por debajo del punto de ruptura hacia adelante, discutido en el siguiente párrafo). Entonces el diodo opera en un estado de sesgo directo donde el cátodo es negativo y el ánodo es positivo.

Si invierte la polaridad de la batería, como se muestra en la Fig. 6-2B, no fluirá ninguna corriente (excepto cuando se produce un desglose por avalancha, también descrito en el siguiente párrafo) porque se forma una región de agotamiento a ambos lados de la unión

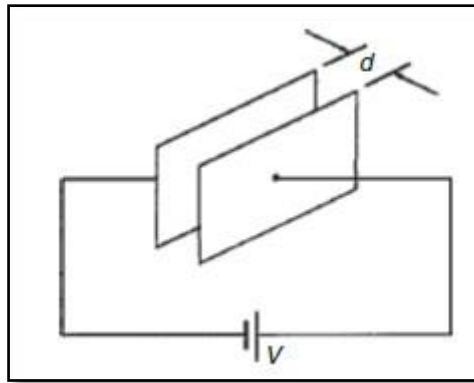
P-N donde casi no hay Existen electrones o agujeros. Debido a que carece de portadores de carga que pueden conducir corriente, Esa zona actúa como aislante eléctrico o dieléctrico. Entonces el diodo opera en polarización inversa en la que el cátodo es positivo y el ánodo es negativo.

### **2.1.5. Capacitor**

Un condensador o capacitor es un dispositivo eléctrico que se utiliza para almacenar energía eléctrica. Junto a la resistencia, el condensador es El componente más comúnmente encontrado en electricidad. Circuitos. Los capacitores son ampliamente utilizados en electricidad. y circuitos electrónicos. Por ejemplo, se utilizan condensadores. Rectificado a.c. Salidas, se utilizan en telecomunicaciones. equipos - tales como receptores de radio - para sintonizando la frecuencia requerida, se utilizan en el tiempo Circuitos de retardo, en filtros eléctricos, en circuitos osciladores. y en imágenes por resonancia magnética (MRI) en medicina escáneres corporales, por nombrar solo algunas aplicaciones prácticas.

La figura 6.1 representa dos placas metálicas paralelas, A y B, cargado a diferentes potenciales. Si un electrón que Tiene una carga negativa que se coloca entre las placas, una fuerza actuará sobre el electrón tendiendo a alejarlo desde la placa negativa B hacia la placa positiva, A. Del mismo modo, una carga positiva sería actuada por Una fuerza que tiende a moverla hacia la placa negativa. Cualquier región como la que se muestra entre las placas en Fig. 6.1, en la que una carga eléctrica experimenta una fuerza,

Se llama campo electrostático. La dirección del campo. Se define como el de la fuerza que actúa sobre una carga positiva. Colocado en el campo. En la figura 6.1, la dirección de la fuerza. Es de la placa positiva a la placa negativa. Un tal campo puede ser representado en magnitud y dirección por Líneas de fuerza eléctrica dibujadas entre las superficies cargadas. La proximidad de las líneas es una indicación del campo de fuerza. Cada vez que un p.d. se establece entre Dos puntos, siempre existirá un campo eléctrico.



**Figura 5** Campo eléctrico producido al aplicar un voltaje a dos placas conductoras a una distancia  $d$  [2].

### Capacidad

Los campos eléctricos estáticos surgen de cargas eléctricas, eléctricas. Líneas de campo que comienzan y terminan en cargas eléctricas. Así, la presencia del campo indica la presencia de cargas eléctricas positivas y negativas iguales en los dos Placas de la figura 6.3. Deje que la carga sea  $+Q$  coulombs en una placa y  $-Q$  coulombs en la otra. La propiedad de este par de placas que determina cuánto carga corresponde a un p.d dado. entre las placas se llama su capacitancia

$$C = \frac{Q}{V} \quad \mathbf{6}$$

Todo sistema de conductores eléctricos posee capacitancia. Por ejemplo, hay capacitancia entre conductores de líneas aéreas de transmisión y también entre Los cables de un cable telefónico. En estos ejemplos la capacitancia es indeseable pero tiene que ser aceptada, minimizado o compensado por. Hay otras situaciones Donde la capacitancia es una propiedad deseable. Dispositivos especialmente contruidos para poseer capacitancia.se llaman condensadores (o condensadores, como solían ser llamado). En su forma más simple un condensador consiste en Dos placas que están separadas por un material aislante. Conocido como dieléctrico tiene la capacidad de almacenar Una cantidad de electricidad estática.

$$Q = I \times t$$

7

Donde

I esta en amperios

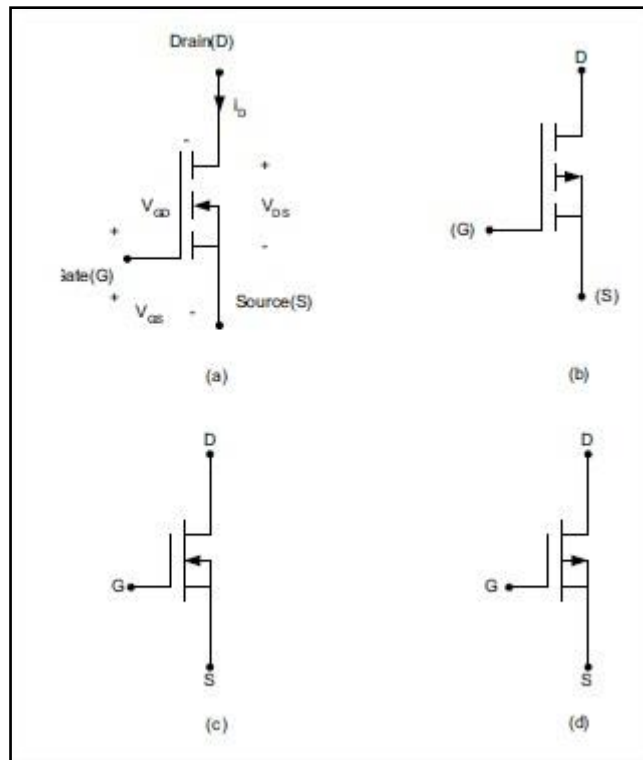
T esta en segundos

### **2.1.6. Transistores MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor)**

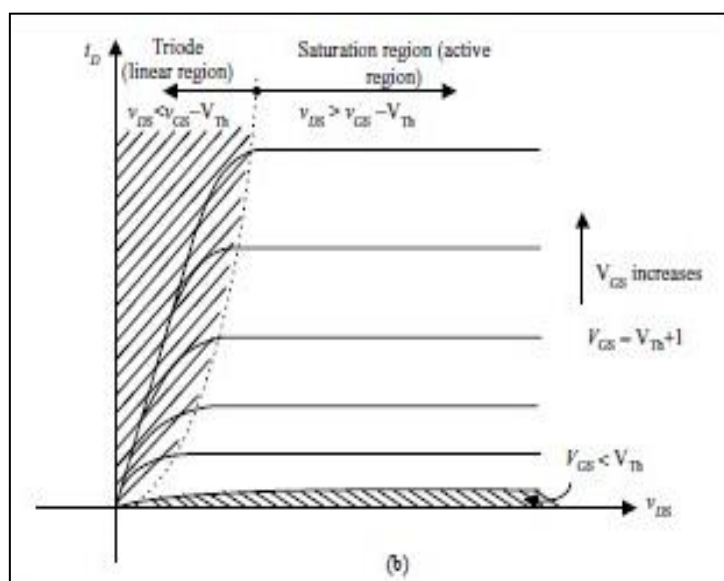
El dispositivo pertenece a la familia de dispositivos unipolares, ya que utiliza solo La mayoría son portadores en conducción. El desarrollo del metal óxido. Tecnología de semiconductores (MOS) para microelectrónica.

Los circuitos abrieron el camino para el desarrollo del Dispositivo de transistor de efecto de campo de óxido semiconductor (MOSFET) en 1975. Seleccionando el dispositivo más apropiado para un determinado La aplicación no es una tarea fácil porque requiere conocimiento. Sobre las características del dispositivo, sus características únicas, la innovación, y experiencia en diseño de ingeniería. A diferencia de la baja potencia (dispositivos de señal), los dispositivos de alta potencia son más complicados en Estructura, diseño del conductor y sus características operativas de i-v. son difíciles de entender Este conocimiento es muy Importante para los ingenieros de electrónica de potencia en el diseño. Circuitos que harán de estos dispositivos casi ideales. El símbolo del dispositivo para una mejora de los canales p y n y Los tipos de agotamiento se muestran en la figura 6.5. La figura 6.6 muestra la Características de i-v para el tipo de mejora de n canales MOSFET. Es el dispositivo de conmutación de potencia más rápido, con conmutación. Frecuencia > MHz, y con potencias elevadas y de voltaje de hasta 600 V y de corriente tan alta como 40 A. Regiones de operaciones como se muestra en la figura.





**Figura 6.** Símbolos del dispositivo: (a) modo de enriquecimiento de n canales; (b) modo de enriquecimiento de canal p; (c) modo de empobrecimiento de canal n; y (d) modo de empobrecimiento de canal p [3].

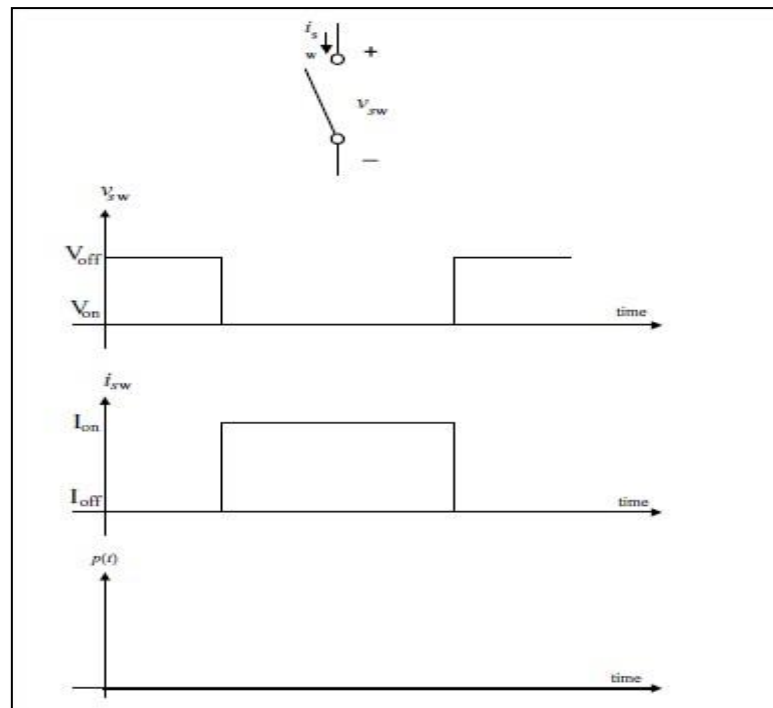


**Figura 7.** Características  $I_D$  vs  $V_{DS}$  [3].

## El interruptor ideal

Siempre es deseable que los interruptores de potencia funcionen lo más cerca posible. Como sea posible al caso ideal. Para un dispositivo semiconductor para operar como un interruptor ideal, debe poseer las siguientes características:

1. No hay límite en la cantidad de corriente (conocido como forward o corriente inversa) el dispositivo puede transportar cuando en el estado de conducción (en el estado)
2. No hay límite en la cantidad de voltaje del dispositivo (conocido como tensión de bloqueo directo o inverso) cuando el dispositivo está en el estado de no conducción, estado apagado.
3. Cero caída de tensión en el estado en la conducción estado.
4. Resistencia de estado infinito, es decir, cero corriente de fuga cuando está en el estado de no conducción.
5. No hay límite en la velocidad de operación del dispositivo cuando se cambia el estado, es decir, cero tiempos de subida y bajada.



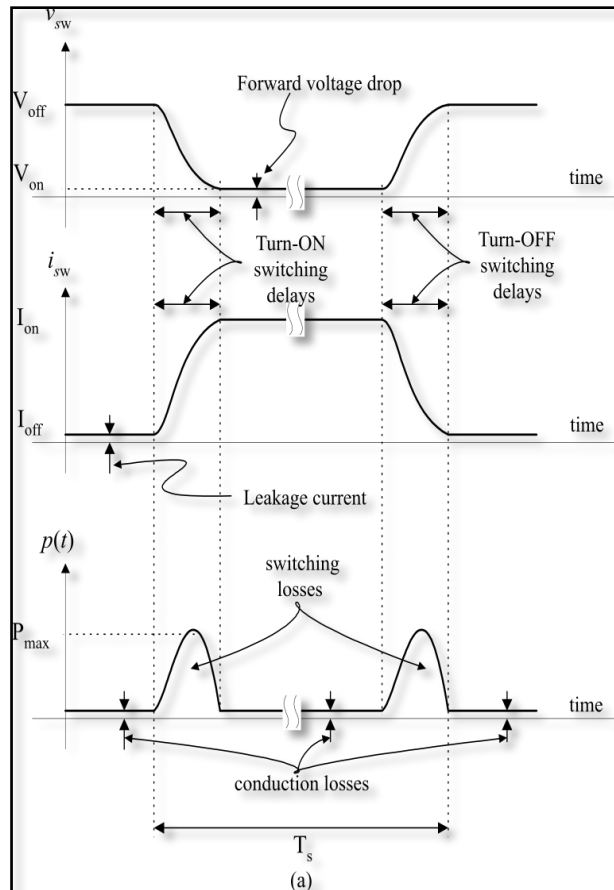
**Figura 8.** Corriente de conmutación ideal, formas de onda de tensión y potencia [3].

Durante los periodos de conmutación y conducción, la pérdida de potencia es cero, resultando en una eficiencia del 100%; sin retrasos de conmutación, Se puede lograr una frecuencia de operación infinita. En definitiva, un El interruptor ideal tiene una velocidad infinita, un manejo ilimitado de la potencia. Capacidades, y 100% de eficiencia. Cabe señalar que es No es sorprendente encontrar dispositivos de conmutación de semiconductores que para todos los propósitos prácticos casi puede funcionar como interruptores ideales Para número de aplicaciones.

#### El interruptor práctico

El práctico interruptor tiene las siguientes características de conmutación y conducción:

1. Capacidad de manejo de potencia limitada, es decir, limitada corriente de conducción cuando el interruptor está en estado de encendido, y tensión de bloqueo limitada cuando el interruptor está en el fuera del estado
2. Velocidad de conmutación limitada causada por el encendido finito y tiempos de apagado. Esto limita el máximo de funcionamiento. Frecuencia del dispositivo.
3. Resistencia finita de estado y estado, es decir, la caída de voltaje hacia adelante existe cuando está en estado, y existe un flujo de corriente inversa (fuga) cuando está en el estado.
4. Por las características 2 y 3, el práctico interruptor. Experimenta pérdidas de energía en los estados de conexión y desconexión. (Conocido como pérdida de conducción), y durante la conmutación transiciones (conocidas como pérdida de conmutación).



**Figura 9.** (a) Corriente de conmutación práctica, formas de onda de tensión y potencia; y (b) trayectoria de conmutación [3].

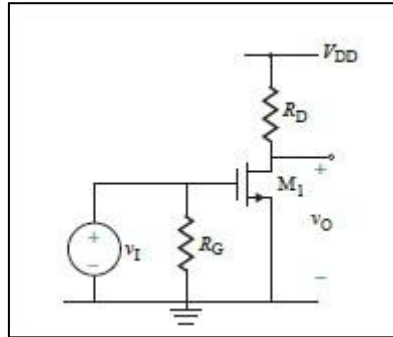
(a) Corriente de conmutación práctica, formas de onda de tensión y potencia (b) trayectoria de conmutación.

Un MOSFET puede ser operado como un interruptor controlado por voltaje. La figura 8 (a) muestra la disposición del circuito.

Un interruptor debe tener la característica de un bajo voltaje de estado en la corriente máxima para que el interruptor está sujeto a la mínima pérdida de potencia. Estas condiciones requieren que el transistor sea operado en la región óhmica (o triodo), como se muestra en la figura 8 (b).

Para operar el MOSFET en la región óhmica, el voltaje de la puerta a la fuente debe ser suficiente para mantener la corriente de drenaje. Suponiendo y en la condición límite entre las regiones de triodo y saturación, podemos encontrar el voltaje de salida dado por

$$V_0 = V_{DD} - R_D i_D = V_{DD} - R_D K_n (v_I - V_t)^2 \quad 8$$



**Figura 10.** NMOS con un voltaje de entrada de señal pequeña vgs [3].

Describe la relación entre los voltajes de entrada y salida como se muestra en la Figura 9. Sustituyendo en la ecuación 8, podemos determinar el voltaje de entrada en la condición de contorno:

$$V_{DD} - R_D K_n (v_I - V_t)^2 = v_I - V_t \quad 9$$

Esto se puede resolver para el voltaje de entrada en la condición de contorno según lo dado por:

$$V_{I(B)} = \left( \frac{-1 + \sqrt{4K_n R_D V_{DD}}}{2K_n R_D} + V_t \right) \quad 10$$

$$I_{D(sat)} = \frac{V_{DD} - V_{DS(sat)}}{R_D} \quad 11$$

Establece los límites de la corriente de drenaje  $I_{D(sat)} \leq i_D \leq I_{D(max)}$  y la correspondiente resistencia de drenaje.

$$R_{D(max)} \leq R_D \leq R_{D(min)}$$

12

Circuito de polarización

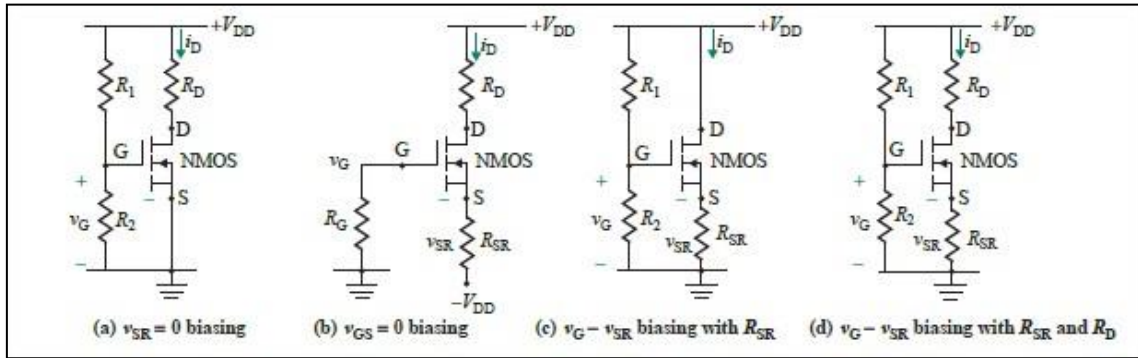


Figura 11. Diferentes arreglos VGS [4].

Tabla 1. Pautas para determinar las resistencias de polarización.

