



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**CARACTERIZACIÓN Y PUESTA EN
MARCHA DE UNA UNIDAD DE
ABSORCIÓN DE POTENCIA DE
CORRIENTES PARÁSITAS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A

Rafael Enrique Barbosa Elizalde

DIRECTOR DE TESIS: M. en I. PEDRO IGNACIO RINCÓN GÓMEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX., 2021.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

“Ingeniería es una gran profesión. Fascina ver como un fragmento de la imaginación emerge con ayuda de la ciencia, en un dibujo, en un papel y luego se transforma en una realización en piedra o metal o energía y trae trabajo y hogares a hombres y mujeres y eleva los niveles de vida y agrega el confort humano. Y ese es el gran privilegio de los ingenieros”

Herbert Hoover.

“En este lugar perdemos demasiado tiempo mirando hacia atrás. Camino hacia el futuro, abriendo nuevas puertas y probando cosas nuevas. Se curioso... porque nuestra curiosidad siempre nos conduce por nuevos caminos”

Walt Disney.

AGRADECIMIENTOS ACADEMICOS

Agradezco a mi alma Madre **UNAM** por abrirme las puertas al conocimiento y específicamente a la Facultad de Ingeniería por ser lo que hoy soy.

También agradezco al **Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) número de proyecto AG101018**, por las facilidades otorgadas por su beca que me permitió cumplir con expectativas en el desarrollo de mi tesis y concluir con mis estudios de licenciatura de forma satisfactoria.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Quiero agradecer a mi madre **Blanca Rita Elizalde Barrón** por darme todo su amor y tiempo incondicionalmente, por su apoyo en mi arduo camino, y por ser la promotora de mis sueños, por su fe y confianza depositada en mí, por brindarme todas sus enseñanzas, inculcándome los valores y principios con los que al día de hoy me han formado. Te agradezco por ser la mejor amiga y estar presente en los momentos difíciles de mi vida y por ayudarme a encontrar un abanico de posibilidades.
¡Gracias, Mamá!

De igual forma agradezco a mis abuelos **María Luisa Barrón Cabrera y Antonio Melitón Elizalde Juárez** por concederme vivir y disfrutar la vida a su lado, les doy las gracias de todo corazón por cada día de mi vida por cuidarme y procurarme como uno más de sus hijos, por ser mis guías espirituales y darme los lineamientos para ser un buen hombre y en un futuro ser buen padre y esposo.

A mi hermano **Luis Daniel Barbosa Elizalde** por estar en toda mi trayectoria brindándome su apoyo y afecto.

Doy gracias a mis padrinos **Elizabeth Soto Rubio y Marco Antonio Elizalde Barrón** por estar a mi lado procurando mi bienestar y apoyándome en cada decisión tomada, para cumplir mis metas y objetivos.

Deseo extender un sincero agradecimiento a mis tíos **Marcela, José Luis, Daniel Elizalde Barrón y Juan Carlos Franco Oropeza**, por los consejos y la ayuda brindada ya que fueron parte importante en mi desarrollo personal.

Quiero expresar mi gratitud al Dr. **Juan Manuel Guzmán Pérez**, por ser un gran amigo, por motivarme a seguir siempre adelante.

A mi tutor el M.I **Pedro Ignacio Rincón Gómez**, agradezco cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier duda que me surgiera, agradeciéndole por la claridad y exactitud con la que enseñó cada clase, exposición y lección permitiéndome concluir de

forma satisfactoria el desarrollo de mi tesis y de esta forma concluir mis estudios de licenciatura de forma exitosa.

Al Dr. **Rogelio González Oropeza** porque durante su gestión como jefe del departamento de termofluidos, me permitió formar parte del equipo de trabajo de la Unidad de Investigación y Control de Emisiones para realizar mi servicio social, dándome el apoyo para realizar mi tesis y también por aceptar ser miembro del jurado de sinodales.

A los profesores **Francisco González Pineda, Daniel Martínez Gutiérrez** y a la profesora **María del Carmen Melo Díaz**, por compartir su conocimiento durante mi estancia en la carrera para ser un mejor ingeniero y formando parte de mi jurado sinodales.

A todos mis profesores de la carrera por sus conocimientos, confianza y formación, pero en especial a la Ingeniera Petroquímica **María Rangel Licon**, a la Licenciada en Psicología **Alma Angelica Martínez Pérez** y al Profesor **Arturo Villanueva Bazán**.

Agradezco al Dr. **Rafael Barbosa López** por su apoyo brindado durante mi desarrollo académico.

A mis primos

María Fernanda Elizalde Soto, Ana Cecilia y Carlos Eduardo Franco Elizalde, son esa mezcla perfecta entre amigos y hermanos. Gracias.

A mis amigos **Mitzi Anaid Ramírez Estrada, Sandra Cecilia Islas Ortega, David Antonio Hernández Reyes, Edgar Abraham Flores Camacho y Marcos Castañeda Belman** por brindarme su amistad durante la carrera.

Gracias a Dios por ayudarme a terminar un ciclo maravilloso de mi vida, gracias por todo lo que me has dado.

CONTENIDO

□ PRÓLOGO	6
□ OBJETIVO GENERAL	7
□ OBJETIVOS PARTICULARES.....	7
CAPÍTULO I <u>ANTECEDENTES</u>.....	8
I.1 LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA.....	8
I.1.1 ORIGEN DE LAS UNIDADES DE ABSORCIÓN DE POTENCIA..	8
I.1.2 APLICACIONES DE LAS UNIDADES DE ABSORCIÓN DE	
POTENCIA.....	9
I.2 DIFERENTES TIPOS DE UNIDADES DE ABSORCIÓN DE	
POTENCIA.....	10
• I.2.1. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA	
HIDRÁULICA.....	10
• I.2.2. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA DE	
CORRIENTES PARÁSITAS.....	12
• I.2.3. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA DE	
HISTÉRESIS.....	15
• I.2.4. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA DE	
PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.....	17
• I.2.5. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA DE C.D.	
.....	18
• I.2.6. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA DE C.A.	
.....	19
CAPÍTULO II <u>FACTORES A CONSIDERAR EN UNA PAU</u>.....	20
II.1 LA LEY DE FARADAY.....	20
II.2 ESTRUCTURA DE LAS BOBINAS.....	21
II.2.1 CALIBRE DEL CONDUCTOR.....	22

II.2.2 NÚMERO DE VUELTAS EMPLEADAS EN LAS BOBINAS.....	24
II.3 EFECTO DE LOS ENTREHIERROS.....	25
II.4 LA CONFIGURACIÓN DE CONEXIÓN DE LAS BOBINAS.....	27
II.5 MATERIALES FERROMAGNETICOS.....	29
CAPÍTULO III <u>PROCESO DE CARACTERIZACIÓN DE LA PAU</u>	31
III.1 USO DE UN AUTOTRANSFORMADOR.....	31
III.2 PRUEBA PARA MEDICIÓN DE FLUJO MAGNÉTICO.....	32
III.3 PRUEBA PARA MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL BOBINADO.....	34
CAPÍTULO IV <u>MODULADOR DE CORRIENTE PARA LA PAU</u>	36
IV.1 LA MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO PWM.....	36
IV.2 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO MODULADOR.....	37
IV.2.1. EL GENERADOR DE CRUCE POR CERO.....	37
IV.2.2. ETAPA GENERADORA DE RAMPA LINEAL.....	39
IV.2.3. ETAPA DE COMPARADOR (MODULADOR BÁSICO).....	40
IV.2.4. ETAPA DE POTENCIA.....	41
CAPÍTULO V <u>INTEGRACIÓN Y PRUEBAS</u>	44
V.1 PRUEBAS AL SISTEMA.....	44
• PRUEBA DEL SISTEMA PARA CONTROL DE CORRIENTE.	44
• PRUEBA DEL SISTEMA DE CONTROL DE INTENSIDAD DE FRENO.....	46
□ CONCLUSIONES.....	49
□ BIBLIOGRAFÍA.....	50
□ REFERENCIAS DE LAS TABLAS E ILUSTRACIONES.....	52
□ APENDICE A DATA SHEETS.....	57
□ APENDICE B DIAGRAMAS COMPLEMENTARIOS.....	65
□ GLOSARIO.....	68

□ PRÓLOGO

Este trabajo tiene por objeto mostrar el método para caracterizar una Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas (PAU), esta tesis se compone de cinco capítulos.

El primer capítulo es un compendio de los antecedentes de una Unidad de Absorción de Potencia y los diferentes tipos de PAU y su principio de operación, de esta manera el lector podrá darse cuenta de las características que posee cada Unidad de Absorción de Potencia, así como también su aspecto físico. Este capítulo es importante para distinguir las diferencias que posee cada una de las PAU.

El segundo capítulo explica los diferentes factores físicos involucrados en una Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas como lo es la ley de Faraday.

También se explican los fenómenos electromagnéticos que influyen en el número de vueltas empleadas en las bobinas y en la configuración de conexión de las bobinas.

El tercer capítulo explica el método de caracterización que se llevó a cabo en la Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas, mediante el control de los procesos de medición de flujo magnético y de corriente en el bobinado a través de la identificación de sus elementos esenciales, de esta manera se observó que la PAU trabajó de forma adecuada y eficiente.

El cuarto capítulo detalla todas las etapas del circuito electrónico utilizado para la modulación de la señal y control de la corriente eléctrica que alimenta a la Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas y en consecuencia variar la intensidad de freno de la PAU.

El quinto capítulo explica el proceso de integración del circuito electrónico con la Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas y las pruebas que demuestran su desempeño de acuerdo a los objetivos del trabajo de tesis.

□ **OBJETIVO GENERAL**

- Caracterizar las señales eléctricas involucradas en la operación de una Unidad de Absorción de Potencia de Corrientes Parásitas.

□ **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Describir los principales parámetros físicos y mecánicos involucrados en una Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas.
- Diseñar un dispositivo que permita operar una Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas mediante la modulación de corriente eléctrica.
- Describir y realizar las pruebas necesarias en el proceso de caracterización en una Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas.

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

I.1 LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA

La Unidad de Absorción de Potencia o PAU (Power Absortion Unit), es el nombre técnico que se designa a un dispositivo de freno, también es conocida con el término de *Ralentizador* y se utiliza entre otras cosas para evaluar el desempeño de motores tanto eléctricos como de combustión interna, al aplicarle diferentes condiciones de carga durante su operación para registrar el consumo de combustible, emisiones de ruido, potencia desarrollada, velocidad de operación alcanzada, intervalos de temperatura, entre otras magnitudes de interés.

La PAU está compuesta principalmente de dos partes: el rotor y el estator. El rotor se acopla al eje del motor que se desea evaluar y el estator, que se encuentra "flotando" ya que no está anclado a una base estática, es el encargado de ejercer la acción de frenado.

El frenado se produce debido a que el estator se sujeta por rodamientos al eje del rotor para producir una fuerza opuesta a la del motor evaluado, de manera que el éste no sea frenado por completo y le produzca daño físico por este hecho.

I.1.1 ORIGEN DE LAS UNIDADES DE ABSORCIÓN DE POTENCIA

El freno Prony fue el primer dispositivo utilizado, para conocer la potencia mecánica real de un motor. Este dispositivo fue desarrollado por el matemático e ingeniero francés Gaspard de Pronyes en 1821. Su motivación fue crear el primer dispositivo para medir y conocer el par motor de máquinas y motores.

El freno de Prony (*Ilustración I.1.1.1*) es un dispositivo que absorbe potencia por contacto físico, su principio de funcionamiento es el siguiente: sobre el extremo del eje del motor (cigüeñal si es motor alternativo) se fija una rueda conectada al motor conocida como tambor, que gira a la par del eje. Sobre la periferia de este tambor, se aplican dos tuercas de ajuste de carga, unidas por un bloque de freno conocido como muelle que al comprimirse con la cincha, aplican un esfuerzo de fricción sobre la periferia del tambor. Cuando se desea frenar, la cincha se aprieta contra el tambor y ejerce una fuerza tangencial para detener la carga.

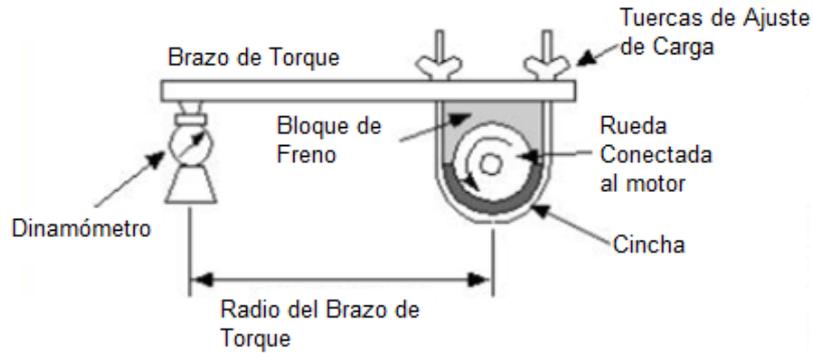


Ilustración I.1.1.1 Freno Prony

I.1.2 APLICACIONES DE LAS UNIDADES DE ABSORCIÓN DE POTENCIA

En la actualidad, el empleo de las Unidades de Absorción de Potencia se ha vuelto común para múltiples aplicaciones que van desde dispositivos dinamométricos para la evaluación de motores y de vehículos, hasta aplicaciones de frenos auxiliares en vehículos pesados.

La evaluación de un vehículo es de carácter integral, no solo contempla mejorar la eficiencia del motor, el confort de sus ocupantes y la forma dinámica del vehículo, también busca establecer una relación sustentable con el medio ambiente para disminuir el nivel de sus emisiones contaminantes. Incluso, si en una ciudad o región se tienen condiciones críticas respecto a la calidad del aire, como se observa en la *Ilustración I.1.2.1* y *Ilustración I.1.2.2*, donde se aprecia la verificación de los vehículos en los verificentros de la ciudad de México y Estado de México donde son examinados obligatoriamente para controlar las emisiones de contaminantes que estos producen.

El dinamómetro, es un instrumento que se utiliza para medir el par y potencia mecánica de un motor bajo diferentes rangos y cargas para poder hacer un análisis de desempeño de ese motor. Se utiliza comúnmente en los laboratorios de emisiones de gases de vehículos de combustión interna y también en los centros de desarrollo de vehículos nuevos, analizan los componentes contaminantes de las emisiones bajo determinado ciclo de trabajo.



Ilustración I.1.2.1 e Ilustración I.1.2.2 Examinación de vehículo modelo Versa en verificentro de Estado de México

I.2 DIFERENTES TIPOS DE UNIDADES DE ABSORCIÓN DE POTENCIA

Los frenos son mecanismos de diferentes tamaños, formas y componentes, que mediante su accionamiento por medios hidráulicos, mecánicos, eléctricos o mixtos; son utilizados para producir una desaceleración y/o parada a vehículos para prevenir una colisión. En la actualidad los fabricantes invierten muchos recursos en tecnología de frenado y antiderrapantes para volver más efectivos los sistemas de frenado y de esta forma incrementar la seguridad de los pasajeros. De esta forma convirtiendo la tecnología de frenado en uno de los elementos de seguridad activa más importante en el diseño y ensamblaje automotriz.