Parámetros de polarización	Figura a)	Figura b)	Figura c)	Figura d)
$V_{DS}$	$\frac{V_{DD}}{2}$	$\frac{V_{DD} + V_{SS}}{3}$	$\frac{V_{DD}}{2}$	$\frac{V_{DD}}{2}$
$V_{SR}$	0	$\frac{V_{DD} + V_{SS}}{3}$	$\frac{V_{DD}}{2}$	$\frac{V_{DD}}{3}$
$I_D$	$\frac{I_{D(max)}}{3}$	$\frac{I_{D(max)}}{3}$	$\frac{I_{D(max)}}{3}$	$\frac{I_{D(max)}}{3}$

$V_{GS}$	$\pm \sqrt{\frac{I_D}{K_n}} + V_t$	$\pm \sqrt{\frac{I_D}{K_n}} + V_t$	$\pm \sqrt{\frac{I_D}{K_n}} + V_t$	$\pm \sqrt{\frac{I_D}{K_n}} + V_t$
$V_G$	$V_{GS}$	$V_{SR} + V_{GS}$	$V_{SR} + V_{GS}$	$V_{SR} + V_{GS}$
$R_D$	$\frac{V_{DD}}{2I_D}$	$\frac{V_{DD} + V_{SS}}{3I_D}$	0	$\frac{V_{DD}}{3I_C}$
$R_{SR}$	0	$\frac{V_{SS} + V_{GS}}{3I_D}$	$\frac{V_{DD}}{2I_D}$	$\frac{V_{DD}}{3I_D}$
$\frac{R_1}{R_2}$	-	-	-	$\frac{V_{DD}}{V_G} - 1$

## 2.2. Control de frecuencia

La frecuencia es uno de los parámetros más importantes en la evaluación de un sistema de energía características operacionales. Al ser compartido por todos los puntos en la red eléctrica, requiere un control centralizado o en los niveles del sistema eléctrico de la zona. El control de frecuencia y el mantenimiento dentro de los límites permitidos requiere la existencia en el nivel del operador del sistema de reservas de energía importantes que se pueden llamar automáticamente Asegurar en todo momento un equilibrio del valor de frecuencia de consigna del consumo de energía y generación. Una red de información amplia y confiable que proporciona el sistema.

El operador con los datos necesarios es un requisito previo para el control de la frecuencia del sistema en tiempo real.

Las fallas en el sistema de energía interconectado son eventos que se sienten a lo largo del sistema, mientras regresa al punto de operación estable, y surge tanto de la automatización respuesta de los generadores en el área afectada y a través de las contribuciones de los vecinos Zonas a través de líneas de interconexión. A tal efecto, los operadores del sistema de los diversos

Los sistemas de zona utilizan procedimientos de ayuda especiales para lograr la recuperación del funcionamiento normal. Estado Control efectivo de la generación y consumo en cada zona del sistema mediante

El operador del sistema, y también buena colaboración con los operadores del sistema en vecinos sistemas de zona, garantiza que la frecuencia se pueda mantener dentro de todo el sistema en el valor de punto de ajuste.

Uno de los índices más importantes en la operación de sistemas de voltaje alterno es el Frecuencia de tensión de alimentación, definida como la frecuencia de repetición de la tensión fundamental curva, medida en un intervalo de tiempo específico.

En cada sistema de potencia, el momento operacional del valor de frecuencia depende de la medida en que la demanda es satisfecha por las fuentes de energía.

El uso de transformadores es ventajoso a alta frecuencia. Actualmente, la industria utiliza transformadores a gran escala que funcionan a frecuencias de 30–50 kHz (transformadores de soldadura, transformadores de iluminación, etc.). Altas frecuencias que, debido al efecto piel, aumentan linealmente con La frecuencia de reactancia inductiva y también aumentan las corrientes de desplazamiento dieléctrico a través de condensadores conectados en paralelo, no se recomiendan para la transmisión de energía que proporciona parámetros económicos, en las frecuencias lo más bajas posible.

El creciente desarrollo de la electrónica de potencia en la actualidad permite el uso de Convertidores de frecuencia en procesos industriales, que proporciona una frecuencia óptima para varios procesos el requisito de interconexión del sistema eléctrico determina la estandarización de frecuencia, Monitoreando la frecuencia de la red pública y su conservación dentro de los límites requeridos.

es el deber del operador del sistema, que se supone que tiene a su disposición suficiente Reservas de potencia activa y control de frecuencia de potencia adecuado para mantener la frecuencia.

Desviaciones dentro de los límites permitidos.

### **2.2.2. Índices de calidad de frecuencia**

Para caracterizar la frecuencia del sistema de potencia, en condiciones normales del funcionamiento se utilizan los siguientes índices:

- $\Delta f$ , la desviación de frecuencia que permite evaluar variaciones de frecuencia lentas:



$$\Delta f = f - f_r \quad 13$$

Donde  $f_r$  es la frecuencia nominal (50 Hz o 60 Hz) y  $f$  es la frecuencia real (Hz);

- Desviación de frecuencia relativa,  $\varepsilon_f(\%)$ .

$$\varepsilon_f(\%) = \frac{f - f_r}{f_r} \quad 14$$

- Las desviaciones integrales durante el día, requeridas para asegurar el correcto funcionamiento de los relojes sincronizado a la frecuencia de la red eléctrica:

$$I_f = \int_0^{24} \Delta f \cdot dt \quad 15$$

### 2.2.3. Características carga-frecuencia

La interconexión del sistema de energía y los pasos tomados para mantener la frecuencia dentro de los límites requeridos hacen que las desviaciones de los valores normalizados sean fenómenos muy raros. De esta manera, un análisis de la influencia de las variaciones de frecuencia en los clientes finales es solamente realizado para un intervalo reducido de aproximadamente  $\pm 3\text{Hz}$  del valor nominal y durante períodos bastante cortos.

Dentro de este campo de variación reducida, un número considerable de clientes estáticos (aproximadamente 40% del consumo total) no se ven afectadas por las variaciones de

frecuencia (instalaciones de rectificador, Hornos de resistencia, hornos de arco eléctrico, etc.).

Al configurar los pasos de control de frecuencia, y al carecer de información adicional, generalmente se considera que el autocontrol de la carga es del 1% por Hz; es decir, la carga disminuye en un 1% si la frecuencia disminuye en 1 Hz.

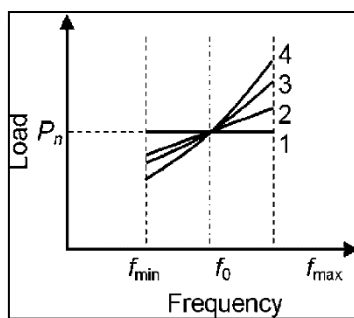
El límite de seguridad estático es la diferencia de 20 MHz, idéntica a la del control primario acción.

#### **2.2.4. Influencia de la variación de frecuencia en los motores de accionamiento.**

Los motores de accionamiento asíncrono y síncrono, conectados directamente a la red de suministro, y utilizado extensivamente en la actuación industrial, tiene una característica de frecuencia de potencia  $P = T \cdot \Omega$  Dependiendo de la característica mecánica de la carga involucrada,  $T = f(\Omega)$  donde T es el par de acoplamiento al eje del motor y es la velocidad de rotación del motor. La figura 12 muestra

Las curvas de variación de la potencia según la frecuencia para diversos tipos de clientes. La curva 1 corresponde a los receptores que en el campo de frecuencia analizada tienen un consumo independiente de la frecuencia. La curva 2 corresponde a los tipos de instalaciones de elevación, la mía. Ascensores, transportadores de remolacha, etc., que con una carga uniforme tienen prácticamente una velocidad independiente Acoplamiento y por lo tanto el consumo de energía es proporcional a la frecuencia. La curva 3 es Característica de las cargas viscosas (calendarios para la fabricación de papel, procesamiento en masa de plástico). Máquinas, máquinas de la industria textil, etc.). La curva 4 corresponde a un gran número de receptores. Con una característica mecánica parabólica (bombas de ventilación) y, por tanto, una característica cúbica. potencia-frecuencia [5].

La velocidad de los motores asíncronos o síncronos conectados directamente a los eléctricos. La red de alimentación eléctrica varía en proporción a la frecuencia de tensión aplicada. La frecuencia La variación conduce a la correspondiente modificación de la productividad del proceso en todo el Suministro con una frecuencia reducida.

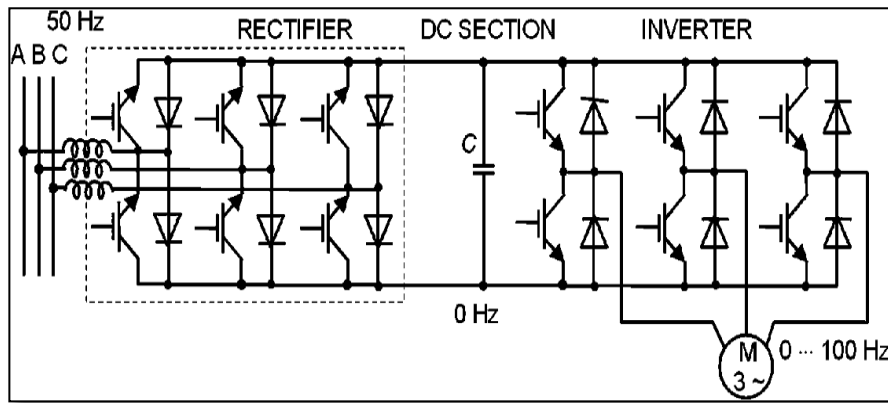


**Figura 12.** Consumo de energía de varios tipos de receptores vs variación de frecuencia [6].

### 2.2.5. Influencia de la frecuencia en el equipo de los usuarios

La frecuencia de la tensión de alimentación en la red eléctrica pública, en las condiciones actuales en Europa, tiene variaciones muy bajas en la operación regular. Bajo condiciones de emergencia, sin embargo, Surgen condiciones transitorias en las que las variaciones de frecuencia varían dentro de los límites de la llamada curva de trompeta.

Los cálculos prácticos pueden considerar la frecuencia de voltaje de suministro de la red eléctrica a Ser constante e igual a 50 Hz. Una red eléctrica industrial utiliza principalmente sistemas de conducción con motores asíncronos. Se suministra a través de convertidores de frecuencia que permiten el control de la rotación del motor asíncrono. Velocidad dentro de grandes límites en casos prácticos desde cero hasta el doble de la velocidad de rotación obtenida. Con alimentación de 50 Hz como muestra la figura 13.



**Figura 13.** Alimentación de frecuencia variable de motor asíncrono [7].

### 2.2.6. Efectos de frecuencia

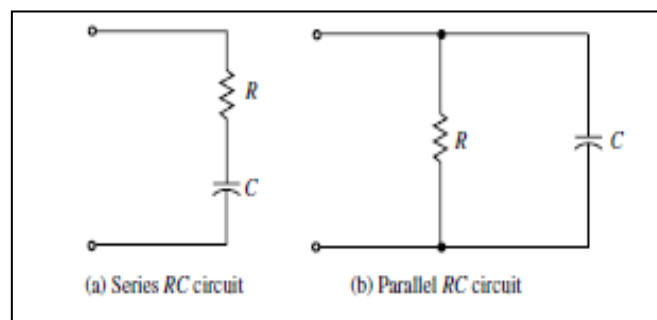
Un circuito o filtro selectivo de frecuencia es un circuito destinado para proporcionar una salida que varía con la frecuencia en una Manera deseada. Los circuitos selectivos de frecuencia son una Importante clase de circuitos eléctricos que son extensivamente. Usado en comunicaciones, control y procesamiento de señales. En ciertos sistemas la respuesta de frecuencia es básica para diseñar circuitos de frecuencia selectiva, que se comporten de la manera deseada. El estudio de la respuesta en frecuencia es importante para otra razón los elementos de almacenamiento de energía están presentes en todos menos en los sistemas físicos más simples, ya sean eléctricos. o de naturaleza no eléctrica. Estos elementos de almacenamiento de energía hacen que la frecuencia de respuesta dependa en particular. La respuesta de prácticamente todos los sistemas físicos es reducida en altas frecuencias debido a la inherente física de procesos que pueden ser representados por capacitancia serie en el circuito eléctrico equivalente. Las respuestas de algunos sistemas pueden mostrar picos pronunciados o de resonancia, en particular las frecuencias, que pueden tener un gran impacto en el sistema. La respuesta en frecuencia es por lo tanto relevante. Respuestas de circuitos de primer orden y de segundo orden, con énfasis en la comprensión de los conceptos fundamentales y Interpretaciones físicas detrás de estas respuestas. El capítulo comienza con algunas suposiciones básicas en el análisis de filtro, Luego se presentan las respuestas de los filtros ideales. Primer orden Luego se discuten los filtros y se introducen los gráficos de Bode. Como una herramienta muy útil para describir la frecuencia. respuesta. Los cuatro tipos de respuestas de segundo orden son todos Analizado en detalle en términos de una serie de circuitos RLC. Dualidad

Se invoca en derivar las respuestas a paralelo de primer orden. y circuitos de segundo orden. El capítulo termina examinando. Algunas características generales de las respuestas de frecuencia.

La reactancia de los inductores y condensadores depende en la frecuencia En consecuencia, la impedancia total de cualquier red que tenga los elementos reactivos también depende de la frecuencia. Cualquier circuito de este tipo necesitaría ser analizado por separado en cada frecuencia de interés.

Existen combinaciones bastante simples de resistencias, condensadores e inductores para ver cómo los diversos circuitos operan a diferentes frecuencias.

Como su nombre lo indica, los circuitos de RC consisten en una resistencia y un condensador. Los componentes de un circuito RC pueden estar conectados en serie o en paralelo como se muestra en la Figura 11.



**Figura 14.** Circuitos Equivalentes RC en serie a) y en paralelo b) [8].

Considere el circuito de la serie RC de la figura 11 a)

Recuerde que la reactancia capacitiva,  $X_C$ , se da como

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad 16$$

La impedancia total del circuito es una cantidad vectorial expresada como

$$Z_t = R - j \frac{1}{\omega C} = R + \frac{1}{j\omega C} \quad 17$$

$$Z_t = \frac{1 + j\omega RC}{j\omega C} \quad 18$$

### 2.2.7. Multiplicación de frecuencia

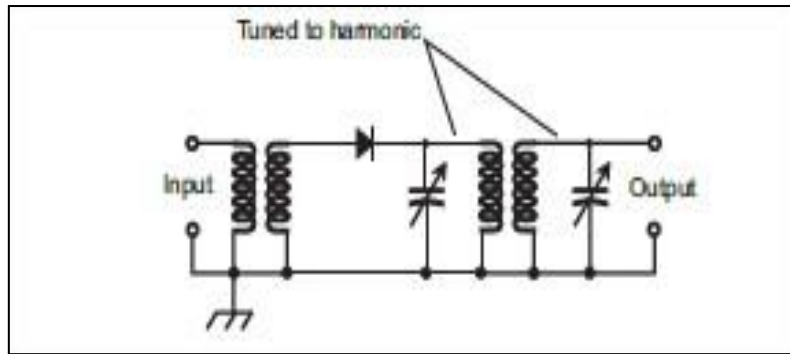
Cuando AC pasa a través de un diodo, la mitad del ciclo se corta. Este efecto se produce independientemente de la frecuencia de la señal aplicada siempre que la capacitancia del diodo permanezca pequeña, y mientras la tensión inversa permanezca por debajo del umbral de avalancha.

La onda de salida del diodo se ve muy diferente a la onda de entrada.

Los ingenieros llaman a esta condición no linealidad. Cada vez que un circuito exhibe no linealidad,

Aparecen armónicos en la salida. Los armónicos son señales en múltiplos enteros de la frecuencia de entrada, conocida como la frecuencia fundamental.

Para evitar que aparezcan armónicos o distorsiones en un circuito, querrá hacer Es lineal para que la forma de onda de salida tenga la misma forma que la forma de onda de entrada. (incluso si las señales no son igualmente fuertes). Pero a veces querrás un circuito para actuar de manera no lineal, como cuando se pretende generar armónicos. Puedes usar diodos para introducir deliberadamente la no linealidad en un circuito para obtener la frecuencia multiplicación. La Figura 6-4 ilustra un simple multiplicador de frecuencia que usa un RF



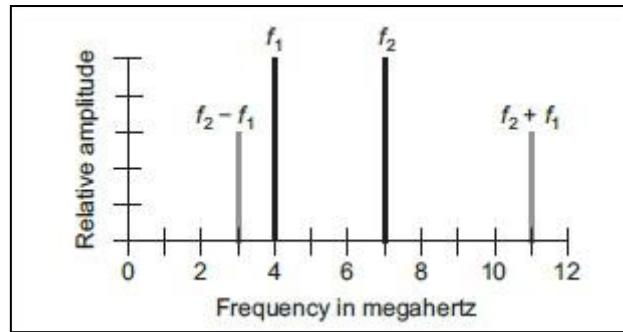
**Figura 15.** Un circuito multiplicador de frecuencia que utiliza un diodo de RF [9].

Diodo para generar armónicos. Debe sintonizar la salida del circuito LC deseado frecuencia armónica

### 2.2.8. Mezcla de señal

Cuando combina o mezcla dos ondas de diferentes frecuencias en un circuito no lineal, obtienes nuevas ondas en frecuencias iguales a la suma y diferencia de las frecuencias de las entradas. Uno o más diodos pueden proporcionar la no linealidad que necesita Haz que pase. Imagina dos señales de RF con frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ . Asigna  $f_2$  a la ola con el Frecuencia más alta, y  $f_1$  a la onda con la frecuencia más baja. Si se combina las dos señales en un circuito no lineal llamado mezclador, obtienes dos señales nuevas. Uno de ellos tienen una frecuencia de  $f_2 + f_1$ , y el otro tiene una frecuencia de  $f_2 - f_1$ . Ingenieros las señales que se mezclan como en la Figura 13, muestra señales hipotéticas de entrada y salida para un mezclador en una visualización del dominio de la frecuencia además Aparecen las señales como "pips" verticales en las frecuencias de suma y diferencia (en este caso  $7 - 4 = 3$  MHz) y  $7 + 4 = 11$  MHz). La amplitud (en la escala vertical) es una función de la frecuencia (en la escala horizontal). Cuando se analiza la gráfica de la pantalla de un instrumento de laboratorio, conocida como analizador de espectro, un ordinario El osciloscopio muestra la amplitud (en la escala vertical o el eje) en función del tiempo. (En la escala horizontal o eje), por lo que muestra una pantalla de dominio de tiempo.

Para que un diodo funcione como un multiplicador de frecuencia o un mezclador para señales de RF, debe ser del tipo que también funcionará como detector a la misma frecuencia. Debería actuar como un rectificador, pero no como un condensador.



**Figura 16.** Ilustración espectral de la mezcla de señales, que muestra la amplitud en función del tiempo [10].

### 2.2.9. Control de frecuencia

Cuando invierte la polarización de un diodo, crea una región de agotamiento en la unión P-N con propiedades dieléctricas (aislantes) y la casi ausencia de portadores de carga. El ancho de la región de agotamiento depende de la tensión de polarización inversa.

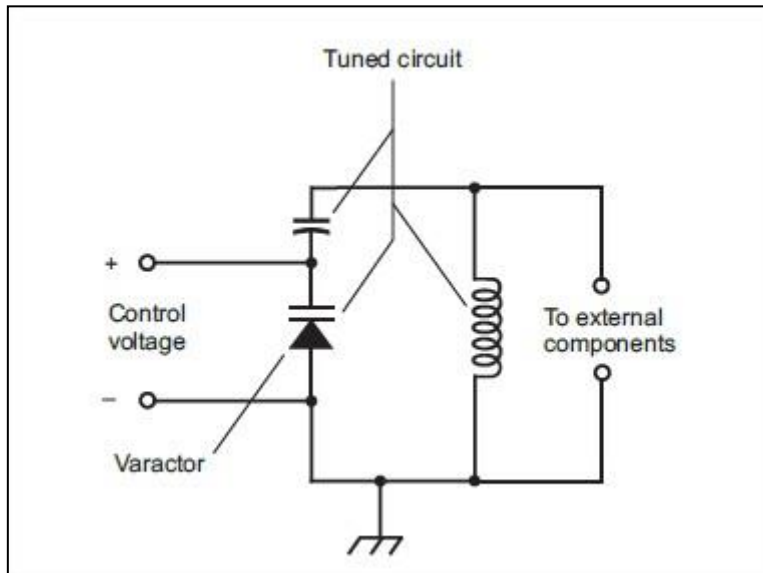
Mientras la polarización inversa permanezca más baja que el voltaje de avalancha, varía El sesgo afecta el ancho de la región de agotamiento. El ancho fluctuante, a su vez, Varía la capacitancia de unión. Esta capacitancia, normalmente algunas picofaradios, varía inversamente con la raíz cuadrada de la tensión de polarización inversa, de nuevo, siempre que la polarización inversa sigue siendo menor que el voltaje de avalancha. Por ejemplo, si se cuadruplica la tensión de polarización inversa, la capacitancia de unión se reduce a la mitad; si disminuyes el Voltaje de polarización inversa por un factor de 9, entonces la capacitancia de la unión aumenta en un factor de 3.

Algunos diodos se fabrican específicamente para funcionar como condensadores variables.

Tales dispositivos son conocidos como diodos varactor. Varactores encuentran generalmente en un tipo especial de circuito llamado un oscilador controlado por voltaje (VCO). La figura 6-10 muestra un ejemplo de un circuito LC sintonizado en paralelo en un VCO que usa una bobina, un condensador fijo y un varactor. Los Condensador fijo (cuyo valor debe exceder en gran medida la capacitancia del varactor) evita que la bobina cortocircuite la tensión de control a través del varactor.



El símbolo esquemático para un diodo varactor tiene dos líneas en el lado del cátodo, como a diferencia de una línea en el símbolo de un diodo convencional. Puedes identificarlo ;de esa manera!



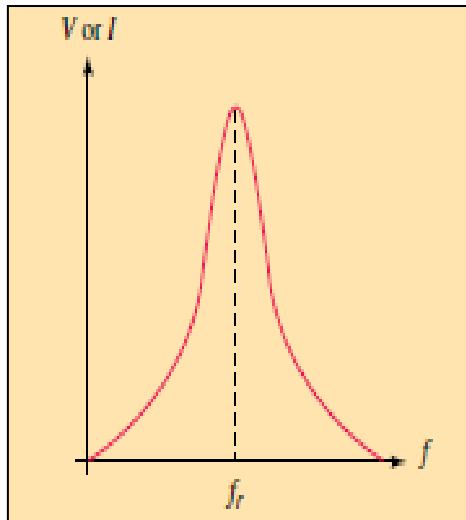
**Figura 17.** Conexión de un diodo varactor en un circuito sintonizado [11].

### 2.3. Circuitos Resonantes.

Los circuitos resonantes pueden pasar un rango deseado de frecuencias desde una fuente de señal a una carga. En su forma más simple, el circuito resonante consiste de un inductor y un condensador junto con una fuente de voltaje o corriente.

Aunque el circuito es simple, es uno de los circuitos más importantes utilizados en electrónica. Como ejemplo, el circuito resonante, en una de sus muchas formas, permite nosotros para seleccionar una señal de radio o televisión deseada de la gran cantidad de señales que están a nuestro alrededor en cualquier momento.

Mientras que hay varias configuraciones de circuitos resonantes, todos tienen varias características comunes. Los circuitos electrónicos resonantes contienen al menos uno inductor y un condensador y tienen una curva de respuesta en forma de campana centrada en cierta frecuencia resonante,  $f_r$ , como se ilustra en la figura 16.



**Figura 18.** Grafico V vs f [12].

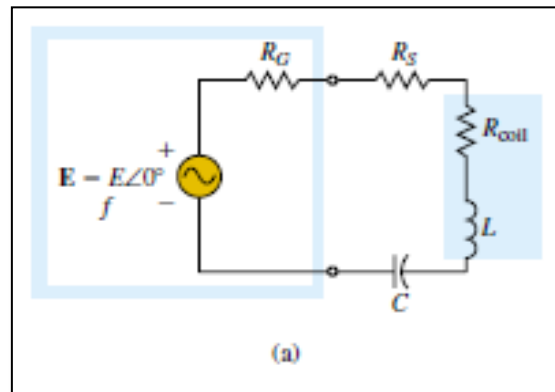
La curva de respuesta de la Figura 21-1 indica que la corriente o el voltaje serán a un máximo en la frecuencia de resonancia,  $f_r$ . Variar la frecuencia en cualquiera la dirección da como resultado una reducción de la tensión o corriente.

Si tuviéramos que aplicar señales sinusoidales de frecuencia variable a un circuito que consiste en de un inductor y condensador, encontraríamos que la energía máxima transferencia de ida y vuelta entre los dos elementos a la frecuencia de resonancia. En un circuito LC ideal (uno que no contiene resistencia), estas oscilaciones continuarían no disminuido incluso si la fuente de señal se apagó. Sin embargo, en la práctica situación, todos los circuitos tienen cierta resistencia. Como resultado, la energía almacenada debe ser eventualmente disipada por la resistencia, lo que resulta en oscilaciones amortiguadas. En una manera similar a empujar a un niño en un columpio, las oscilaciones continuarán indefinidamente si se aplica una pequeña cantidad de energía al circuito exactamente en el momento justo. Este fenómeno ilustra la base de cómo los circuitos del oscilador operar y por lo tanto nos proporciona otra aplicación del circuito resonante

### 2.3.2. Resonancia de la serie

Un circuito resonante serie simple se construye mediante la combinación de una fuente de CA. Con un inductor, un condensador y, opcionalmente, una resistencia como se muestra en la figura 17. Al combinar la resistencia del generador,  $R_G$ , con la resistencia

en serie,  $R_S$ , y la resistencia de la bobina del inductor, el circuito puede ser simplificado como se ilustra en la figura 17.



**Figura 19.** Circuito Equivalente resonante serie [13].

Las principales técnicas de análisis eléctrico para señales variables en el tiempo. Comenzando discutiendo las señales y circuitos de corriente alterna sinusoidal (CA). Fases el análisis se presenta y muestra que esto simplifica enormemente este análisis que permite la introducción de la impedancia generalizada. La impedancia generalizada nos permite analizar circuitos de CA utilizando todas las técnicas y métodos de circuitos de CC discutidos previamente. En la sección 9.3, ampliamos la técnica de análisis fasorial para analizar circuitos impulsado por señales no senoidales. Esto se hace discutiendo primero la serie de Fourier, que presenta señales periódicas como una suma de fasores. La serie de Fourier es una herramienta muy importante que forma la base de conceptos fundamentales en el procesamiento de señales como espectros y ancho de banda. Finalmente, presentamos la transformación de Fourier, que permite el análisis de cualquier cantidad variable en el tiempo (periódica y aperiódica) en el dominio de la frecuencia.

### 2.3.3. Control de bajo nivel del inversor de fuente de voltaje pwm de modulación.

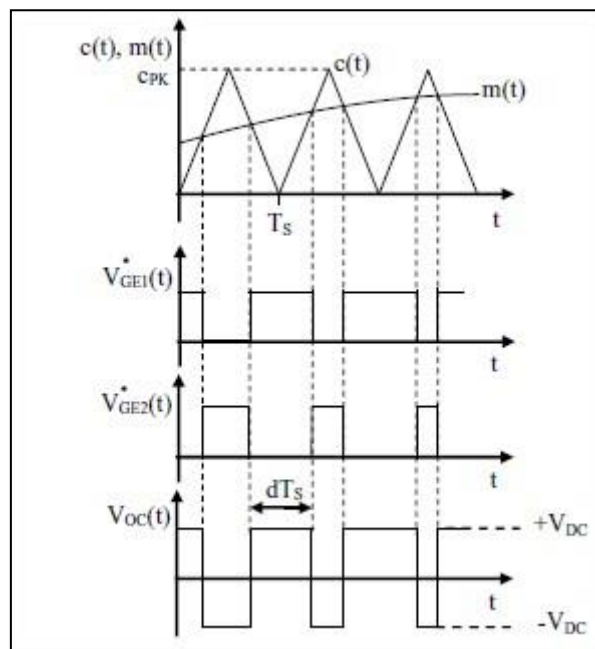
La definición de una ley de modulación adecuada representa el primer paso en cualquier control de convertidor diseño. Se han desarrollado varias técnicas de modulación para las fuentes de alimentación en modo de conmutación:

El más exitoso, para el caso VSI, es sin duda la modulación de ancho de pulso (PWM).

En comparación con otros enfoques, como la modulación de densidad de pulso o la modulación de frecuencia de pulso.

El PWM ofrece importantes ventajas, por ejemplo, en términos de facilidad de implementación, constante

Operación del convertidor de frecuencia, demodulación inmediata mediante filtros simples de paso bajo. La implementación analógica de PWM también es conocida como PWM de muestra natural, es de hecho extremadamente fácil, requiriendo en principio solo la generación de una forma de onda de diente de sierra o triangular y el uso de un comparador analógico. Un simple circuito PWM se muestra en Figura 18.



**Figura 20.** Estado lógico de cada interruptor y el voltaje resultante del inversor [14].

Implementación analógica de un modulador PWM. El comparador analógico determina el Estado de los interruptores comparando la señal portadora  $c(t)$  y la señal moduladora  $m(t)$ .

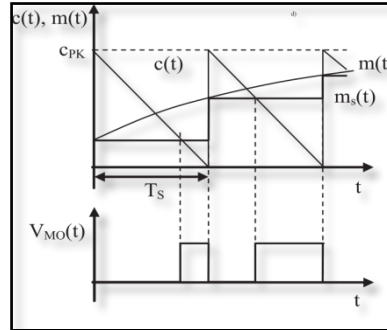
El principio de funcionamiento es sencillo: el contador se incrementa en cada pulso, cada vez que el valor del contador binario sea igual al ciclo de trabajo programado (condición de coincidencia), el comparador binario dispara una interrupción al microprocesador y, al mismo tiempo, establece la señal de puerta baja. La señal de la puerta se establece alta al comienzo de cada conteo (es decir, modulación) Período, donde otra interrupción se genera normalmente para fines de sincronización. El contador y el comparador tienen un número dado de bits,  $n$ , que a menudo es 16, pero puede ser tan bajo como 8, en caso de que se utilice un micro controlador muy simple. En realidad, dependiendo de la relación entre las duraciones del período de modulación y el período de reloj contador, un número menor de bits,  $N_e$ , podría estar disponible para representar el ciclo de trabajo. El parámetro  $N_e$  también es importante para determinar El paso de cuantización del ciclo de trabajo, que puede tener un impacto significativo en la generación de límites. Ciclos, como explicaremos en los siguientes capítulos. Por ahora basta con decir que con este tipo de modulador, el número  $N_e$  de bits necesarios para representar el ciclo de trabajo viene dado por la siguiente relación:

$$N_e = \text{floor} \left[ \frac{\log_{10} \left( \frac{f_{clock}}{f_s} \right)}{\log_{10}^2} \right] + 1, \quad 19$$

Donde  $f_{clock}$  es la frecuencia de reloj del modulador,  $f_s = 1 / TS$  es la frecuencia de modulación deseada, y la función de piso calcula la parte entera de su argumento. Valores máximos típicos para  $f_{clock}$  está en el rango de pocas decenas de MHz, mientras que las frecuencias de modulación pueden ser tan altas como algunas cientos de kHz. Por lo tanto, cuando el período de modulación deseado es corto, el número de bits,  $N_e$ , dado por (2.4) será mucho más bajo que el número de bits,  $n$ , disponible en el comparador y Contadores de circuitos, a menos que sea posible una frecuencia de reloj muy alta.

Dependiendo de  $c(t)$ , varios moduladores diferentes de ancho de pulso muestreados uniformemente pueden ser adquiridos. Por ejemplo, en la Fig. 2.6 (b) se representa una modulación de borde posterior, donde la actualización de La señal de modulación se

realiza al comienzo del período de modulación. Tenga en cuenta que esto es una representación exactamente equivalente de la organización moduladora de la figura 2.5. En una pequeña señal aproximación, es posible encontrar que la función de transferencia entre la señal de modulación  $m(t)$  y la salida del comparador  $V_{MO}(t)$  está dada por [7].



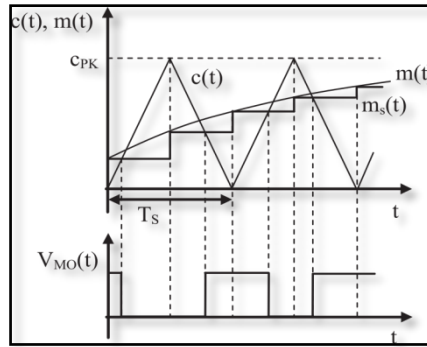
**Figura 21.** Modulación de vanguardia [14].

$$PWM_{(s)} = \frac{V_{MO(s)}}{M_{(s)}} = \frac{e^{-sDTs}}{c_{PK}} \quad 20$$

Donde  $V_{MO}(s)$  y  $M(s)$  representan las transformadas de Laplace de  $V_{MO}(t)$  y  $m(t)$ , respectivamente. Por lo tanto, el modulador muestreado uniformemente presenta un retardo cuyo valor es proporcional al ciclo de trabajo de estado estacionario  $D$ .

En términos más generales, el retraso introducido por el modulador PWM representa el tiempo distancia entre la señal de modulación  $m(t)$  del instante de muestreo y el instante en que la salida el impulso está completamente determinado (es decir, cuando  $m_s(t)$  se interseca con  $c(t)$  en la Figura 18. El resultado también se ha extendido a otros tipos de organizaciones moduladoras borde de salida, triangular, etc.) [8]. Por ejemplo, para la modulación de vanguardia representada en la Figura 18 (c),

La función de transferencia del modulador de pequeña señal resulta ser:



**Figura 22.** Modulación Triangular [14].

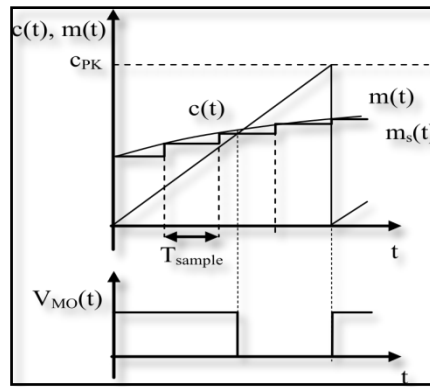
$$PWM_{(s)} = \frac{V_{MO(s)}}{M_{(s)}} = \frac{e^{-s(1-D)Ts}}{c_{PK}} \quad 21$$

Mientras que, para la modulación de portadora triangular, donde el muestreo de la señal de modulación es hecho en el medio del período de encendido Figura 19 (d), es

$$PWM_{(s)} = \frac{V_{MO(s)}}{M_{(s)}} = \frac{1}{2c_{pk}} \left( e^{-s(1-D)\frac{Ts}{2}} + e^{-s(1+D)\frac{Ts}{2}} \right) \quad 22$$

Finalmente, el caso del modulador portador triangular, donde el muestreo de la modulación la señal se realiza en la mitad del período de apagado, se puede derivar simplemente de la ecuación (19) sustituyendo D con D', siendo D' = 1 - D

Para compensar parcialmente el mayor retraso del PWM muestreado uniformemente, el modo de actualización de operación a menudo está disponible en varios micro controladores y DSP. En este modo, la actualización del ciclo de trabajo se permite al principio y en la mitad del período de modulación. En consecuencia, en cada período de modulación, la condición de coincidencia entre contador y ciclo de trabajo los registros se verifican dos veces, al principio durante la fase de preparación y luego durante la fase de reducción.



**Figura 23.** PWM de muestras múltiples [14].

Para evaluar el retardo de fase del modulador, consideremos el sistema que se muestra en la figura 20, la señal de modulación se muestrea  $N$  veces durante el período de conmutación, de modo que el muestreo el tiempo es ahora  $T_{sample} = T_S / N$ ; Además, para aprovechar al máximo las ventajas del muestreo múltiple.

En la técnica, el algoritmo de control actualiza la señal de control  $m(t)$  en cada muestreo. En el caso de múltiples muestras, el PWM se modela con un sistema equivalente similar a la que se muestra en la Figura 18, con la única diferencia de que la señal de entrada  $m_s(t)$  ahora es una secuencia de pulsos de amplitud variable, actualizados con frecuencia  $f_{sample} = N \cdot f_S$ . En consecuencia, la bodega el tiempo de la ZOH es ahora  $T_{espera} = T_{muestra} = T_S / N$ . Se puede demostrar que la baja frecuencia, El comportamiento de pequeña señal del PWM digital multiamplado es nuevamente el de un retardo puro

$$PWM_{(s)} = \frac{1}{c_{pk}} (e^{-std}) \quad 23$$

Pero el tiempo de retardo equivalente ahora está dado por

$$t_d = DT_S - \frac{\text{floor}(ND)}{N} T_S \quad 24$$



Donde (ND) denota el mayor entero que no excede  $N \cdot D$ . Ecuaciones (20) y (21)

#### **2.3.4. Respuesta en frecuencia**

El circuito o filtro selectivo de frecuencia es un circuito destinado a proporcionar una salida que varía con la frecuencia de una manera deseada. Los circuitos de selección de frecuencia son una clase importante de circuitos eléctricos que se utilizan ampliamente en los sistemas de comunicaciones, control y procesamiento de señales. Comprender la respuesta de frecuencia de tales circuitos es básico para diseñar circuitos de frecuencia selectiva que se comporten de la manera deseada. El estudio de la respuesta en frecuencia es importante por otra razón. Los elementos de almacenamiento de energía están presentes en todos, excepto en los sistemas físicos más simples, ya sean de naturaleza eléctrica o no eléctrica. Estos elementos de almacenamiento de energía hacen que la frecuencia de respuesta sea dependiente. En particular, la respuesta de prácticamente todos los sistemas físicos se reduce a altas frecuencias debido a los procesos físicos inherentes que pueden representarse por capacitancia de derivación en el circuito eléctrico equivalente. Las respuestas de algunos sistemas muestran picos pronunciados, o resonancia, en frecuencias particulares, que pueden tener un gran impacto en el rendimiento del sistema. Por lo tanto, la respuesta de frecuencia es relevante para comprender el comportamiento de los sistemas físicos y para tomar medidas para mejorar su desempeño.