A continuación se enlistan los diferentes tipos de unidad de potencia:

1. La Unidad de Absorción de Potencia Hidráulica.
2. La Unidad de Absorción de Potencia de Corrientes Parásitas.
3. La Unidad de Absorción de Potencia Histéresis.
4. La Unidad de Absorción de Potencia de Partículas Magnéticas.
5. La Unidad de Absorción de Potencia de C.D.
6. La Unidad de Absorción de Potencia de C.A.

• I.2.1. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA HIDRÁULICA

La unidad de absorción de potencia hidráulica (*Ilustración I.2.1.1*), puede compararse con una bomba hidráulica acoplada a un motor. Este sistema está diseñado para absorber la energía del motor en el rotor de la bomba, cuando el motor mueve al rotor de la bomba, los alabes succionan el agua que contiene la cisterna para después descargarla en la misma

a través de una válvula. La válvula restringe el gasto del flujo hidráulico, generando así una resistencia mecánica a la que es sometido el rotor, mientras el estator tiende a girar junto con él y ejerce presión sobre una celda de carga.

La celda de carga evita que gire por completo y se deforme debido a la tensión entre el estator y el rotor. La tensión en la celda de carga se mide para conocer la fuerza que actúa en el estator. Con la calibración adecuada, es posible medir la fuerza de torque ejercida por el motor, producto del movimiento del agua sobre la turbina. La resistencia aplicada al motor puede variar dependiendo del flujo permitido de agua que se esté dejando pasar a los alabes de la turbina.

Toda la energía disipada por el motor es convertida en calor, que se transfiere al fluido hidráulico, que circula a través de la bomba, por las mangueras de presión hacia el tanque. De esta forma, al transcurrir un periodo de tiempo, la energía es disipada al medio ambiente por el mecanismo de transferencia de calor mediante radiación.

Las principales ventajas que posee la PAU hidráulica son su bajo costo y la baja inercia que posee su rotor, además de que son muy eficaces si se utilizan para medir potencias altas. La desventaja es la velocidad de respuesta de esta PAU, durante las pruebas a velocidades bajas, la carga resulta ser muy pobre. Por estos motivos no se utilizan para bancos de motocicletas. Además el absorbente hidráulico es más difícil de manejar porque el agua es un medio menos controlable que la corriente hidráulica.

El dinamómetro está formado por cuatro partes fundamentales, la bomba de desplazamiento positivo, una válvula reguladora de caudal, un intercambiador de calor y un tanque.

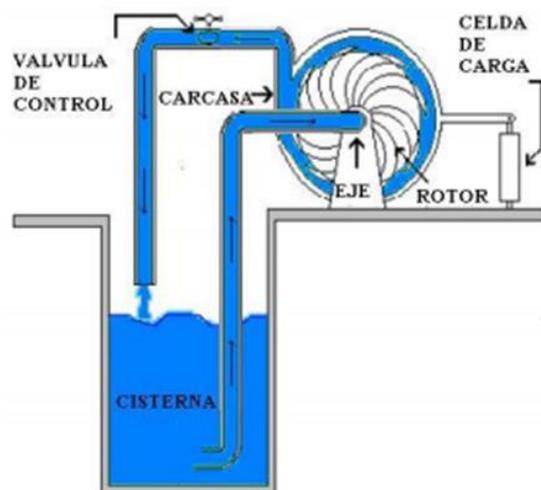


Ilustración I.2.1.1 Unidad de absorción de potencia hidráulica

- **I.2.2. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA DE CORRIENTES PARÁSITAS**

Un dinamómetro de corrientes parasitas (*Ilustración I.2.2.1 e Ilustración I.2.2.2*), también conocido como “*freno de corrientes Eddy*” o “*de corrientes Foucault*” (reconocimiento al científico francés Léon Foucault), utiliza un disco metálico que funciona como rotor y que se encuentra acoplado al eje del motor o a los rodillos de un dinamómetro. Este tipo de PAU emplea dos conjuntos de bobinas que se encuentran ubicadas en las caras opuestas del disco para generar un campo magnético sobre este elemento con polaridades norte y sur de forma alternada entre las bobinas. La intensidad del campo magnético se controla variando la intensidad de corriente que circula por las dos bobinas provocando que el disco actúe como un conductor, facilitando el paso de la corriente sobre sí mismo, con la finalidad de aumentar o disminuir la intensidad de frenado.

Dependiendo de la potencia que va a disipar, se aumenta o se disminuye la intensidad eléctrica que fluye por las bobinas, induciendo corrientes eléctricas parásitas en el disco del rotor, produciendo un torque opuesto al del motor de combustión interna. La magnitud de la fuerza es proporcional a la corriente suministrada externamente por la fuente de poder o de un Autotransformador Variable de Voltaje. La potencia suministrada en un dinamómetro de este tipo, puede ser medida mediante el empleo de una celda de carga acoplada al estator. A partir de esta información se puede calcular la potencia generada por el motor de combustión interna de prueba.

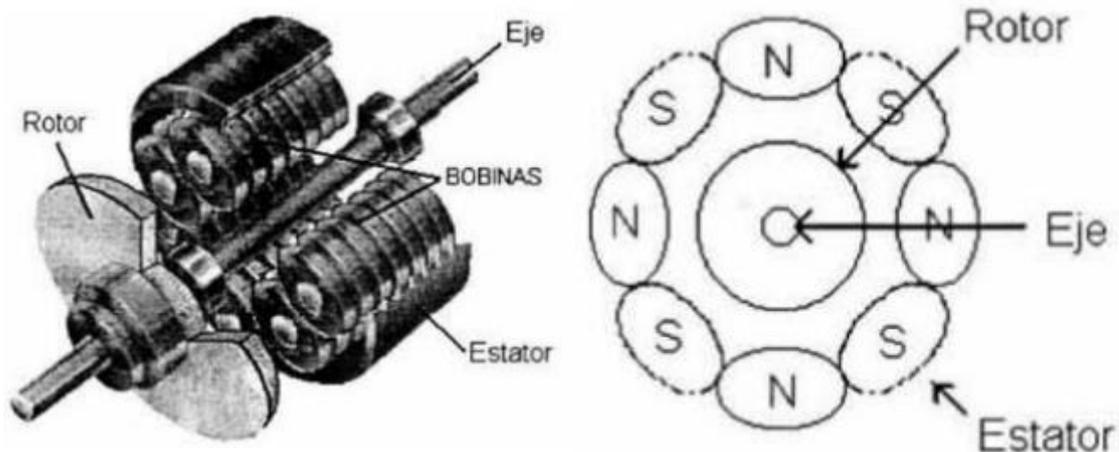


Ilustración I.2.2.1 PAU de Corrientes Parasitas (Vista Interna) e Ilustración I.2.2.2 Orientación de juego de Bobinas

Si se conoce la potencia entregada por la fuente externa al dinamómetro, para reducir la velocidad del motor hasta un valor determinado, se puede conocer la potencia en esa

condición de operación, ya que estas dos potencias son iguales (asumiendo que no existen pérdidas en el acople mecánico, ni en los devanados), pero cabe mencionar que las corrientes parásitas producen pérdidas por efecto Joule, por lo que la adecuada disipación de la energía es fundamental en estos equipos, la forma en que estos disipan es mediante convección forzada que es optimizada por una estructura mecánica compuesta de dos discos con separación mediante canales radiales (*Ilustración I.2.2.3*) que le ayudan a su ventilación.