Este capítulo se ocupa de las respuestas de frecuencia básicas de los circuitos de primer orden y de segundo orden, con énfasis en la comprensión de los conceptos fundamentales y las interpretaciones físicas detrás de estas respuestas. El capítulo comienza con algunas suposiciones básicas en el análisis de filtros, seguido de la presentación de las respuestas de los filtros ideales. Luego se discuten los filtros de primer orden y se presentan los gráficos de Bode como una herramienta muy útil para describir la respuesta de frecuencia. Los cuatro tipos de respuestas de segundo orden se analizan en detalle en términos de un circuito RLC en serie. La dualidad se invoca al derivar las respuestas a circuitos paralelos de primer orden y de segundo orden. El capítulo termina examinando

Las relaciones  $v - I$  correspondientes de los condensadores e inductores en el dominio del tiempo y en notación fasórica son las siguientes:

Para el capacitor

$$v(t) = \frac{1}{C} \int i dt \quad 25$$

Y

$$V = \frac{1}{j\omega C} I \quad 26$$

Para e inductor

$$v(t) = L \frac{di}{dt} \quad 27$$

Y

$$V = j\omega LI \quad 28$$

En la notación fasorial, la diferenciación en el tiempo se expresa como multiplicación por  $j\omega$ , y la integración en el tiempo se expresa como división por  $j\omega$ . Por lo tanto, las relaciones diferenciales e integrales se transforman en relaciones algebraicas en  $j\omega$  solo para el análisis sinusoidal de estado estable.

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Edificación del Módulo de comprobaciones para Circuitos Eléctricos

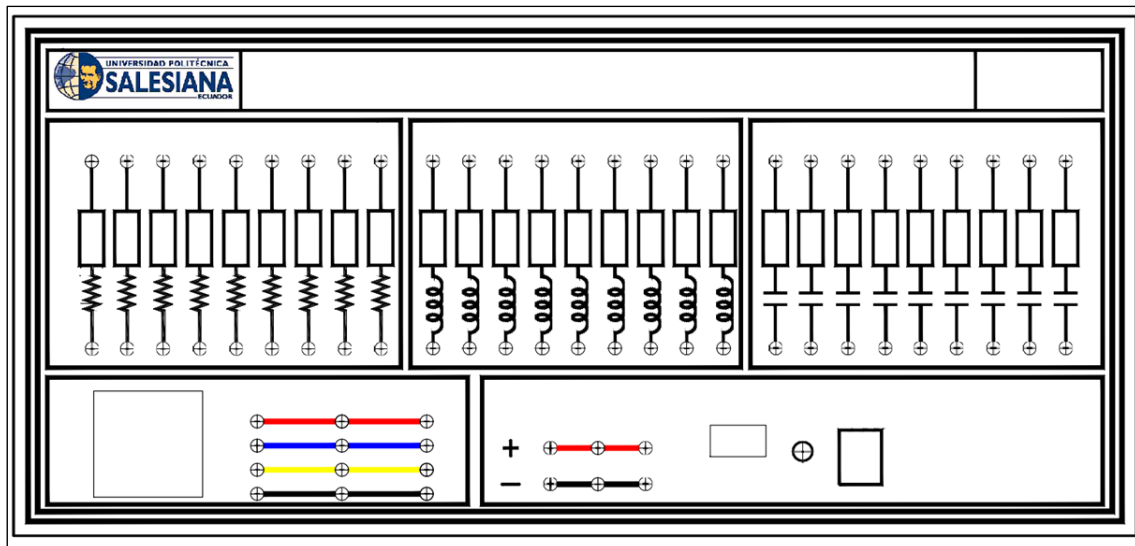
Para la edificación del módulo, proyecto un plan, para esto se considera un modelo en la plataforma de AUTOCAD para los diseños eléctricos y también para la sección mecánica y tener la lista de los materiales.

Se muestra para facilidad del lector dos partes del boceto:

- Boceto mecánico
- Boceto Eléctrico

Boceto mecánico

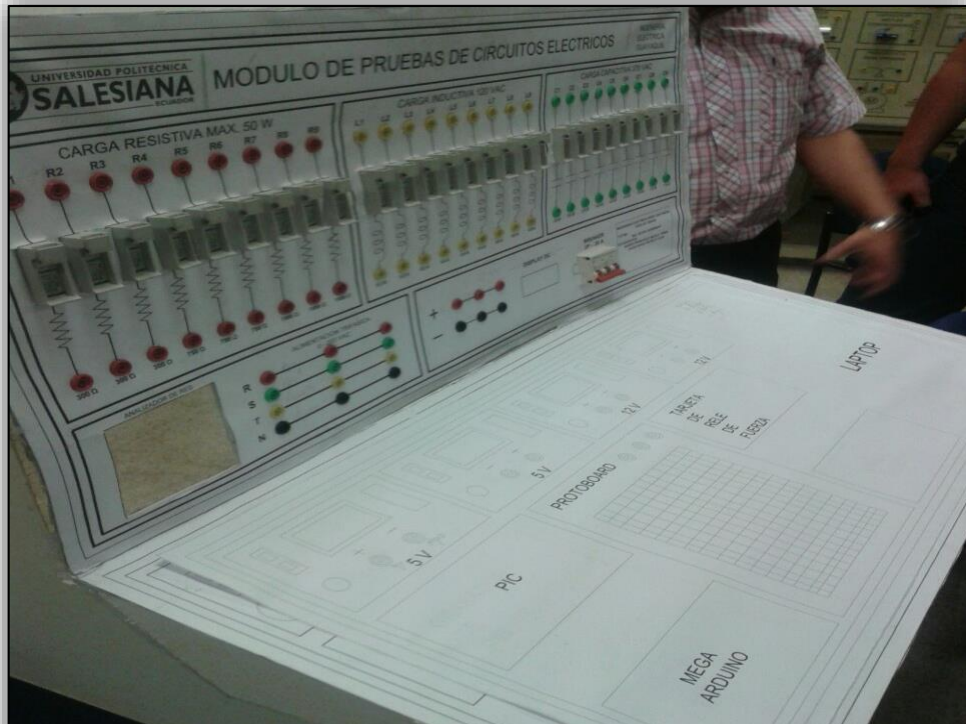
Se realiza los bocetos topológicos del módulo de circuitos eléctricos



**Figura 24.** Esquema para el calado y trazos del vinilo para el módulo.

**FUENTE:** LOS AUTORES

Cuenta con diferentes dispositivos, pero para el diseño del vinilo protector de la figura 24, sirve para la protección del polvo y ralladuras



**Figura 25 .** Prototipo del módulo con sus componentes adecuados

**FUENTE: LOS AUTORES**

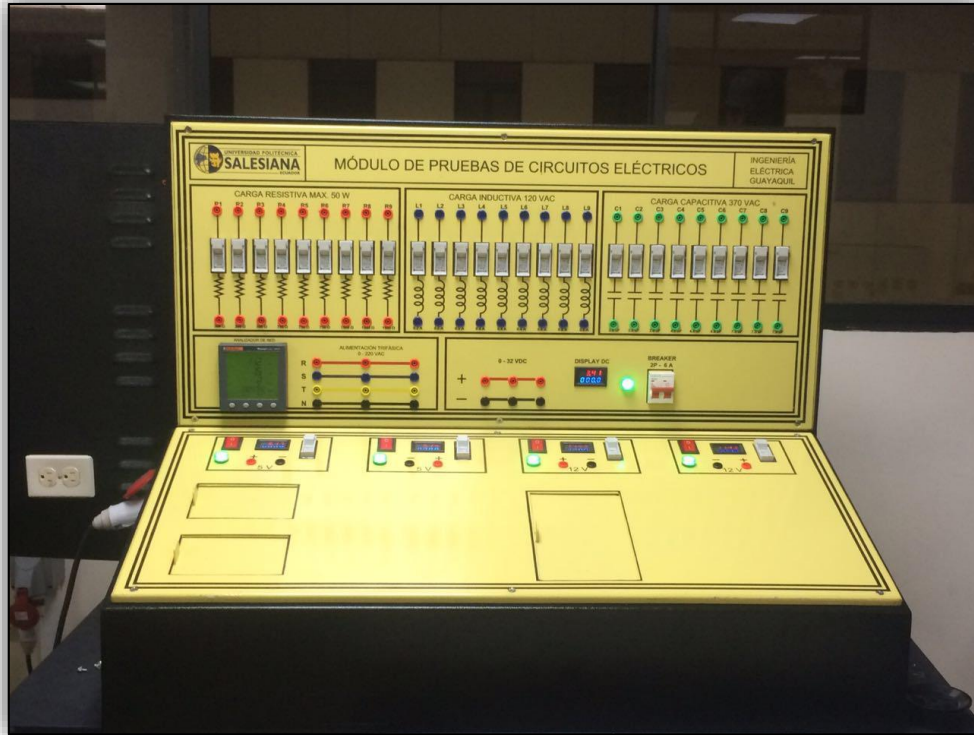
Consta en los elementos para el sustento del módulo y aspecto del mismo para esto se realizó un prototipo como se muestra en la figura 25. Como primer paso se trabaja en el armazón en plancha de 2mm con sus conexiones para un mejor remate, además se debe realizar el sustento donde se van a colocar los elementos dejando un margen de error para que el elemento no tenga problemas para adherirse como se muestra en la figura 26.



**Figura 26.** Sustento de armazón metálica para módulo de circuito de prácticas

**FUENTE:** LOS AUTORES

Luego para el remate final el tintado que se realizó con aerografía de color negro y pintura sintética amarilla el tiempo de espera fue de 1 día.



**Figura 27.** Puesta en marcha del módulo de circuitos de pruebas eléctricas.

**FUENTE:** LOS AUTORES

Boceto Eléctrico.

Para esta parte se realizó el diseño eléctrico del módulo y su adecuada instalación, conexión de componentes y elementos eléctricos para su puesta en marcha.

En la figura 28 ,29 y 30 se muestran las conexiones y ubicación de los elementos.



**Figura 28.** Recorrido de los cables internos del módulo de prácticas.

**FUENTE:** LOS AUTORES

Se muestra en la figura 28, conexiones y su respectivo aseguramiento, atornillado de distintos terminales de alimentación para su respectiva prueba individual de cada dispositivo.



**Figura 29.** Adecuaciones del cableado del módulo de circuitos.

**FUENTE:** LOS AUTORES

En la figura 29 se realiza la limpieza y ordenamiento de los terminales y la selección de cables para el cableado interno con la finalidad de su respectivo funcionamiento.





**Figura 30.** Verificación del cableado del módulo de circuitos de prácticas.

**FUENTE:** LOS AUTORES

En la figura 30, se conecta cada elemento del módulo de forma secuencial para la estética y el fácil manejo para futuras arreglos o adiciones que se le quieren hacer al modulo

### **3.2. Materiales**

Entre los elementos a usar en las prácticas se encuentran módulos, medidores, elementos de ayuda y displays para la respectiva muestra de valores numéricos reales de la práctica de la tesis entre ellos tenemos:

#### **Transistor MOSFET IRFP150N**

Es un transistor utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas. Además controla el paso de la corriente si se configura con valores de voltaje adecuados



**Figura 31.** Transistor

FUENTE: LOS AUTORES

### Capacitores 330nf

Ayudan a evaluar, establecer valores de corriente, de voltaje en corriente directa ya que cuenta con resistencias, capacitores e inductores además poseen displays que permiten tener resultados numéricos.



**Figura 32.** Capacitor 3.3uf

FUENTE: LOS AUTORES

### Inductores

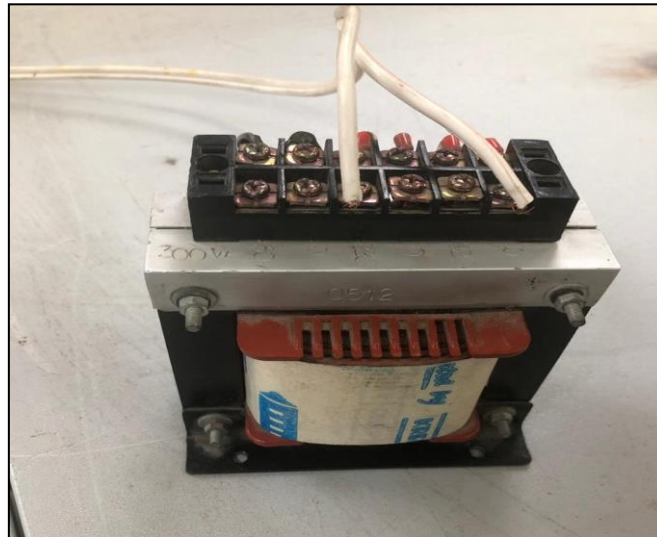
Son elementos lineales y pasivos que pueden almacenar y liberar energía basándose en fenómenos relacionados con campos magnéticos.



**Figura 33.** Inductor [15].

## **Transformador**

Se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia aunque en casos ideales.



**Figura 34.** Transformador de 120/24 VAC

**FUENTE:** LOS AUTORES

### **3.3. Cálculo y diseño de un circuito práctico**

Para los valores de diseño se necesitan valores de potencia y frecuencia que requiera el diseñador para así obtener los valores de los capacitores e inductores.

Potencia de consumo ( $P_{avg}$ )

100W

Voltajes AC ( $V_{peak}$  o  $V_{pico}$ )

24V AC a 60Hz

Procedimiento

Calculo de la corriente

$$I = \frac{2\pi x P_{avg}}{V_{peak}} \quad 29$$

$$= \frac{2\pi x 100}{24} = 26.1799$$

Por cuestiones de diseño y costo podemos adaptar el transistor mosfet IRF150N para nuestro diseño, para el inductor y el capacitor utilizamos la corriente de la ecuación que se muestra a continuación:

$$C = \frac{I}{2\pi f V} \quad 30$$

$$= \frac{26.1799}{2 \cdot \pi \cdot 8000 \cdot 24} = 21.70 \mu F$$

Para el capacitor se debe usar mylar o mica.

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} \quad 31$$

$$= \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 8000)^2 21.70} = 18.23 \mu H$$

Para hallar el número de vueltas de la bobina se realiza con la siguiente ecuación

$$L = \frac{a^2 N^2}{9a + 10b} \quad 32$$

$a$  Es el diámetro de la bobina

$b$  Es la altura de la bobina

$N$  Es el número de vueltas de la bobina

$L$  Inductancia

Resolviendo la ecuación

$$N = \sqrt{\frac{9a + 10b}{a^2 L}} \quad 33$$

Para el diseño de la práctica utilizamos como diámetro de la bobina 1.8cm

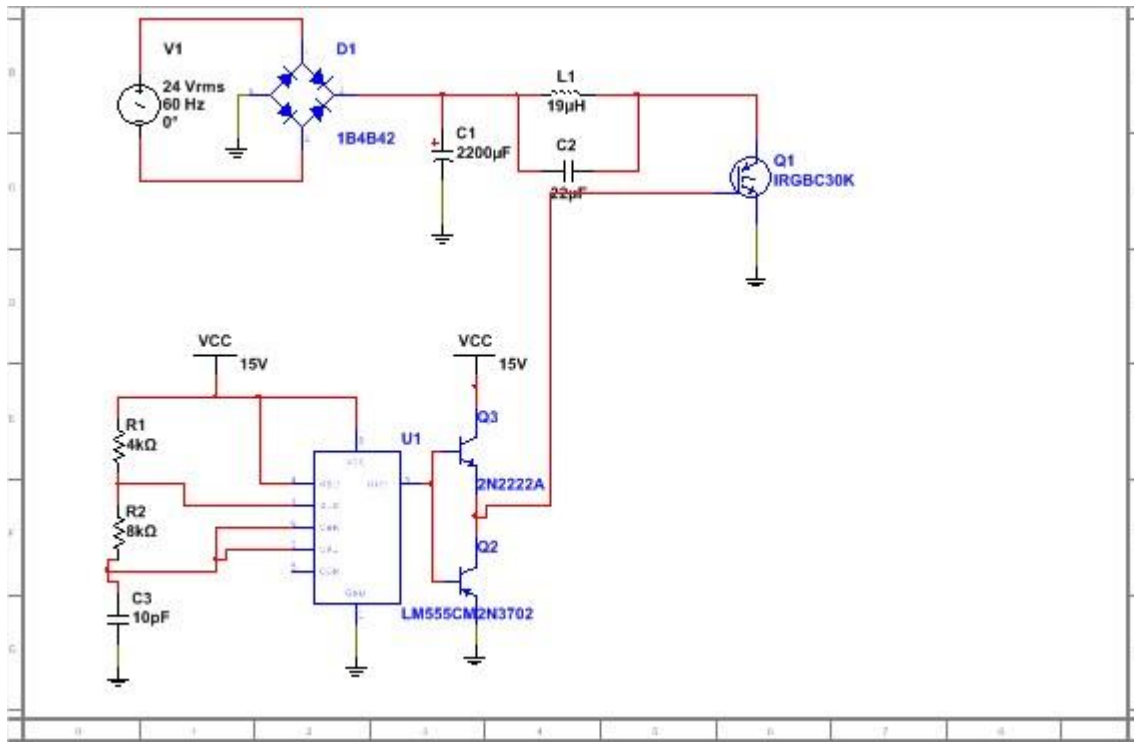
Y la altura 5cm

$N=31$  vueltas

**Tabla 2.** Datos informativos de la práctica demostrativa.

<b>Datos de diseño para la práctica</b>		
<b>Corriente</b>	26,1799	A
<b>Voltaje</b>	24	VAC
<b>Inductor</b>	18	uH
<b>Capacitor</b>	22	uF
<b>Número de vueltas</b>	31	Vueltas

En la figura 35 se muestra el circuito que se utiliza para generar una señal de pulso para la entrada del transistor igbt.



**Figura 35.** Circuito de práctica demostrativa

**FUENTE:** LOS AUTORES

En la figura 35, muestra el circuito prueba en multisim con su respectivo control para el transistor igtb que se acciona cuando la señal del circuito pwm le llega a la entrada (GATE)



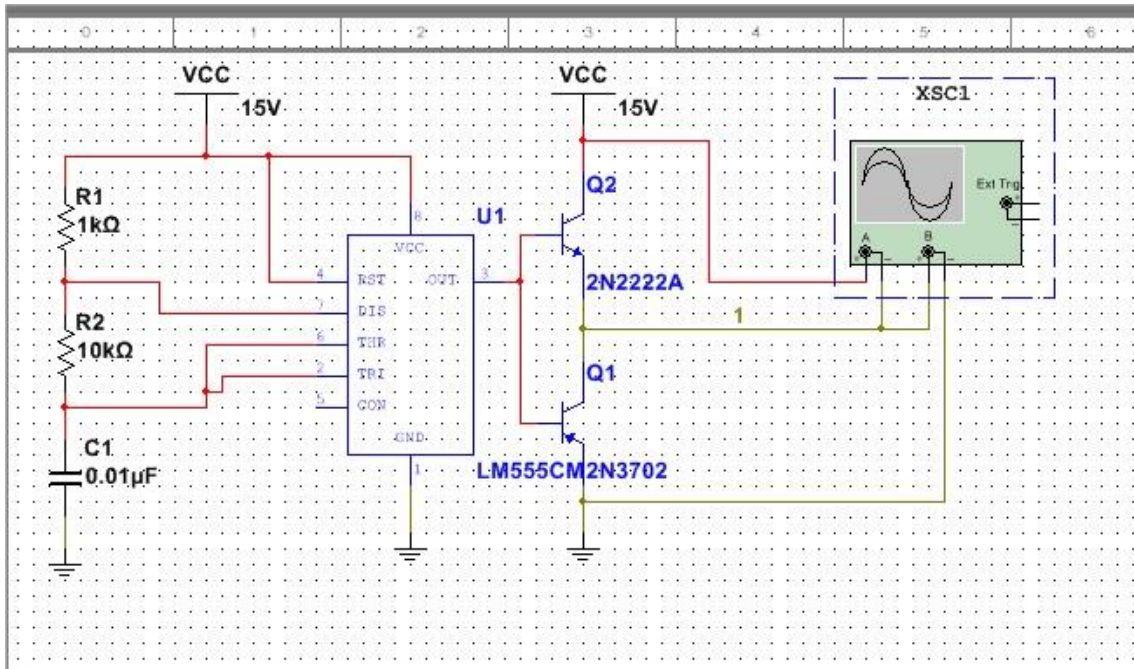
**Figura 36.** Variación de onda del voltaje de salida de la bobina de trabajo

**FUENTE:** LOS AUTORES

La variación de la señal de salida medida de la bobina de trabajo se muestra en la figura 36 que a falta de filtros la señal se muestra con distorsión a su vez también por la resistencia variables que generan distorsión a la onda.

### 3.4. Simulación en MULTISIM

Para el diseño de la entrada de la compuerta se necesita una señal pwm que cumplan ciertos parámetros de acuerdo con la hoja de datos del fabricante del transistor en este caso es el mosfet IRFP150N.

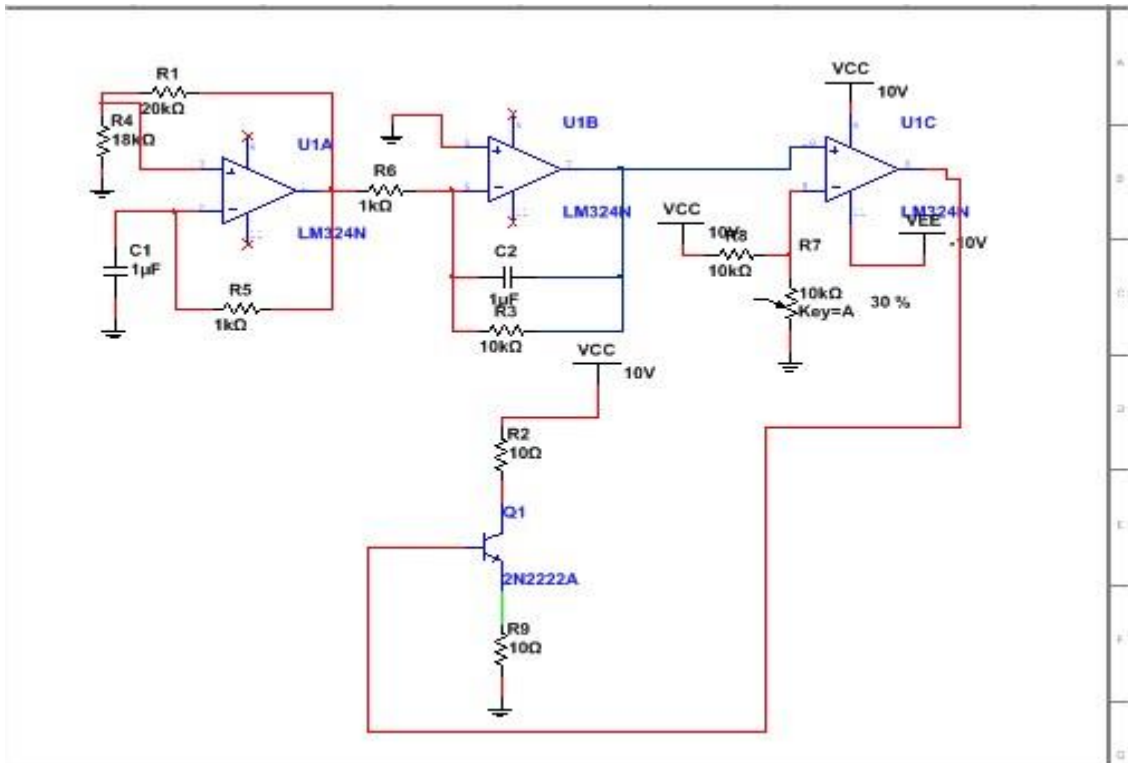


**Figura 37.** Circuito esquemático de la señal pulso para la entrada de la compuerta del MOSFET

**FUENTE:** LOS AUTORES

Circuito que genera una señal alternativa Pwm para la entrada del transistor igt.

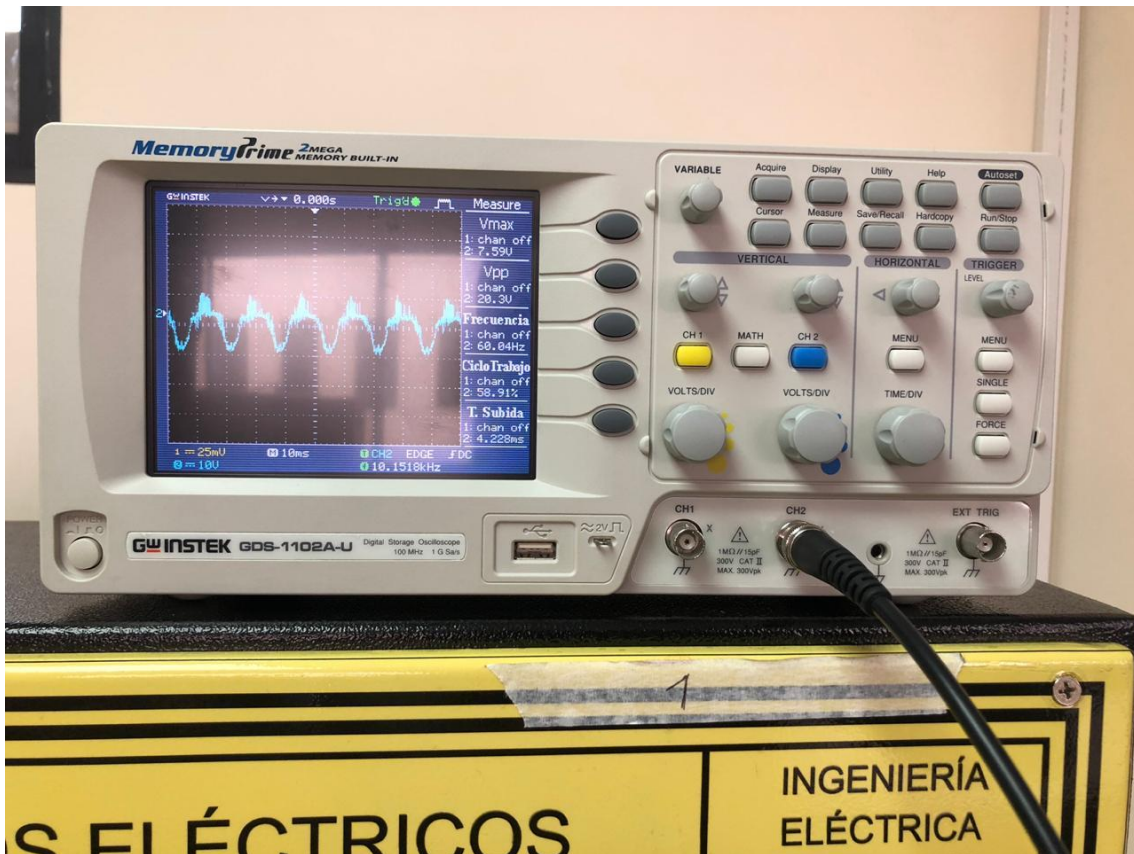




**Figura 38.** Circuito esquemático número dos de la señal pulso para la entrada de la compuerta del MOSFET.

**FUENTE:** LOS AUTORES

La señal de pulso sale distorsionada como en la figura 39, debido al potenciómetro que se usa por lo general se utiliza un timer que también es un potenciómetro pero de más precisión.




**Figura 39** Señal pulso PWM.

En esta acción podemos observar la modificación del proceso de trabajo de una señal de tipo periódico. Puede tener varios objetivos, como tener el control de la energía que se proporciona a una carga o llevar a cabo la transmisión de datos.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANALISIS DE RESULTADOS

PRACTICA #1	
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA <b>SALESIANA</b> ECUADOR	MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO
CARRERA:	<b>Ingeniería Eléctrica</b>
SEDE:	<b>Guayaquil</b>

#### 4.1. PRÁCTICAS DEL MÓDULO DIDÁCTICO

##### 4.1.2. Práctica #1

**Tema:** Análisis del método flujo DC de un sistema de potencia

**Objetivos:**

**Objetivo general:**

Analizar el comportamiento en la frecuencia en circuito resonante.

**Objetivos específicos:**

- Obtener la frecuencia de la bobina de trabajo
- Obtener los valores de voltajes y corrientes de salida
- Realizar las conexiones del circuito

**Recursos:**

- Osciloscopio
- Arduino
- Módulo de pruebas de circuitos eléctricos
- Circuito de prueba

**Intervalo estimado:**

El lapso estimado para el ejercicio es de 2 horas.

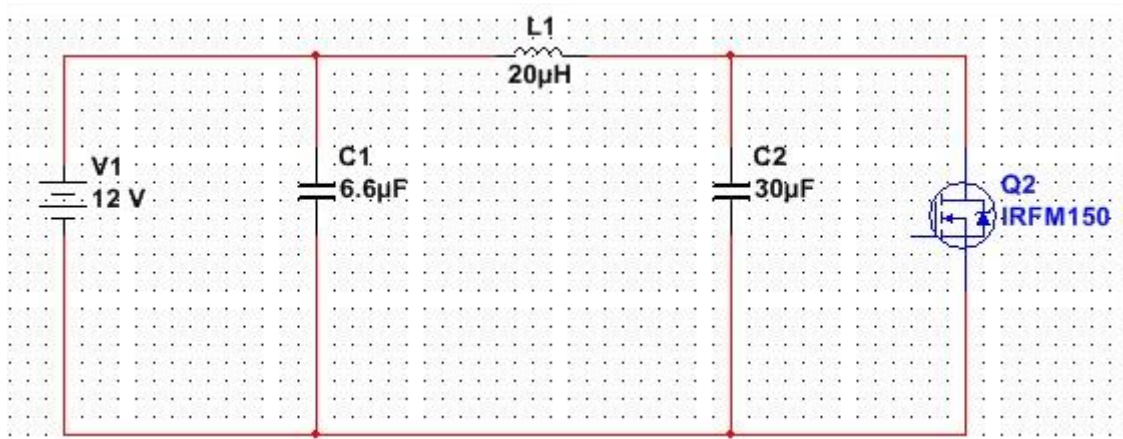
## Método

Estudiar el esquema eléctrico del módulo de pruebas para maquinas sincrónicas y el módulo de pruebas para circuitos eléctricos.

Ejecutar las conexiones de los esquemas eléctricos en los módulos anteriormente mencionados.

Regular los voltajes de entrada del módulo utilizando el autotransformador variable.


## Diagrama de conexión



## Resultados



Componente	Potencia [W]	Voltaje [V]	Corriente[A]	Frecuencia de salida[Hz]	Ton[s]
Capacitor					
Inductor					

PRÁCTICA #2	
	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO
CARRERA:	<b>Ingeniería Eléctrica</b>
SEDE:	<b>Guayaquil</b>

## 4.2. PRÁCTICAS DEL MÓDULO DIDÁCTICO

### 4.2.2. Práctica #2

**Tema:** Análisis del método flujo DC de un sistema de potencia

#### **Objetivos:**

##### **Objetivo general:**

Análisis del control en la frecuencia en la salida de la bobina de trabajo

##### **Objetivos específicos:**

- Obtener las corrientes de salida del circuito
- Obtener los Voltajes de salida de circuito
- Realizar la programación en arduino para la señal de entrada del pwm

##### **Recursos:**

- Osciloscopio
- Arduino
- Módulo de pruebas de circuitos eléctricos
- Circuito de prueba

##### **Intervalo estimado:**

El lapso aproximado para la práctica es de 2 horas.

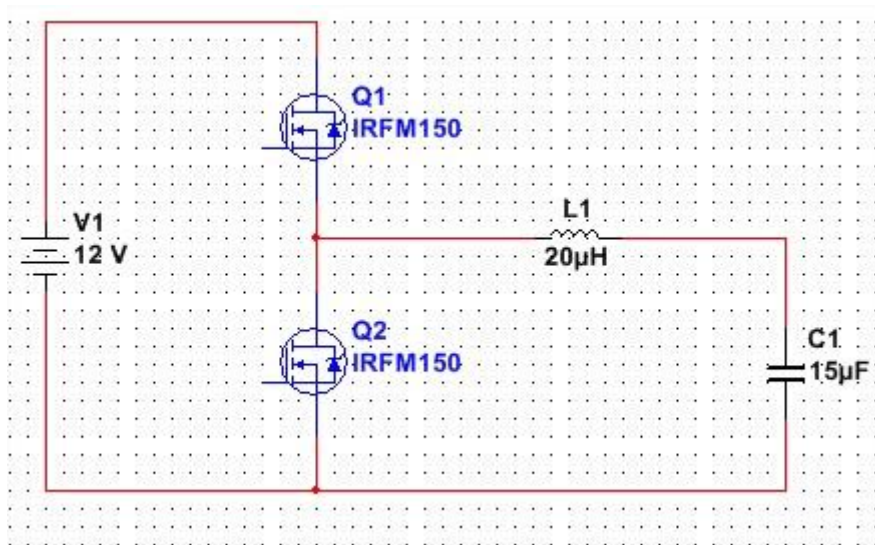
##### **Método**

Estudiar el diagrama de la práctica y realizar las pertinentes conexiones

Ejecutar las conexiones de los esquemas eléctricos en los módulos anteriormente mencionados.

Regular los voltajes de la compuerta de MOSFET IRFP150N con el arduino

## Diagrama de conexión



## Resultados



Componente	Potencia [W]	Voltaje [V]	Corriente[A]	Frecuencia de salida[Hz]	Ton[s]
Capacitor					
Inductor					



## CONCLUSIONES

Se llega a la conclusión de que el modulo realizado es de gran utilidad para realizar diferentes practicas propuestas, ayuda a la comprensión de los circuitos eléctricos y su funcionamiento, también podemos utilizar instrumentos de medición externos para poder ampliar la capacidad del modulo

Las prácticas realizadas de circuitos eléctricos con frecuencia variable nos demuestran que con la utilización de ciertos elementos electrónicos podemos tener un control más preciso de las formas de ondas con las cuales podemos alargar o reducir las señales de salida y con esto mismos valores podemos variar rangos de frecuencias con su mínimo y con su máximo.

Se logró obtener los resultados deseados de frecuencia, voltajes y corrientes en las prácticas de demostración realizadas de acuerdo al funcionamiento del mismo.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar elementos externos con el módulo de pruebas de circuitos eléctricos para obtener mejores resultados; como por ejemplo motores, variadores de frecuencia, generadores de funciones, banco de resistencias y demás elementos con los que contamos en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil para una mejor interacción con el estudiante de la carrera.

Antes de realizar cualquier practica en el módulo de pruebas de circuitos eléctricos verificar que los fusibles estén en perfecto estado, esto para evitar daños mayores causados por alguna mala manipulación y además poder tener la certeza de que si algún circuito no funciona no sea por causa de algún elemento del módulo que no esté funcionando y más bien sea por alguna mala conexión realizada en la práctica.

Utilizar siempre cableado con los conectores adecuados, esto con el fin de no tener falsos contactos que podrían darnos valores erróneos.

Se debe establecer cierto rangos de tiempo de encendido y apagado del transistor para no dañar el transistor ya que es muy sensible; a su vez los voltajes entre compuerta y el surtidor, esto puede hacer que se dispare la corriente quemando el circuito y seguramente el transistor.

Una vez terminada la realización de las practicas dejar todo desconectado, esto para evitar cualquier perjuicio dentro del laboratorio de circuitos eléctricos con los siguientes grupos de alumnos que vayan a utilizar el modulo.

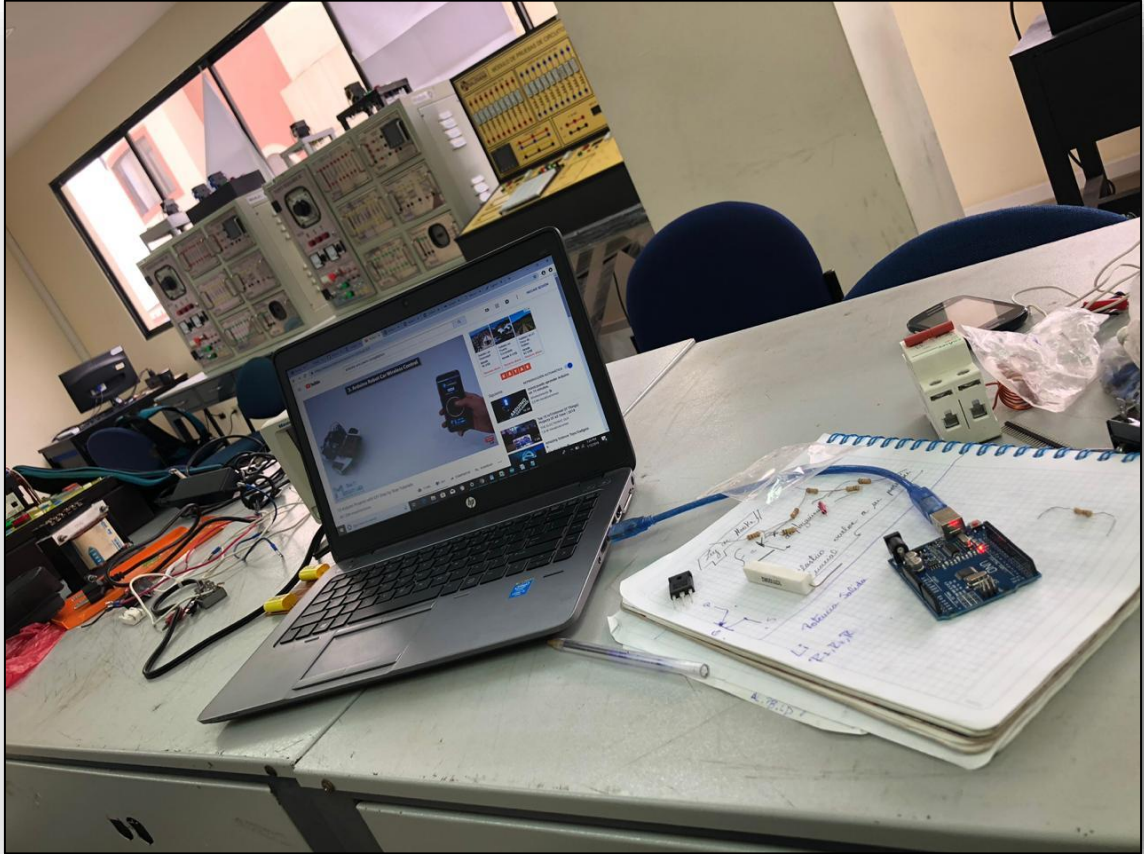
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Bird, *Electrical and Electronic Principles and Technology*, Fourth Edition, ELSEVIER, 2010
- [2] M. H. Rashid, *Microelectronic Circuits Analysis and Design*, Second Edition, Cengage Learning, 2011
- [3] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*, ACADEMIC PRESS, 2001
- [4] S. Gibilisco, *Electronics Workshop Companion for Hobbyists*, McGraw-Hill, 2015.
- [5] J. G. Kassakian, M. F. Schlecht and G. C. Verghese, *Principle of Power Electronics*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1991.
- [6] D. M. Van de Sype, K. DeGusseme, A. R. Van den Bossche and J. A. Melkebeek, "Small Signal Z-domain Analysis of Digitally Controlled Converters," *IEEE Trans. on PowerElectron.*, Vol. 21, No. 1, pp. 470–478, 2006.
- [7] K. Ogata, *Discrete Time Control Systems*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1987.
- [8] B. K. Kuo, *Digital Control Systems*. Champaign, IL: SRL Publishing Company, 1977.
- [9] J. Machowski , J. W. Bialek, J. R. Bumby, *Power system dynamics and stability*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 1997.
- [10] R. D. Middlebrook, "Predicting modulator phase lag in PWMconverter feedback loop, *Adv. Switched-Mode Power Convers.*, Vol 1, pp. 245–250, 1981.
- [11] R. C. Dugan, *Electrical Power Systems Quality*, Second Edition, McGraw-Hill, New York, 2002.
- [12] A. Baghini, *Handbook of Power Quality*, John Wiley & Sons Inc, 2008.