Ilustración I.2.2.3 PAU de Corrientes Parásitas (Vista Externa)

La ventaja de estos dinamómetros es la regulación de la velocidad, que se puede obtener sobre la velocidad del motor de combustión interna, debido al fácil control del potencial enviado al dinamómetro por la fuente externa.

Una gran desventaja de este sistema, es la excesiva temperatura que se produce en el disco y en el rotor del dinamómetro, los cuales deben ser refrigerados con aire o agua circulando en su interior, aumentando la complejidad y costo a este tipo de dinamómetro.

Las *Tabla I.2.2.1* y *Tabla I.2.2.3* muestran los parámetros típicos involucrados en un dinamómetro para motores que incorporan una Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas, como son: fuerzas magnetomotrices, corrientes en discos, momentos, incluyendo las ecuaciones para obtener los valores y la *Tabla I.2.2.2 muestra los parámetros de pérdidas eléctricas* que se presentan en la Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas.

Parámetro	
Potencia indicada del motor ensayado, P_{mot}	W
Velocidad del motor ensayado, n_{mot}	r/min
Permeabilidad del aire, μ_0	H/m
Longitud del entrehierro, δ	mm
Cantidad de espiras de cada bobina, N	
Diámetro del alambre de las bobinas, d_{cu}	mm
Corriente de bobinas del freno, I_{fre}	A
Resistencia en caliente de las bobinas, R_b	Ω
Sección del núcleo de hierro de bobinas, S_n	m ²
Diámetro de la expansión polar, d_{ep}	mm
Sección de la «C» del circuito magnético, S_c	m ²
Longitud del brazo de palanca del freno, b_{fre}	m
Longitud del brazo de palanca de la bobina, b_b	m
Longitud estimada circuito de corriente en el disco, l_{id} <i>Se estima igual a 1,5 diámetros de la expansión polar del núcleo de hierro de la bobina, como una condición límite, el resto de la longitud del circuito no se considera porque el área de pasaje de corriente es muy grande y su aporte a la resistencia es insignificante.</i>	mm
Espesor de cada disco de aluminio, e_d	mm
Resistividad del disco a 25°C, ρ_d <i>Se considera despreciable el aumento de resistividad con la temperatura</i>	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

Tabla I.2.2.1 Parámetros ocupados en un Dinamómetro

Parámetro	Expresión	Valor
Pérdidas en las bobinas, P_b	$R_b \cdot I_{fre}^2$	W
Resistencia del circuito de corriente del disco, R_d <i>Se estima que el área y la longitud resistiva están determinadas por el diámetro de la expansión polar</i>	$\rho_d \cdot l_{id} / e_d \cdot d_{ep}$	Ω
Pérdidas en los discos de aluminio, P_d <i>Valor aproximado, obtenido a partir de las diversas simplificaciones y estimaciones aclaradas anteriormente y sin considerar las variaciones de resistencia con la temperatura</i>	$4R_d \cdot (l_d/2)^2$	W
Pérdidas totales aproximadas	$P_b + P_d$	W

Tabla I.2.2.2 Parámetros de Perdidas en un Dinamómetro

Parametros de densidades en las bobinas de excitación

Sección del alambre de cobre de las bobinas, S_{cu}	$\pi d_{cu}^2 / 4$	mm^2
Corriente por cada bobina (en serie paralelo), I_b	$I_{fre} / 2$	A
Densidad de corriente en el alambre de cobre, σ_{cu}	I_b / S_{cu}	A/mm^2

Parametros de densidades en el circuito magnético

Intensidad de campo en el entrehierro, H_{eh}	$2 N \cdot I_b / \delta$	A/m
Densidad de flujo en el entrehierro, B_{eh} <i>Corresponde al campo magnético principal. No se considera el efecto de bordes en las expansiones polares.</i>	$\mu_o \cdot H_{eh}$	T
Flujo principal, Φ_p	$B_{eh} \cdot S_n$	Wb
Densidad de flujo en la «C» magnética, B_{eh}	Φ_p / S_c	T

Parametros de densidades en los discos

Momento del freno para 2818 W, 4561 r/min, M_{fre}	$60 P_{mot} / (2\pi \cdot n_{mot})$	$N \cdot m$
Fuerza por par de bobinas, F_b	$M_{fre} / 2b_b$	N
Corriente en discos de aluminio, por par de bobinas, I_d <i>Se estima que esta será la máxima corriente, para una longitud límite mínima del circuito</i>	$F_b / (B_{eh} \cdot l_d)$	A
Densidad de corriente en cada disco de aluminio, σ_d <i>Se considera que la corriente circula en un área delimitada por el diámetro de las expansiones polares</i>	$I_d / (2 l_{d} \cdot e_d)$	A / mm^2

Tabla I.2.2.3 Parámetros ocupados en una PAU

- ### I.2.3. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA DE HISTÉRESIS

Los frenos de Histéresis (*Ilustración I.2.3.1*) son a menudo confundidos con los frenos de partículas magnéticas y con los de corrientes de Eddy.

Esta PAU como las anteriores PAU, se compone de dos partes fundamentales, el rotor y el estator. Esta PAU posee una estructura cilíndrica sujeta por uno de los extremos a una flecha de acoplamiento. La masa es una estructura mecánica flotante (estator), respecto al rotor, provisto de una bobina que la circunda. El rotor se suspende en el hueco que se forma en la masa, de modo que tanto el rotor como la masa queden a unos cuantos milímetros de separación.

Cuando la corriente eléctrica fluye por la bobina que circula a la masa, se crea un campo magnético en el interior. El rotor se magnetiza resistiéndose al movimiento generando un par de frenado.

La histéresis magnética es la capacidad de los materiales (rotor) de ser magnetizados, polarizados o de la capacidad de adquirir un campo magnético, sin embargo, cuando cesa la aplicación de este, el material (rotor) no anula completamente su magnetismo, si no que permanece un cierto magnetismo remanente.

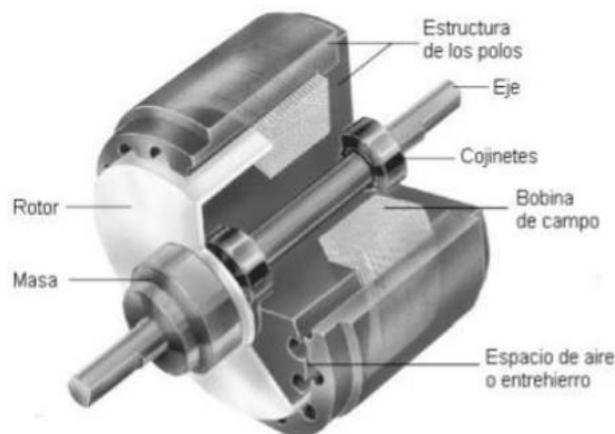


Ilustración I.2.3.1 Corte Seccional de PAU de Histéresis

La transmisión del par de frenado es constante, sin embargo, en algunas ocasiones el rotor puede producir un efecto denominado “Cogging Torque” o también llamado torque ondulatorio. El torque de Cogging es una característica inherente de un freno de histéresis que en la mayoría de los casos puede evitarse o controlarse.