- [13] E. Mircea, *Electric Power Systems: Electric Networks*, Academia Romana, Bucharest, 2005.
- [14] P. Mattavelli, S. buso, *Digital Control in Power Electronics*, Morgan & Claypool, 2006.
- [15] <https://www.ingmecafenix.com/electronica/bobinas/>, recuperado el 25 de febrero del 2019

## ANEXOS

### ANEXO A. Fotografías de la prueba en el laboratorio de circuitos eléctricos



**Figura 40.** Pruebas del Circuito con Arduino

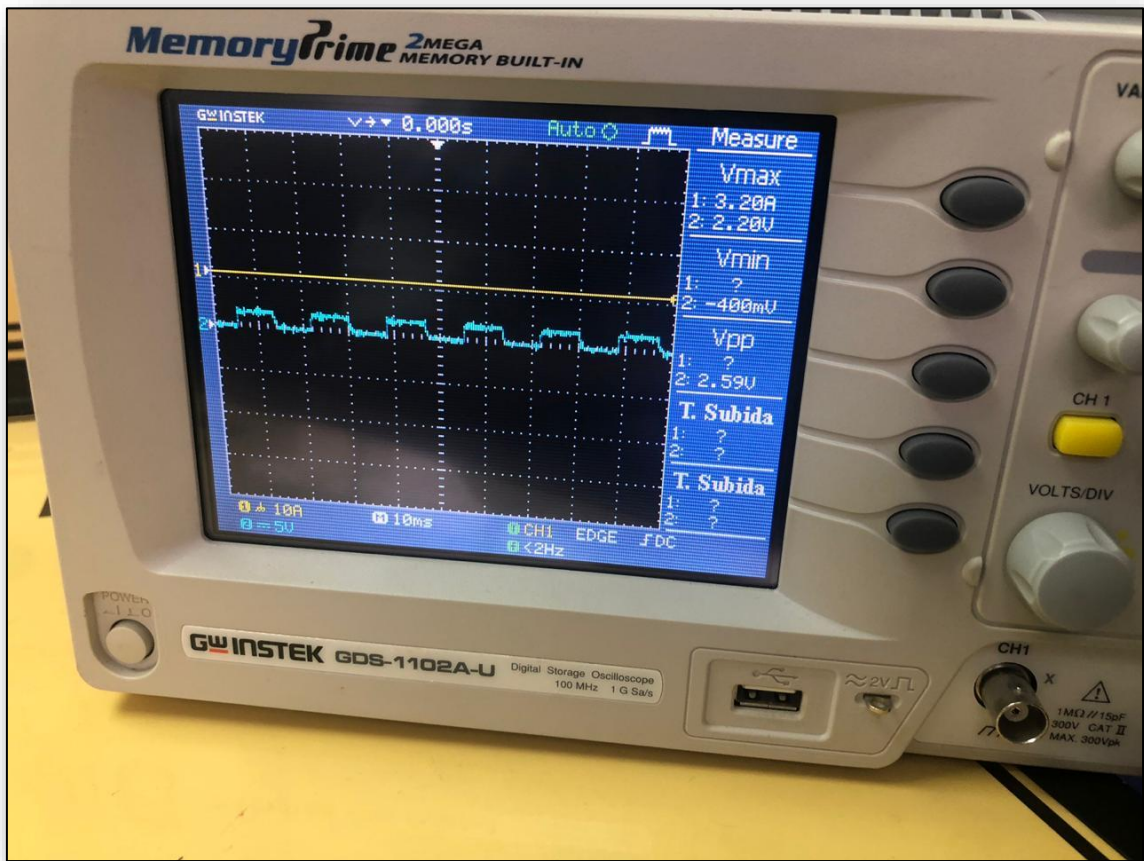


Figura 41. Prueba de onda cuadrada pulso

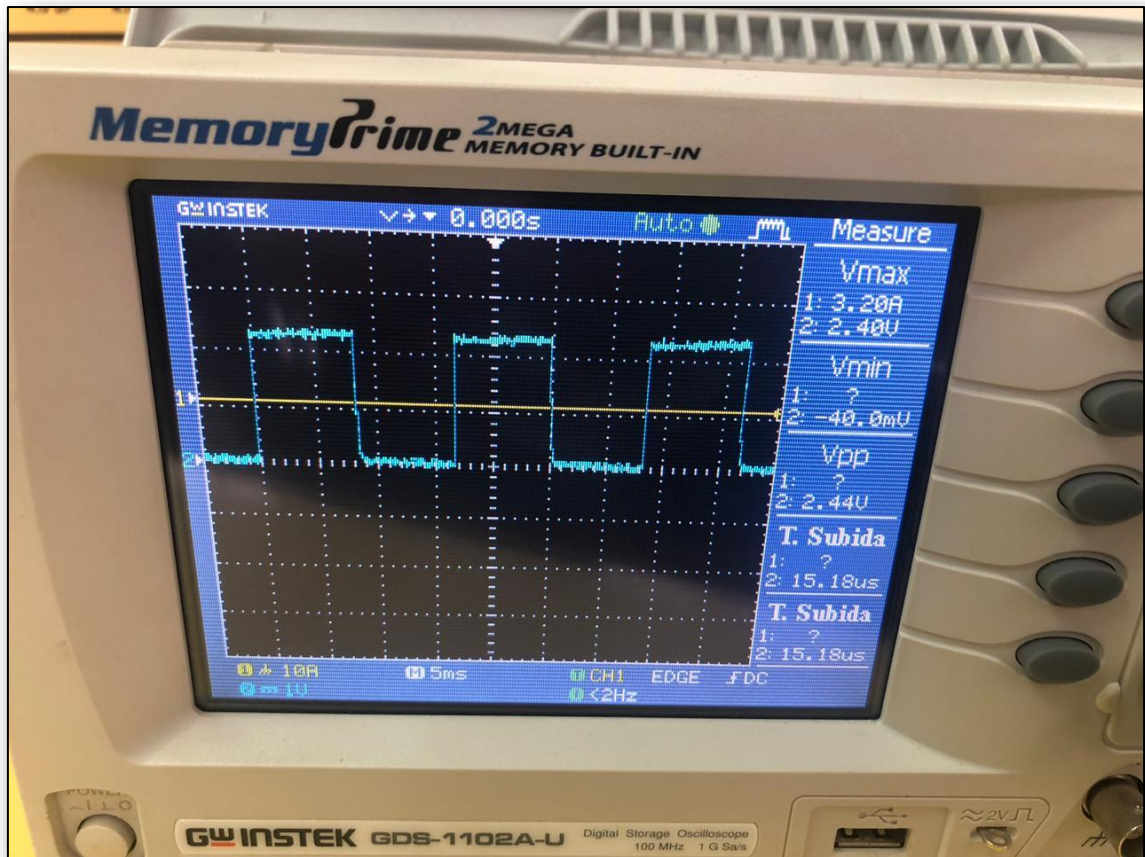
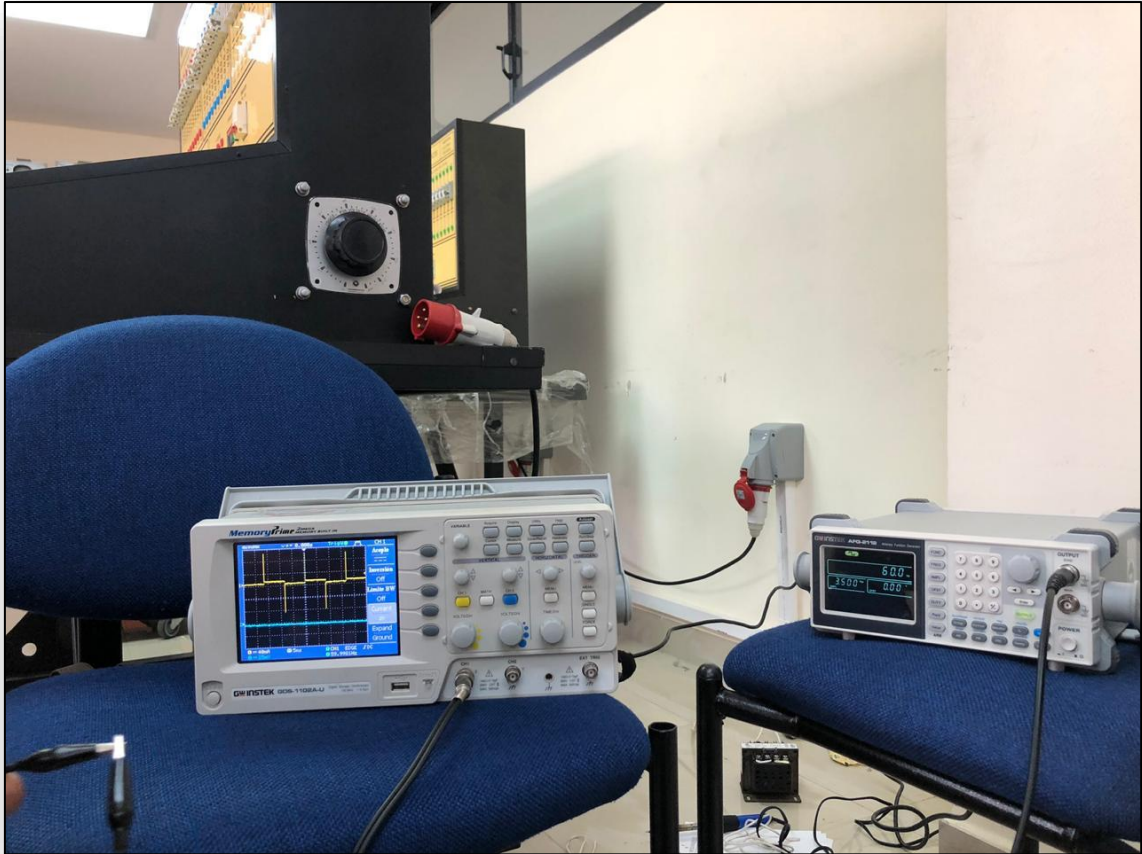


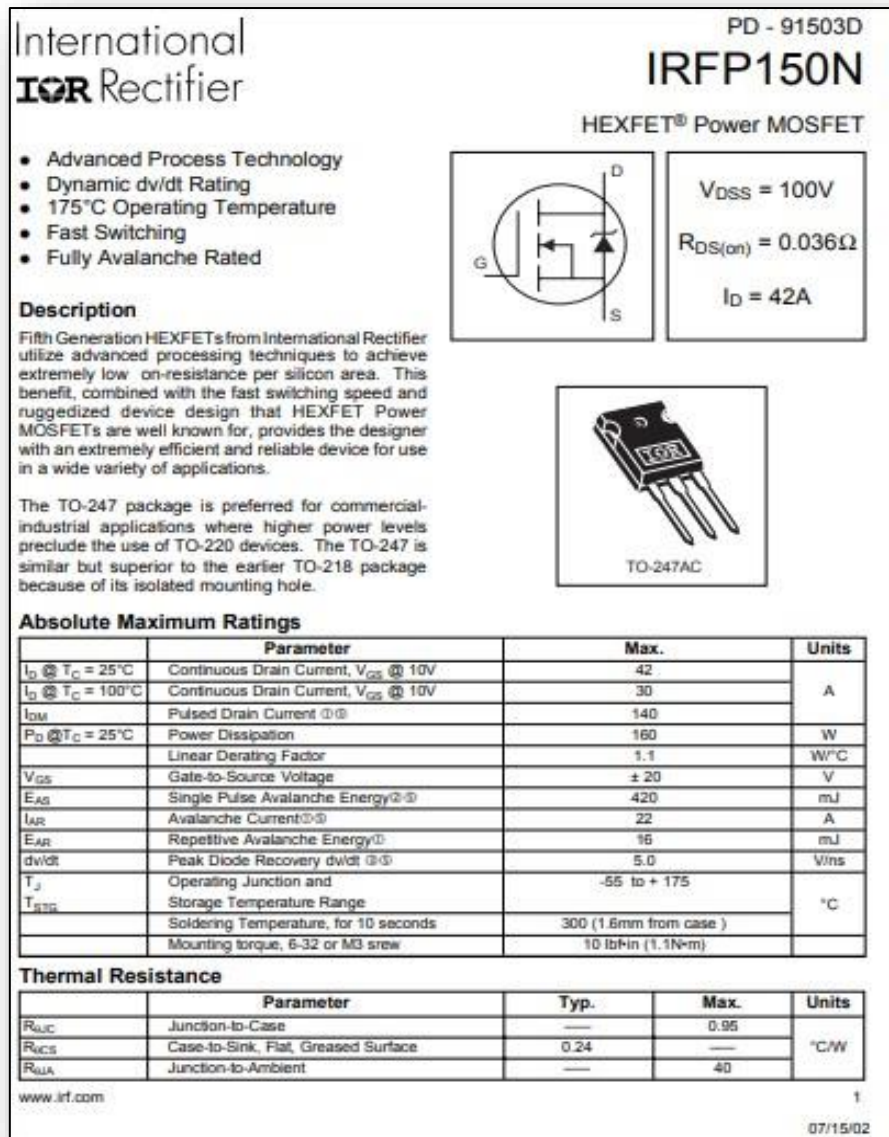
Figura 42. Prueba en osciloscopio de señal PWM



**Figura 43.** Señal tipo pulso positivo y negativo



## Anexo B. Hojas de datos y características del transistor IRFP150N




**Figura 44.** Hojas de datos técnicos del MOSFET IRFP150N.


# IRFP150N

International  
IGOR Rectifier

## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.11	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$ ⑤
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.036	$\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 23A$ ⑥
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_m$	Forward Transconductance	14	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 22A$ ⑤
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$
		—	—	100	$\mu A$	$V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	110	nC	$I_D = 22A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	15	nC	$V_{DS} = 80V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	58	nC	$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13 ④⑤
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	$V_{DD} = 50V$
$t_r$	Rise Time	—	56	—	ns	$I_D = 22A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	45	—	ns	$R_{\theta} = 3.6\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	40	—	ns	$R_{\theta} = 2.9\Omega$ See Fig. 10 ④⑤
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 8mm (0.25in.) from package and center of die contact 
$L_S$	Internal Source Inductance	—	13	—	nH	
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	1900	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	450	—	pF	$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	230	—	pF	$f = 1.0\text{MHz}$ , See Fig. 5 ⑤

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	42	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ④⑤	—	—	140	A	
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 23A, V_{GS} = 0V$ ④
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	180	270	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 22A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	1.2	1.8	$\mu C$	$di/dt = 100A/\mu s$ ④ ⑤
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S+L_D$ )				

### Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )
- ② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 1.7\text{mH}$ ,  $R_{\theta} = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = 22A$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq 22A$ ,  $di/dt \leq 180A/\mu s$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  $T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .
- ⑤ Uses IRF1310N data and test conditions.

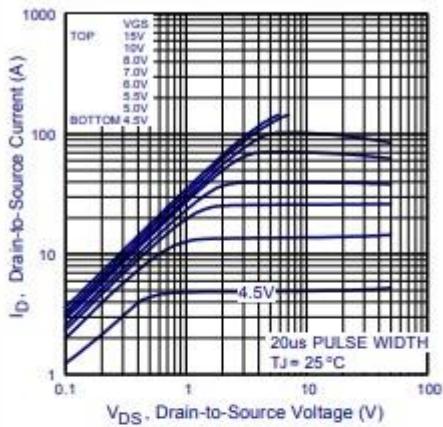


Fig 1. Typical Output Characteristics

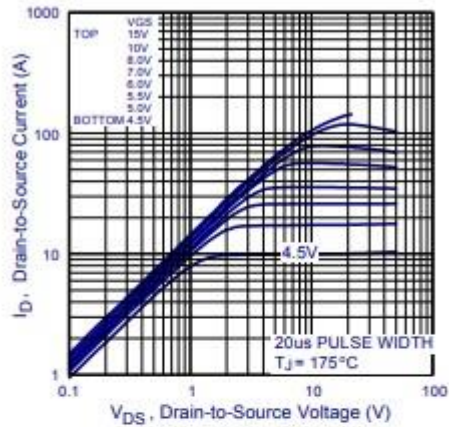


Fig 2. Typical Output Characteristics

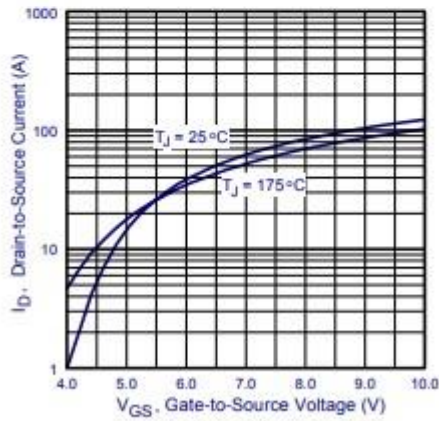


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

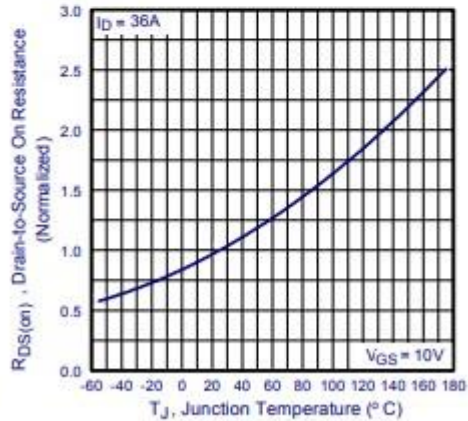
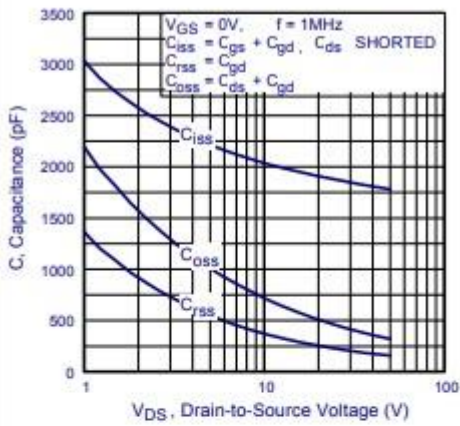


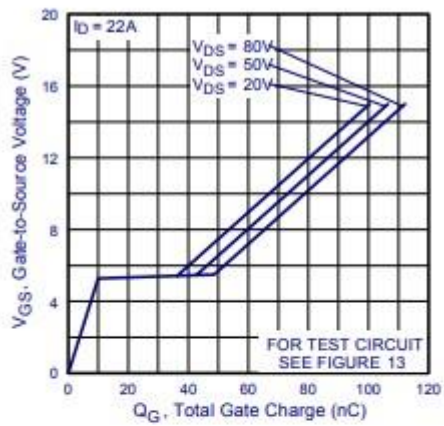
Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

# IRFP150N

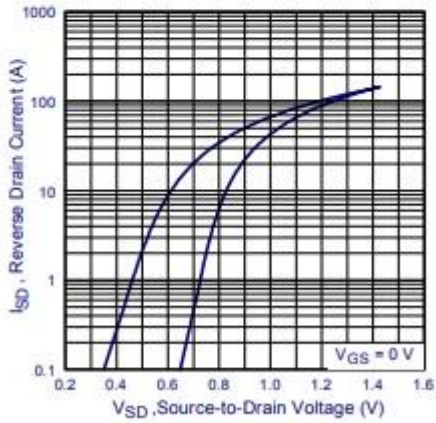
International  
**IR** Rectifier



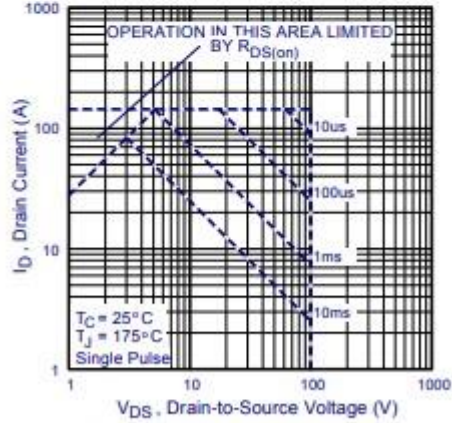
**Fig 5.** Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage



**Fig 6.** Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage



**Fig 7.** Typical Source-Drain Diode Forward Voltage



**Fig 8.** Maximum Safe Operating Area

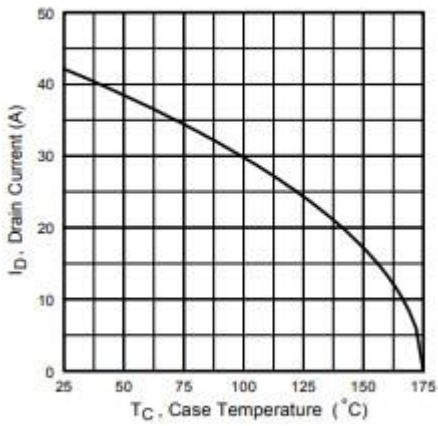


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

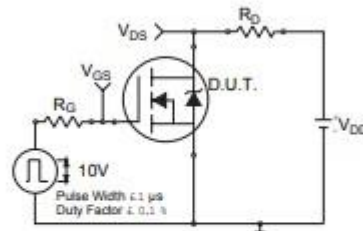


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

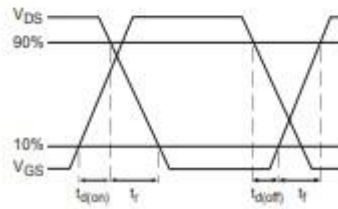


Fig 10b. Switching Time Waveforms

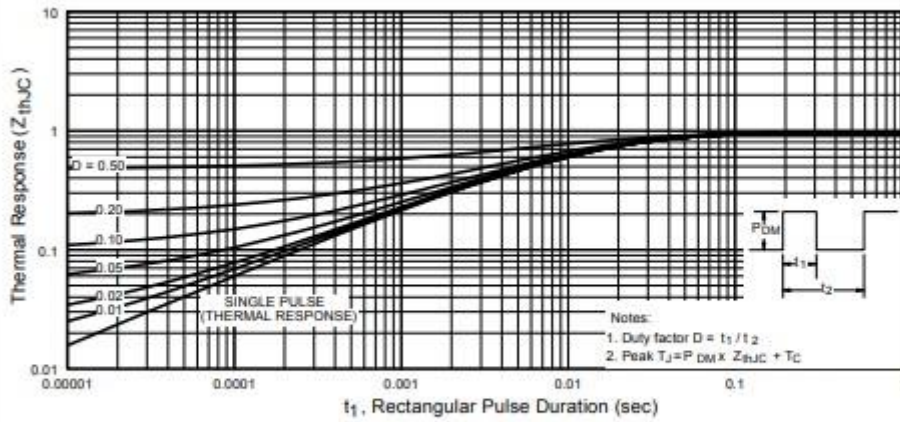


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

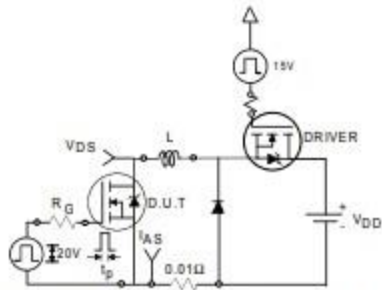


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

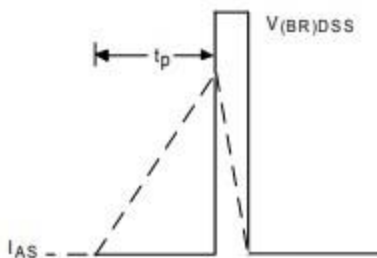


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

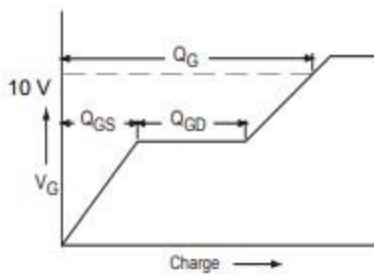


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

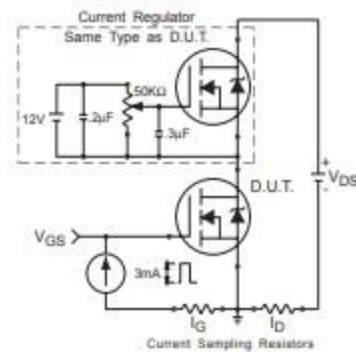


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

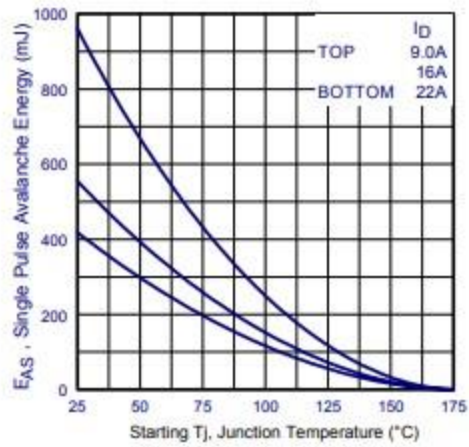
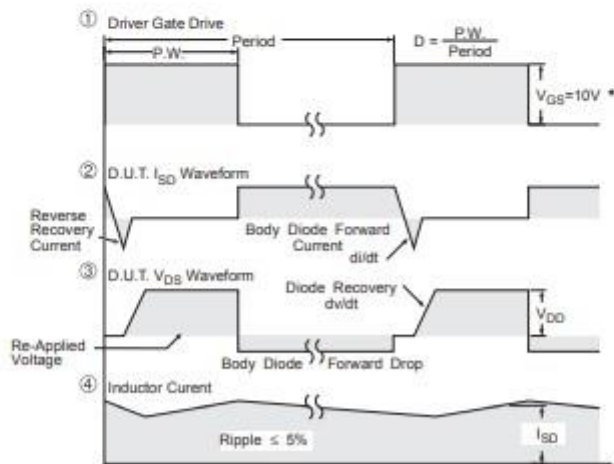
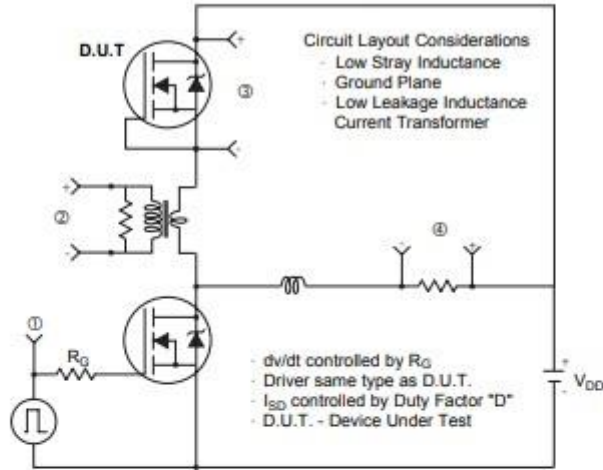


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

**Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit**



\*  $V_{GS} = 5V$  for Logic Level Devices

**Fig 14. For N-Channel HEXFETS**

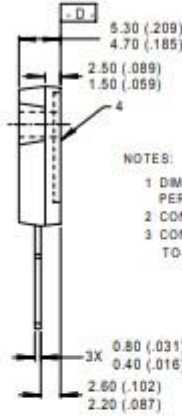
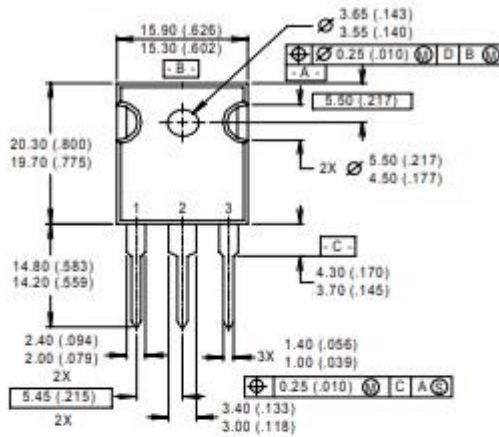
# IRFP150N

International  
**IOR** Rectifier

## Package Outline

### TO-247AC Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



**NOTES:**

- 1 DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
- 2 CONTROLLING DIMENSION: INCH.
- 3 CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-247-AC.

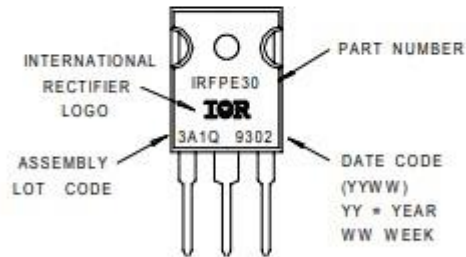
**LEAD ASSIGNMENTS**

- 1 - GATE
- 2 - DRAIN
- 3 - SOURCE
- 4 - DRAIN

## Part Marking Information

### TO-247AC

EXAMPLE: THIS IS AN IRFPE30 WITH ASSEMBLY LOT CODE 3A1Q



Data and specifications subject to change without notice.


International  
**IOR** Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105  
TAC Fax: (310) 252-7903  
Visit us at [www.irf.com](http://www.irf.com) for sales contact information. 07/02



## Anexo C

### FOLLETO DE PRÁCTICAS PROPUESTAS

	<b>REVISIÓN 1/1</b>	
	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO	
LABORATORIO	<b>CIRCUITOS ELÉCTRICOS</b>	
CARRERA	<b>INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>	
SEDE	<b>GUAYAQUIL</b>	

#### 4.3. Práctica # 1

##### 4.3.1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** Circuitos Eléctricos I
- b. **PRÁCTICA N° 1**
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DOCENTE:** Ing. DAVID H. CÁRDENAS V. Msc.
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 Horas

##### 4.3.2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** FILTROS PASO BAJO DE COMPONENTES IGUALES
- b. **OBJETIVO GENERAL:**

Analizar los efectos de la ganancia de tensión de acuerdo a la retroalimentación positiva a través del condensador.

**c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Diseñar una red serie – paralelo con el módulo de cargas resistivas.
2. Medir los voltajes de salida  $V_0$  del circuito filtro pasa bajo.
3. Resolver el circuito aplicando los conceptos electrónica analógica y circuitos eléctricos.

**d. MARCO TEÓRICO**

1. Resistencia eléctrica.
2. Capacitores
3. Resonancia.

**e. PROCEDIMIENTO**

1. Realizar el circuito planteado con el módulo de circuitos eléctricos conectando los elementos.
2. Medir de forma experimental el circuito filtro pasa bajo.
3. Registrar los datos obtenidos del equipo de medición en la tabla N°1
4. Revisar los resultados alcanzados y exponer las conclusiones en un reporte.

**f. ANÁLISIS Y PRUEBAS**

1. Prueba N°1: Circuito Serie - Paralelo.
2. Análisis y Conclusiones.

**g. RECURSOS**

1. Módulo didáctico.
2. Aparatos de medición y cables de conexión.
3. Formato para asentar los resultados.

**h. REGISTRO DE RESULTADOS**

1. Tabla N°1-A: Circuito filtro pasa bajo.

**i. CUESTIONARIO**

- 1.Cuál es la función del filtro RC de entrada.
2. Como se comporta el condensador si la frecuencia se aproxima a cero.
3. ¿Qué sucede con la reactancia capacitiva si la frecuencia aumenta?
4. ¿A qué se le denomina filtro activo?

**j. ANEXOS**

1. Formato de tabla para asentar los resultados.
2. Formato para registro de valores experimentales, teóricos y simulados del circuito trazado.

**k. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1. A. Malvino, Principios de electrónica, McGraw-Hill, 2007.

## I. CRONOGRAMA/CALENDARIO

De acuerdo a la planificación de cada docente.

### DIAGRAMA DE CONEXIONES

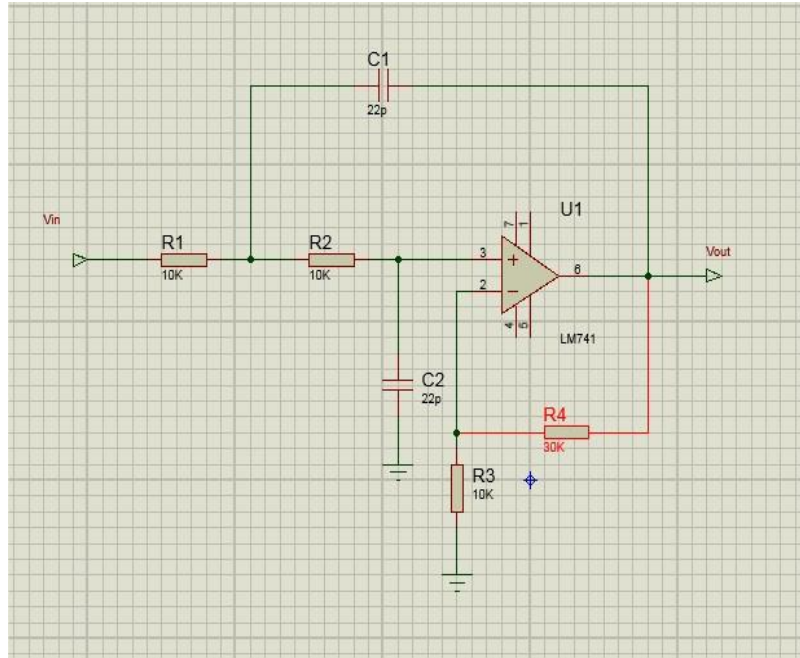


FIGURA 45. Diagrama de conexión

**TABLA N°1-A: CIRCUITO FILTRO PASA BAJO.**

PARÁMETROS	$A_v$	Fmax [V]	BW [Hz]	Vin [V]	Vout [V]
TEÓRICOS					
MULTISIM					

<b>MEDIDOS POR OSCILOSCOPIO</b>					
-------------------------------------	--	--	--	--	--

**Conclusiones**

---


---

---

---

---

---

	<b>REVISIÓN 1/1</b>	
	<b>MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>	
<b>LABORATORIO</b>	<b>CIRCUITOS ELÉCTRICOS</b>	
<b>CARRERA</b>	<b>INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>	
<b>SEDE</b>	<b>GUAYAQUIL</b>	

### 4.3. Práctica # 2

#### 4.3.1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** Circuitos Eléctricos I
- b. **PRÁCTICA N° 2**
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DOCENTE:** Ing. DAVID H. CÁRDENAS V. Msc.
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 Horas

#### 4.3.2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- f. **TEMA:** FILTROS PASO BAJO DE COMPONENTES IGUALES

- g. **OBJETIVO GENERAL:**

Hallar los valores que influyen en la retroalimentación positiva del circuito.

#### **h. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Establecer valores comparativos para una comprobación.
2. Medir los voltajes de entrada y salida y hacer sus respectivas comparaciones.
3. Analizar los valores obtenidos de frecuencia y de ganancia.

#### **i. MARCO TEÓRICO**

1. Resistencia eléctrica.
2. Capacitores
3. Resonancia.

#### **j. PROCEDIMIENTO**

1. Realizar el circuito planteado con el módulo de circuitos eléctricos conectando los elementos.
2. Medir de forma experimental el circuito filtro pasa bajo.
3. Registrar los datos obtenidos del equipo de medición en la tabla N°1
4. Revisar los resultados alcanzados y exponer las conclusiones en un reporte.

#### **k. RECURSOS**

1. Módulo didáctico.
2. Aparatos de medición y cables de conexión.
3. Formato para asentar los resultados.

## **l. REGISTRO DE RESULTADOS**

1. TABLA N°1-A: Circuito filtro pasa bajo.

## **m. CUESTIONARIO**

1. Explique que es un filtro pasa banda y sus principales características.
2. Manifieste porque es fundamental producir una respuesta paso bajo.
3. ¿Cuántas etapas tiene un filtro de orden superior?
4. ¿Qué comportamiento adquiere un condensador cuando la frecuencia tiende al infinito y la tensión de entrada es cero?

## **n. ANEXOS**

1. Formato de tabla para asentar los resultados.
2. Formato para registro de valores experimentales, teóricos y simulados del circuito trazado.

## **o. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

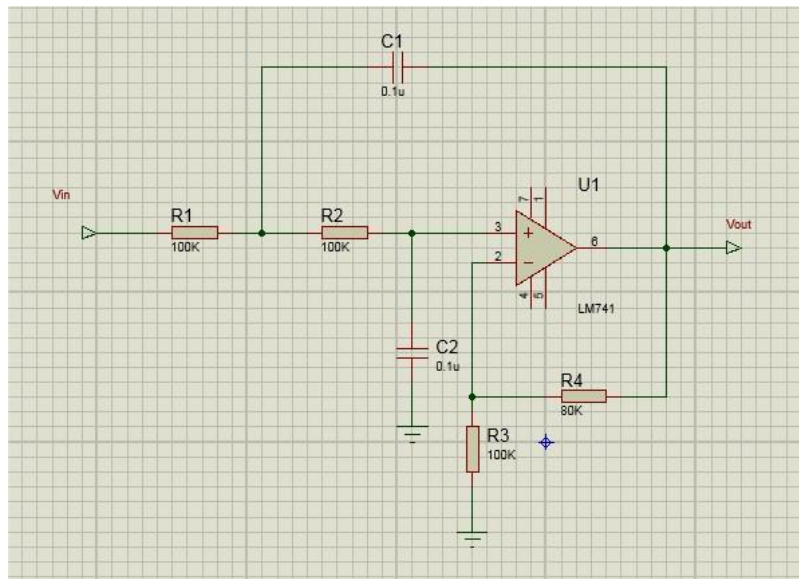
1. A. Malvino, Principios de electrónica, McGraw-Hill, 2007.