El Torque de Cogging de los motores eléctricos es un efecto de par, provocado por la interacción entre los imanes permanentes del rotor y las ranuras del estator de una máquina de imán permanente. Este par depende de la posición y su periodicidad por revolución así como del número de polos magnéticos y del número de ranuras del estator. Este efecto es un componente indeseable para el funcionamiento de dicho motor. Ocurre especialmente a velocidades más bajas, sin embargo, a alta velocidad, el momento de inercia del motor filtra el efecto.

- ### I.2.4. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

El freno de partículas magnéticas (*Ilustración I.2.4.2*) es un tipo de PAU parecido al de corrientes Eddy, pero este almacena polvo de metal (*Ilustración I.2.4.1*) fluyendo libremente entre las estructuras del rotor y el estator. Cuando se hace pasar corriente eléctrica (se excitan las bobinas) por las bobinas que se encuentran en el estator, las partículas metálicas se magnetizan y forman cadenas a lo largo de las líneas de fuerza del campo magnético, uniendo físicamente al estator con el rotor y provocando con ello que este último se frene.

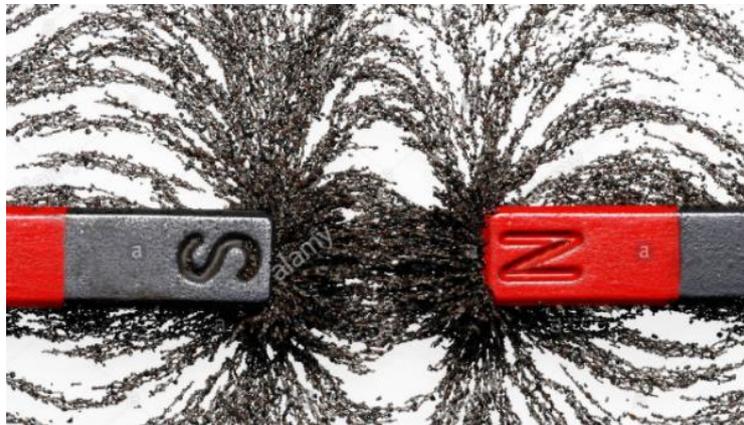


Ilustración I.2.4.1 Líneas De Campo Magnético

Ya que la acción de frenado es causado por el contacto físico del rotor con las cadenas de polvo, existe una fricción entre ambos materiales (rotor y las cadenas de polvo están unidas al estator) la cual genera calor.

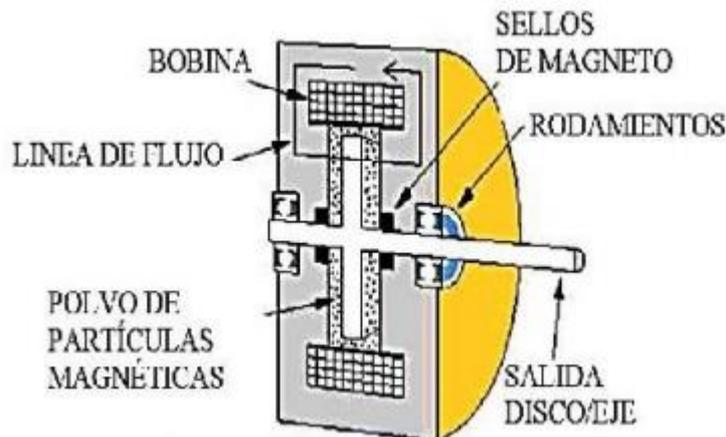


Ilustración I.2.4.2 Sección Transversal de PAU de Partículas Magnéticas

La ventaja de los frenos de las partículas es que son capaces de producir un torque muy alto, pero a su vez tienen la gran desventaja que por la fricción, entre las partículas magnéticas, se desgastan rápidamente por lo que hay que darles mantenimiento continuo a este tipo de PAU, adicionalmente carecen de estabilidad, por esta razón actualmente es una de las menos utilizadas para la manufactura de dinamómetros.

- **I.2.5. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA DE C.D.**

La unidad de absorción de potencia de C.D. (*Ilustración I.2.5.1*), también conocida como dinamómetro con generador C.D. permite transformar la energía mecánica en el eje del motor de combustión, en energía eléctrica en los devanados del generador y finalmente transferir esta energía a una o varias resistencias donde es cuantificada en potencia.

Estos dinamómetros son los más utilizados, cuando se dispone de un gran presupuesto, por lo que su mayor desventaja es el costo de este, además requiere de un alto nivel de corriente eléctrica, sin olvidar que estos dinamómetros no son eficientes cuando se requiere analizar motores bajo aceleraciones rápidas, debido al alto valor de inercia polar del rotor del generador, cuando la masa del rotor de este debe ser acelerada hasta una velocidad específica o a través de todo un rango de velocidades, existe un periodo de tiempo en el cual una cantidad considerable de datos de potencia del motor de prueba no se refleja en las mediciones de corriente y por lo tanto no se refleja en los cálculos de dicha potencia, ya que es utilizada en la aceleración del rotor.

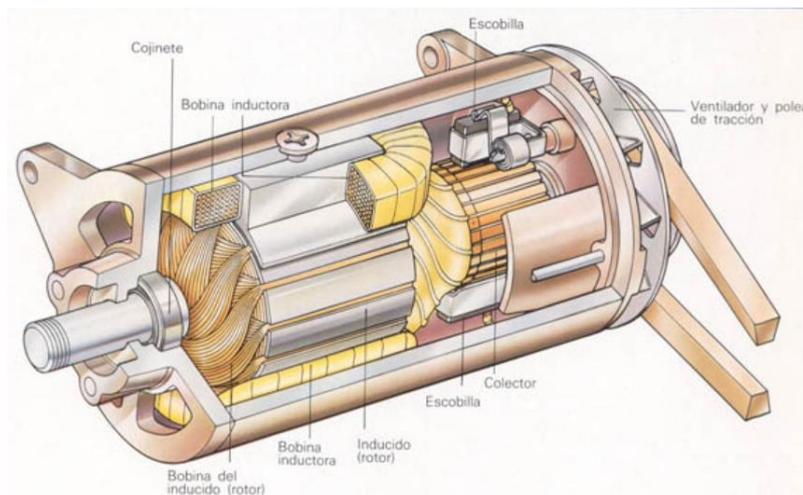


Ilustración I.2.5.1 Vista en sección de una PAU de C.D.

Las ventajas que tiene esta PAU es que tiene una respuesta rápida y puede ocuparse como línea regenerativa para disminuir el consumo de energía eléctrica de la instalación donde se encuentre conectada la PAU.

- **I.2.6. LA UNIDAD DE ABSORCIÓN DE POTENCIA DE C.A.**

La unidad de absorción de potencia de corriente alterna C.A. es similar a una PAU de corriente directa. Las ventajas que tiene respecto a la PAU de C.D. tiene una inercia más baja, lo que permite al dinamómetro hacer cambios de velocidad rápidos, por lo tanto, tiene un nivel de respuesta alto, por otra parte, una de las desventajas es su alto costo, alto uso de energía eléctrica y presenta problemas de FEM.

II.1 LA LEY DE FARADAY

Las primeras observaciones de fenómenos magnéticos, de las que se tienen registros, fueron hechas en una ciudad de Asia Menor llamada Magnesia del Meandro, donde encontraron que existían ciertas piedras cuyas características eran capaces de atraer trozos de hierro, llamándoles imanes naturales.

Hans Christian Ørsted fue un físico y químico danés, conocido por haber descubierto de forma experimental la relación física entre la electricidad y el magnetismo en 1820, cuando observó que una aguja imantada colocada en dirección paralela a un conductor eléctrico se desviaba cuando se hacía circular una corriente eléctrica por el conductor, demostrando así la existencia de un campo magnético, iniciándose el estudio del electromagnetismo, inspirando los desarrollos posteriores de André-Marie Ampère y Faraday.