## **p. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.



## DIAGRAMA DE CONEXIONES



**FIGURA 46.** Diagrama de conexión

**TABLA N°1-A: CIRCUITO FILTRO PASA BAJO**

PARÁMETROS	$A_v$	$F_{m\acute{a}x}$ [V]	BW [Hz]	$V_{in}$ [V]	$V_{out}$ [V]
TEÓRICOS					
MULTISIM					
MEDIDOS POR OSCILOSCOPIO					

## Conclusiones

---

---


---

---

---

---

---

	<b>REVISIÓN 1/1</b>	
	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO	
LABORATORIO	<b>CIRCUITOS ELÉCTRICOS</b>	
CARRERA	<b>INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>	
SEDE	<b>GUAYAQUIL</b>	

### 4.3. Práctica # 3

#### 4.3.1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** Circuitos Eléctricos I
- b. **PRÁCTICA N° 3**
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DOCENTE:** Ing. DAVID H. CÁRDENAS V. Msc.
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 Horas

#### 4.3.2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- f. **TEMA:** FILTROS PASO ALTO DE COMPONENTES IGUALES

- g. **OBJETIVO GENERAL:**

Hallar la los parámetros de ganancia teórica y experimental del circuito planteado.

- h. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- 4. Diseñar una red serie – paralelo con el módulo de cargas resistivas.

5. Medir las resistencias parciales y la resistencia equivalente del circuito trazado.
6. Resolver el circuito aplicando los conceptos de los elementos en serie y paralelo.

**i. MARCO TEÓRICO**

1. Resistencia eléctrica.
2. Capacitores.
3. Resonancia.

**j. PROCEDIMIENTO**

1. Formato de tabla para asentar los resultados.
2. Formato para registro de valores experimentales, teóricos y simulados del circuito trazado.

**k. ANÁLISIS Y PRUEBAS**

1. Prueba N°1: Circuito Serie - Paralelo.
2. Análisis y Conclusiones.

**l. RECURSOS**

1. Módulo didáctico.
2. Aparatos de medición y cables de conexión.
3. Formato para asentar los resultados.

**m. REGISTRO DE RESULTADOS**

1. TABLA N°1-A Circuito filtro paso alto.

**n. CUESTIONARIO**

1. Que es un filtro pasa alto.
2. Qué comportamiento adquiere un condensador cuando la frecuencia tiende al infinito y la tensión de entrada es cero.
3. ¿Qué sucede con la reactancia capacitiva si la frecuencia disminuye por debajo de la frecuencia de corte?
4. ¿Qué sucede con la ganancia si la reactancia capacitiva y la frecuencia disminuyen?

**o. ANEXOS**

1. Formato de tabla para asentar los resultados.
2. Formato para registro de valores experimentales, teóricos y simulados del circuito trazado.

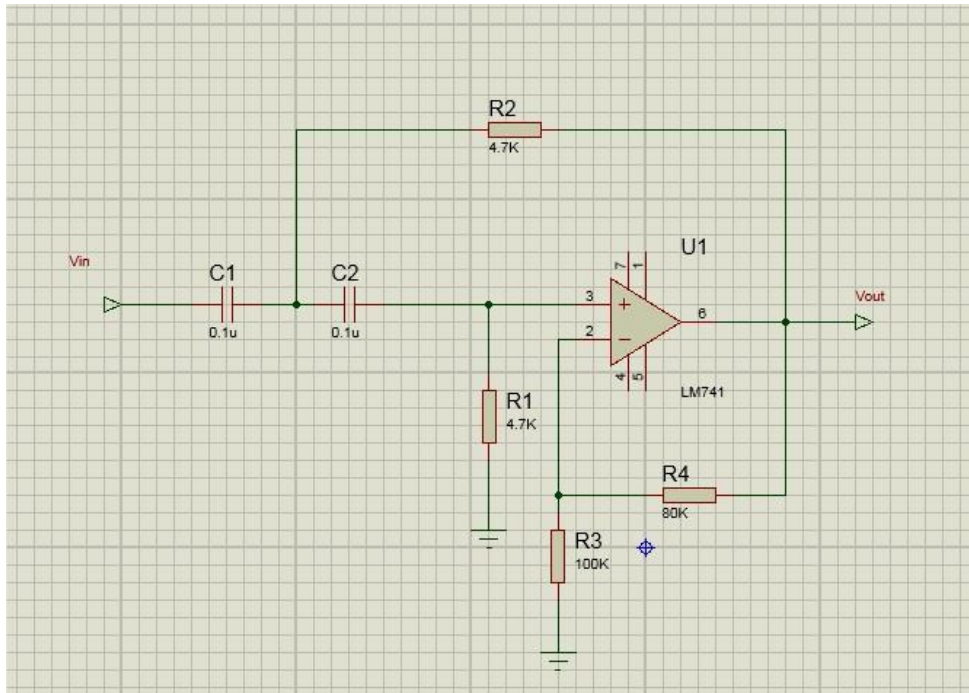
**p. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1. A. Malvino, Principios de electrónica, McGraw-Hill, 2007.

q. **CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

**DIAGRAMA DE CONEXIONES**



**FIGURA 47.** Diagrama de conexión

**TABLA N°1-A: CIRCUITO FILTRO PASO ALTO**

PARÁMETROS	$A_v$	Fmax [V]	BW [Hz]	Vin [V]	Vout [V]
TEÓRICOS					
MULTISIM					

<b>MEDIDOS POR OSCILOSCOPIO</b>					
-------------------------------------	--	--	--	--	--

**Conclusiones.**

---

---


---

---

---

---

---

	<b>REVISIÓN 1/1</b>	
	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO	
LABORATORIO	<b>CIRCUITOS ELÉCTRICOS</b>	
CARRERA	<b>INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>	
SEDE	<b>GUAYAQUIL</b>	

### 4.3. Práctica # 4

#### 4.3.1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** Circuitos Eléctricos I
- b. **PRÁCTICA N° 4**
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DOCENTE:** Ing. DAVID H. CÁRDENAS V. Msc.
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 Horas

#### 4.3.2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- f. **TEMA:** FILTROS PASO ALTO DE COMPONENTES IGUALES

- g. **OBJETIVO GENERAL:**

Hallar los parámetros de frecuencia y ganancia del circuito.

- h. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Diseñar una red serie – paralelo con el módulo de cargas resistivas.



2. Medir las resistencias parciales y la resistencia equivalente del circuito trazado.
3. Resolver cada etapa del circuito.

#### **i. MARCO TEÓRICO**

1. Resistencia eléctrica.
2. Capacitores.
3. Resonancia.

#### **j. PROCEDIMIENTO**

1. Formato de tabla para asentar los resultados.
2. Formato para registro de valores experimentales, teóricos y simulados del circuito trazado.

#### **k. RECURSOS**

1. Módulo didáctico.
2. Aparatos de medición y cables de conexión.
3. Formato para asentar los resultados.

#### **l. REGISTRO DE RESULTADOS**

1. TABLA N°1-A Circuito filtro paso alto.

### **m. CUESTIONARIO**

1. A que se denomina frecuencia de corte.
2. Qué comportamiento adquiere un condensador cuando la frecuencia tiende al infinito y la tensión de entrada es cero.
3. ¿Qué sucede con la reactancia capacitiva si la frecuencia disminuye por debajo de la frecuencia de corte?
4. ¿Qué sucede con la ganancia si la reactancia capacitiva y la frecuencia disminuyen?

### **n. ANEXOS**

1. Formato de tabla para asentar los resultados.
2. Formato para registro de valores experimentales, teóricos y simulados del circuito trazado.

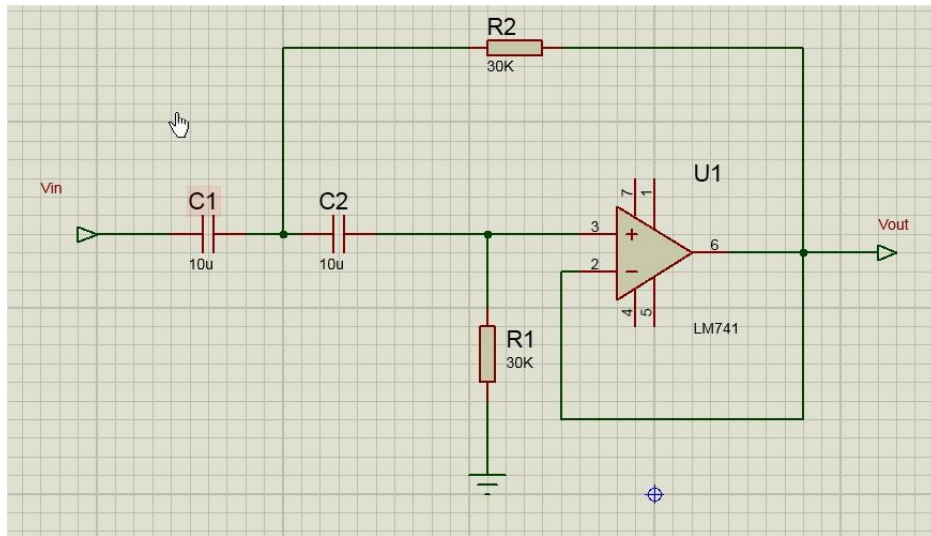
### **o. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1. A. Malvino, Principios de electrónica, McGraw-Hill, 2007.

### **p. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

## DIAGRAMA DE CONEXIONES



**FIGURA 48.** Diagrama de conexión

<b>TABLA N°1-A: CIRCUITO FILTRO PASO ALTO</b>					
<b>PARÁMETROS</b>	<b><math>A_v</math></b>	<b>Fmax [V]</b>	<b>BW [Hz]</b>	<b>Vin [V]</b>	<b>Vout [V]</b>
<b>TEÓRICOS</b>					
<b>MULTISIM</b>					
<b>MEDIDOS POR OSCILOSCOPIO</b>					

## Conclusiones

---


---

---

---

---

---

	<b>REVISIÓN 1/1</b>	
	<b>MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>	
<b>LABORATORIO</b>	<b>CIRCUITOS ELÉCTRICOS</b>	
<b>CARRERA</b>	<b>INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>	
<b>SEDE</b>	<b>GUAYAQUIL</b>	

### 4.3. Práctica # 5

#### 4.3.1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** Circuitos Eléctricos I
- b. **PRÁCTICA N° 5**
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DOCENTE:** Ing. DAVID H. CÁRDENAS V. Msc.
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 Horas

#### 4.3.2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- f. **TEMA:** FILTRO PASA BANDA

- g. **OBJETIVO GENERAL:**

Hallar la respuesta en retroalimentación múltiple del paso de banda.

- h. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- 4. Diseñar una red serie – paralelo con el módulo de cargas resistivas.

5. Medir las resistencias parciales y la resistencia equivalente del circuito trazado.
6. Resolver el circuito aplicando los conceptos de los elementos en serie y paralelo.

#### **i. MARCO TEÓRICO**

1. Resistencia eléctrica.
2. Capacitores.
3. Resonancia.

#### **j. PROCEDIMIENTO**

1. Formato de tabla para asentar los resultados.
2. Formato para registro de valores experimentales, teóricos y simulados del circuito trazado.

#### **k. RECURSOS**

1. Módulo didáctico.
2. Aparatos de medición y cables de conexión.
3. Formato para asentar los resultados.

#### **l. REGISTRO DE RESULTADOS**

1. Prueba TABLA N°1-A: Circuito filtro pasa alto

### **m. CUESTIONARIO**

1. Que es un filtro pasa banda.
2. Que es un filtro de banda estrecha.
3. ¿Qué es un filtro de banda ancha?
4. ¿Qué diferencias hay entre el filtro de banda ancha y el de banda estrecha?

### **n. ANEXOS**

1. Formato de tabla para asentar los resultados.
2. Formato para registro de valores experimentales, teóricos y simulados del circuito trazado.

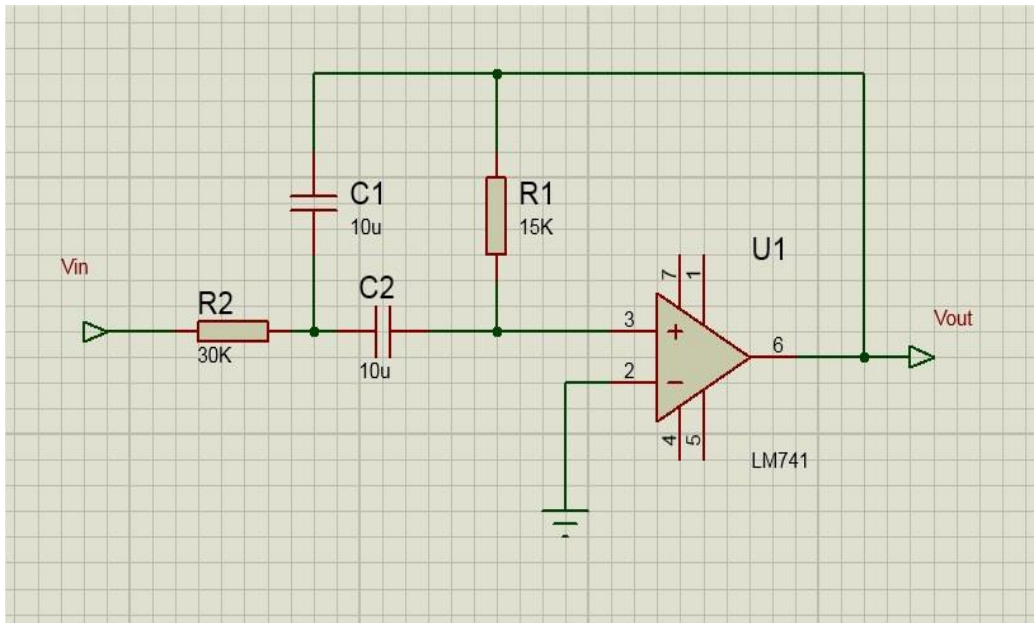
### **o. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1. A. Malvino, Principios de electrónica, McGraw-Hill, 2007.

### **p. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

## DIAGRAMA DE CONEXIONES



**FIGURA 49.** Diagrama de conexión

<b>TABLA N°1-A: CIRCUITO FILTRO PASA BANDA</b>					
<b>PARÁMETROS</b>	<b><math>A_v</math></b>	<b>Fmax [V]</b>	<b>BW [Hz]</b>	<b>Vin [V]</b>	<b>Vout [V]</b>
<b>TEÓRICOS</b>					
<b>MULTISIM</b>					
<b>MEDIDOS POR OSCILOSCOPIO</b>					



## **Conclusiones**

---


---

---

---

---

---

	MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO	
LABORATORIO	CIRCUITOS ELÉCTRICOS	
CARRERA	INGENIERÍA ELÉCTRICA	
SEDE	GUAYAQUIL	

### 4.3. Práctica # 6

#### 4.3.1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** Circuitos Eléctricos I
- b. **PRÁCTICA N° 6**
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DOCENTE:** Ing. DAVID H. CÁRDENAS V. Msc.
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 Horas

#### 4.3.2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- f. **TEMA:** FILTRO PASA BANDA
- g. **OBJETIVO GENERAL:**

Hallar la respuesta en retroalimentación múltiple

#### h. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 7. Hallar las etapas con realimentación múltiple con frecuencia central variable y ancho de banda constante.
- 8. Establecer valores de ganancia y ancho de banda.

9. Resolver el circuito aplicando los conceptos de los elementos en serie y paralelo.

**q. MARCO TEÓRICO**

4. Resistencia eléctrica.
5. Capacitores.
6. Resonancia.

**r. PROCEDIMIENTO**

1. Formato de tabla para asentar los resultados.
2. Formato para registro de valores experimentales, teóricos y simulados del circuito trazado.

**s. RECURSOS**

1. Módulo didáctico.
2. Aparatos de medición y cables de conexión.
3. Formato para asentar los resultados.

**t. REGISTRO DE RESULTADOS**

2. Prueba TABLA N°1-A: Circuito filtro pasa alto

#### **u. CUESTIONARIO**

1. Que sucedería al ganancia si se aumenta la impedancia.
2. Que es un filtro de banda estrecha.
3. ¿Qué es un filtro de banda ancha?
4. ¿Qué diferencias hay entre el filtro de banda ancha y el de banda estrecha?

#### **v. ANEXOS**

1. Formato de tabla para asentar los resultados.
2. Formato para registro de valores experimentales, teóricos y simulados del circuito trazado.

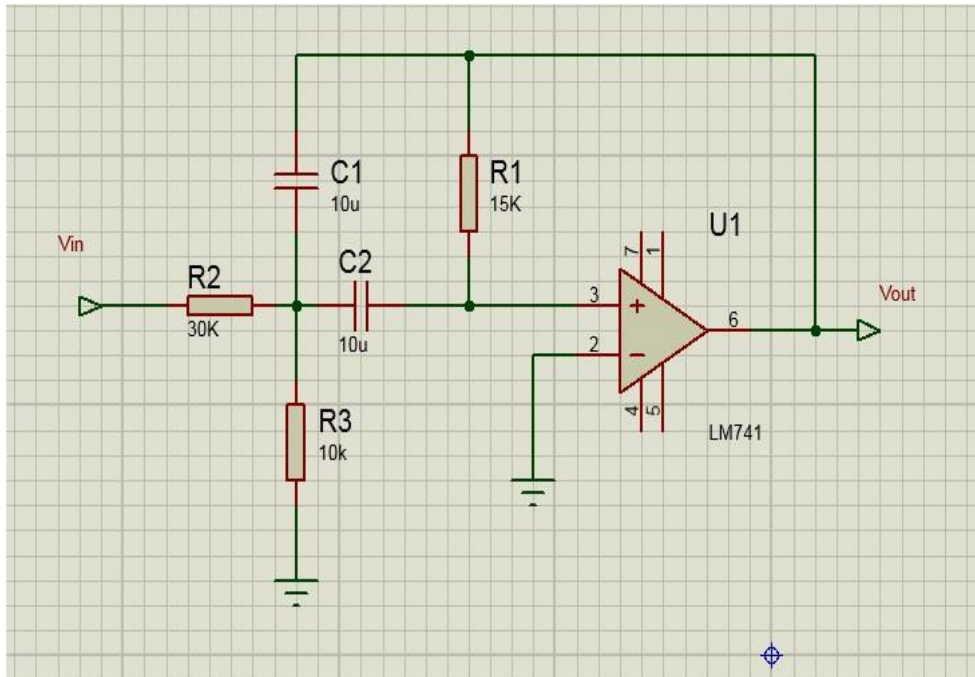
#### **i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1. A. Malvino, Principios de electrónica, McGraw-Hill, 2007.

#### **j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

## DIAGRAMA DE CONEXIONES



**FIGURA 50.** Diagrama de conexión

**TABLA N°1-A: CIRCUITO FILTRO PASA BANDA**

PARÁMETROS	Av	Fmax [V]	BW [Hz]	Vin [V]	Vout [V]
TEÓRICOS					
MULTISIM					
MEDIDOS POR OSCILOSCOPIO					

## Conclusiones

---

---

---

---

---

---

---