Las máquinas eléctricas que operan bajo el principio de la inducción. Un campo magnético es un espacio que rodea una carga eléctrica que se mueve a una velocidad “v” dentro de dicho espacio, por lo que la corriente inducida genera un campo magnético a su alrededor. Por tanto, se establece una dependencia de la magnitud del campo magnético “B” en función de la corriente inducida.¹

En 1831 Faraday decía que se podría obtener electricidad a partir de campos magnéticos cambiantes, dando lugar a “La Ley de Faraday o Ley de Inducción”, esta ley establece que, si un flujo de corriente inducida atraviesa una espira de alambre conductor, se inducirá en esta un voltaje directamente proporcional a la tasa de cambio del flujo con respecto al tiempo.

$$e_{ind} = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{Ec. No. 1.1}$$

e_{ind} : FEM Inducida

N : Número de Vueltas de Alambre en la Bobina

Φ : Flujo que Circula en la Bobina

¹ Electricidad y Magnetismo. Autores: Gabriel A. Jaramillo Morales y Alfonso A. Alvarado Castellanos. Editorial Trillas. UNAM Facultad de Ingeniería. Tema: Fuerza de Origen Magnético Sobre Cargas en Movimiento.

El signo menos en la ecuación es una expresión propia de la Ley de Lenz (1804-1865) que explica que “La dirección del voltaje inducido en la bobina es tal que si los extremos de esta estuvieran en cortocircuito, se produciría en ella una corriente que generaría un *flujo opuesto* al flujo inicial”, de una forma más simple, esto quiere decir que cuando el flujo que se aprecia en la *ilustración II.1.1* se incrementa, la tensión eléctrica que se forma en la bobina tiende a crear un flujo que se opone a este crecimiento y por lo tanto, la corriente producirá un flujo con sentido opuesto. Por ello el voltaje inducido en la bobina debe tener la polaridad negativa puesto que este se opone al cambio que lo produce u origina.

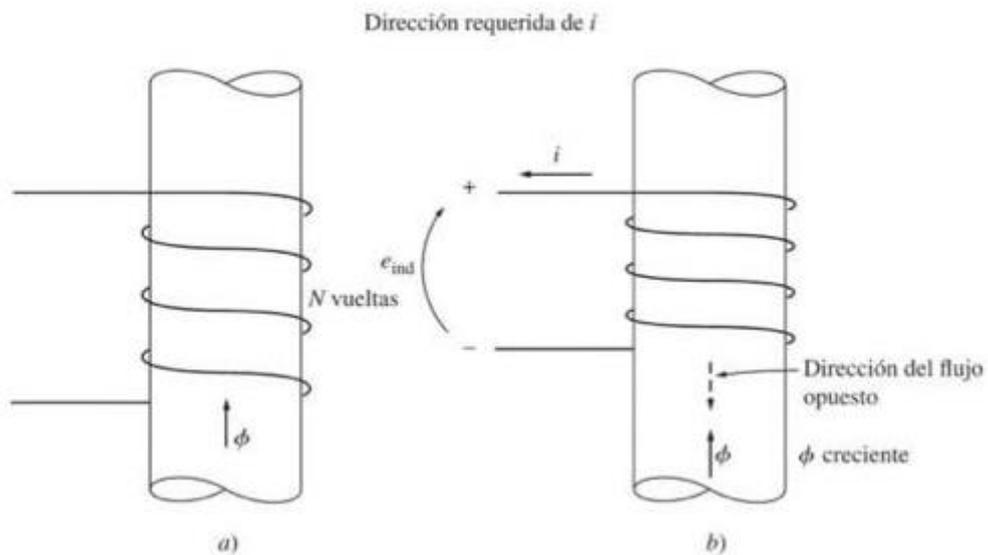


Ilustración II.1.1 Significado de la Ley Lenz. a) Una bobina encierra un flujo magnético creciente. b) Determinación de polaridad del voltaje resultante.

La Ley de Inducción es un fenómeno físico fundamental de los campos magnéticos que intervienen en la operación de los transformadores o bobinas. Lo enunciado en la Ley de Lenz se emplea para inferir la polaridad de los voltajes inducidos en los devanados de un transformador o bobinas.

II.2 ESTRUCTURA DE LAS BOBINAS

La Unidad de Absorción de Potencia (PAU) que se utilizó en este proyecto está constituida por dos arreglos de 6 bobinas cada una (*Ilustración II.2.1*). Los rodamientos interiores de la PAU permiten que el eje gire y la PAU permanezca estática ya que hay

un brazo que está conectado a una celda de carga. Los discos de frenado están unidos al eje. El material de fabricación de los núcleos de las bobinas es de acero de silicio SAE 111, se eligió dicho material debido a que tiene una alta permeabilidad magnética.²

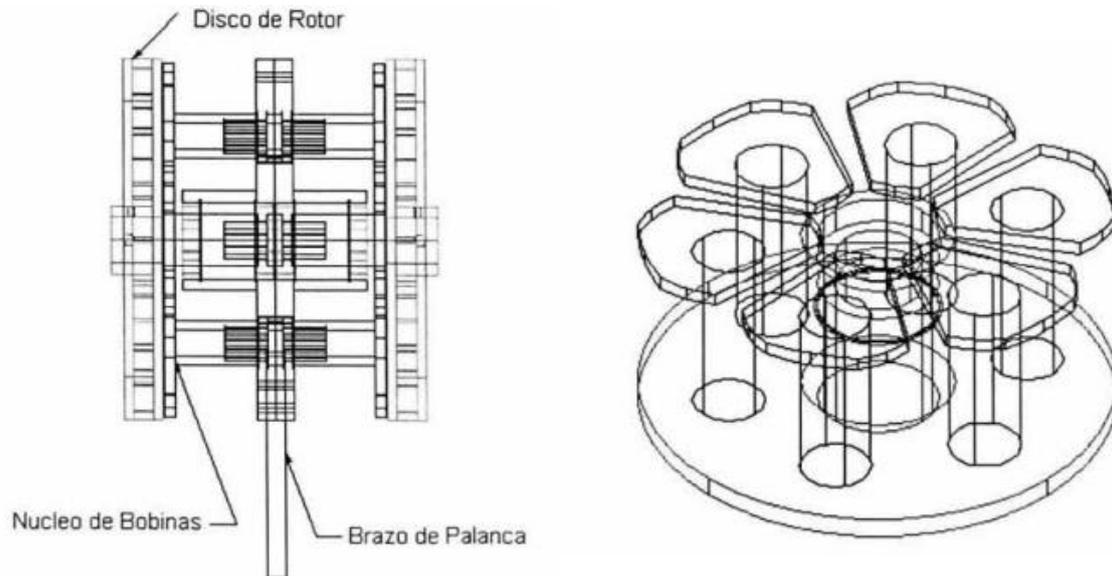


Ilustración II.2.1 Estructura mecánica de la Unidad de Absorción de Potencia

II.2.1 CALIBRE DEL CONDUCTOR

El alambre magneto es un conductor de cobre o aluminio que puede tener forma redonda o rectangular (*Ilustración II.2.1.1*), se encuentra aislado por medio de una película de esmalte. Posee un aislamiento tipo SNS, que consiste en una capa sobrepuesta de poliamida sobre el aislamiento base de alambre poliuretano y esto hace que produzca un buen aislamiento, que combinado a las excelentes características de este material lo vuelve un buen conductor eléctrico, aparte tiene resistencia a la abrasión y buena soldabilidad.

La forma del alambre depende del diseño del ingeniero, puede ser redonda o rectangular, la forma rectangular permite que el ingeniero diseñe un motor con más cobre en la unidad, por otro lado el alambre redondo tiene más espacios vacíos entre los alambres de los devanados.

² Rincón Gómez Pedro Ignacio, Instrumentación e Integración de un Módulo de Ensayos para Motocicletas para el Proyecto de Normativas de Emisiones del GDF. Tesis (Maestría en Ingeniería en Electrónica) UNAM, 2004, pág. 59.



Ilustración II.2.1.1 Alambre Magneto

Alambre para devanados es otro nombre con el que se denomina el alambre magneto muy común en Europa y Asia, en tanto que el término alambre magneto se usa con más frecuencia en América.

Este producto se usa en embobinados de motores, balastos para lámparas fluorescentes, transformadores secos y en aceite, fuentes de poder para equipos eléctricos y electrónicos, motocompresores de refrigeración, relevadores, componentes automotrices como reguladores y alternadores, bulbos para cinescopios de televisores, bocinas y para muchas otras aplicaciones similares.

Algunas de las características del alambre magneto son:

- Soporta altas temperaturas
- Soldabilidad sin la necesidad de eliminar la película aislante
- Excelente facilidad de embobinado
- Excelentes características eléctricas
- Es altamente resistente al flujo termoplástico
- Tiene una alta resistencia a la abrasión
- Resistente al choque térmico
- Excelente característica de conducción cobre esmaltado
- Ofrece una excelente flexibilidad
- Resistente a la humedad
- Resistente a químicos

II.2.2 NÚMERO DE VUELTAS EMPLEADAS EN LAS BOBINAS

Una PAU de corrientes parásitas puede ser comparada con un transformador ideal, ya que sus bobinas se encargan de inducir corriente eléctrica a un dispositivo secundario. En el caso de un transformador ideal se considera un dispositivo sin pérdidas que tiene un devanado primario (entrada) y un devanado secundario (salida) (*Ilustración II.2.2.1*). Las relaciones entre el voltaje primario y el voltaje secundario, y entre la corriente primaria y la corriente secundaria, se describen en dos sencillas ecuaciones, que se utilizaron en el proyecto para así obtener el número de vueltas de alambre de las bobinas que se tenían.

$$\frac{V_P(t)}{V_S(t)} = \frac{N_P}{N_S} = a \quad \text{Ec. No. 2.1}$$

$V_P(t)$: Voltaje Primario del Transformador en función del tiempo.

$V_S(t)$: Voltaje Secundario del Transformador en función del tiempo.

N_P : No. De vueltas de alambre del lado Primario del Transformador.

N_S : No. De vueltas de alambre del lado Secundario del Transformador.

a : La relación de transformación del transformador.

$$a = \frac{N_P}{N_S} \quad \text{Ec. No. 2.1.2}$$

Recordando que la relación de vueltas del transformador ideal afecta las magnitudes de los voltajes y corrientes pero no sus ángulos, estos siempre tendrán el mismo ángulo fasorial.

Al conocer el número de vueltas de alambre del lado secundario, el voltaje del lado primario y secundario, se pudo obtener el número de vueltas del lado primario, ocupando la Ec. 2.1.3

$$N_P = \frac{V_P(t)}{V_S(t)} * N_S \quad \text{Ec. No. 2.1.3}$$

La relación entre la corriente $i_P(t)$ que fluye del lado primario del transformador y la corriente $i_S(t)$ que sale del lado secundario del transformador se obtiene con la Ec. 2.1.2

$$N_P i_P(t) = N_S i_S(t) \quad \text{Ec. No. 2.2}$$

$$\frac{i_p(t)}{i_s(t)} = \frac{1}{a}$$

Ec. No. 2.2.2

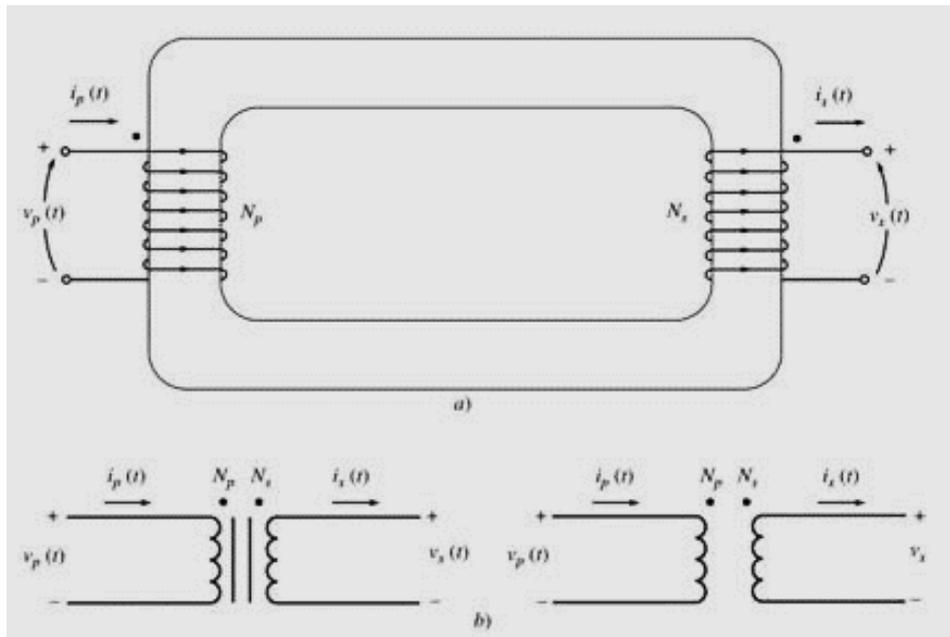


Ilustración II.2.2.1 a Dibujo de un Transformador Ideal b) Símbolos esquemáticos de un transformador, a veces el núcleo de hierro se muestra en el símbolo y a veces no.

II.3 EFECTO DE LOS ENTREHIERROS

El entrehierro es la región situada en el aire entre los dos polos magnéticos de un imán o de un electroimán (*Ilustración II.3.1*). El entrehierro introduce en el circuito magnético del imán una reluctancia magnética, es decir, una resistencia al paso de un flujo magnético cuando es influenciado por un campo magnético (*Ilustración II.3.2*).

La estructura de campo en un entrehierro depende de la forma de las superficies polares enfrentadas. El campo es prácticamente uniforme si estas superficies son planas, paralelas y están cercanas una de la otra a una distancia de milímetros.

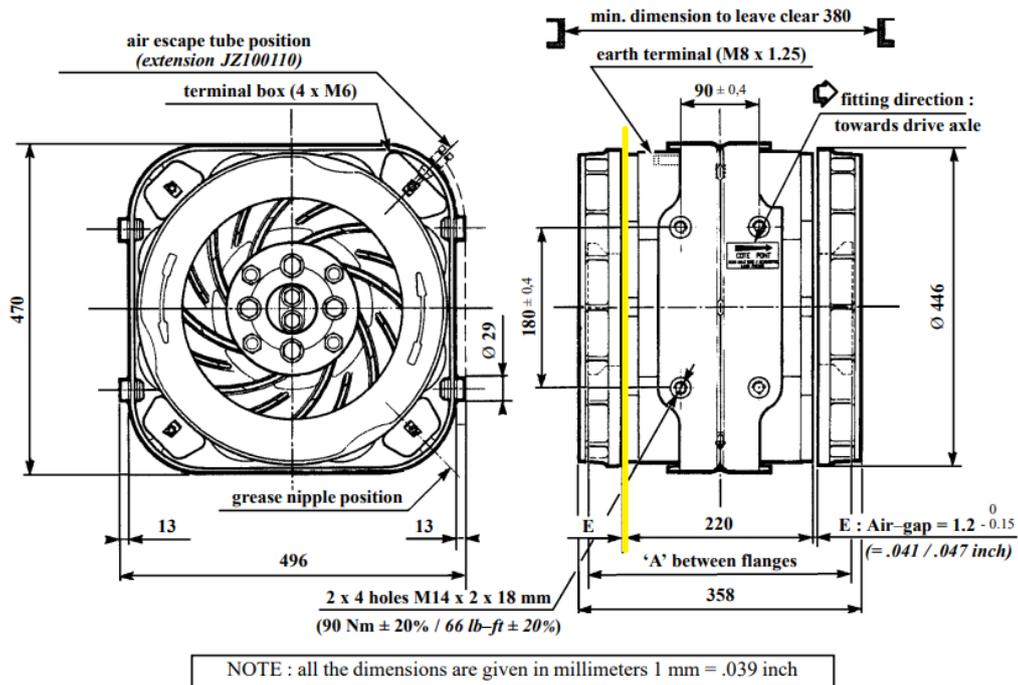


Ilustración II.3.1 Detalle de uno de los Entrehierro en la PAU de Corrientes Parasitas (Franja Amarilla)

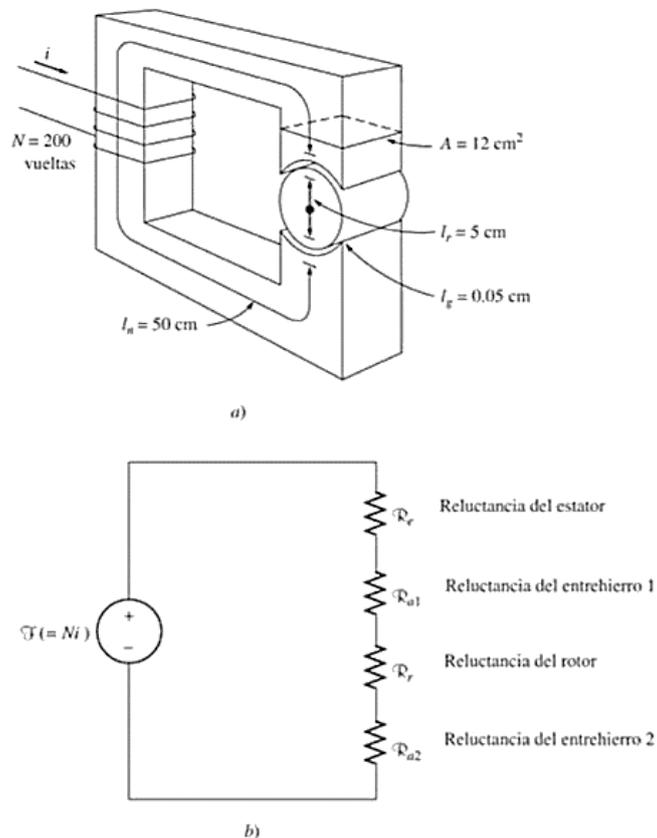


Ilustración II.3.2 a) Diagrama simplificado de un Rotor y un Estator de motor C.D. b) Circuito Magnético Equivalente.

II.4 LA CONFIGURACIÓN DE CONEXIÓN DE LAS BOBINAS

La disposición de bobinas en configuración serie o paralelo en un circuito de una PAU es importante porque modifican la impedancia del conjunto completo de bobinas y con ello la capacidad de corriente y tensión eléctrica que puede manejar.

Se dice que los inductores están conectados en paralelo cuando dos terminales de un inductor respectivamente están conectados a cada terminal de otros inductores o inductor (*Ilustración II.4.1*). Cuando los inductores están conectados en paralelo, el flujo de corriente a través de cada inductor es menor a la corriente total que suministra la fuente, ya que la suma de cada corriente individual a través de inductores paralelos equivale a la corriente total (ya que se divide entre los inductores que están en paralelos).

Dado que el flujo de corriente a través de cada inductor es menor que la corriente total, el campo magnético generado por cada inductor en una configuración en paralelo también es menor. Como se puede observar en la *Ilustración II.4.1*, que es un circuito con inductores en paralelo.

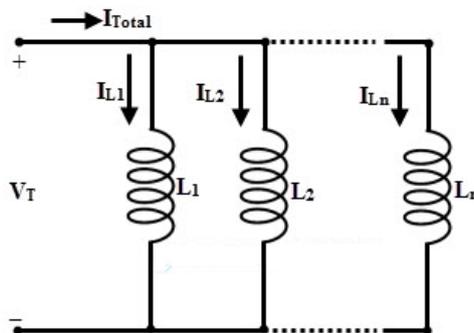


Ilustración II.4.1 Circuito en Paralelo con Elementos Inductores

Se dice que los inductores están conectados en serie cuando la conexión es de extremo a extremo de dos o más inductores, por lo que aumentan las vueltas efectivas del inductor, por lo que la inductancia equivalente de los inductores conectados en serie se calcula como la suma de las inductancias individuales de cada bobina. Esta conexión en serie es similar a la de las resistencias conectadas en serie. Como se puede observar en la *Ilustración II.4.2*, que es un circuito con inductores en serie.

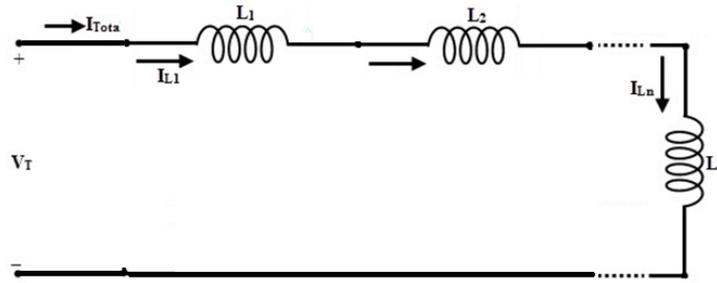


Ilustración II.4.2 Circuito en Serie con Elementos Inductores

En la *Ilustración II.4.3* (a) se muestra que los inductores que están posicionados en forma paralela y tienen la misma dirección de flujo magnético por lo que ambos flujos magnéticos se sumarán, mientras que en el (b) siguen estando los inductores en forma paralela pero no tienen la misma dirección de flujo magnético por lo que los flujos magnéticos se restarán.

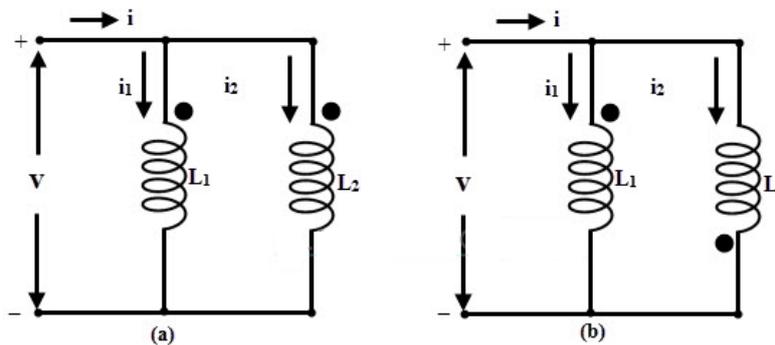


Ilustración II.4.3 Diferente Arreglos Circuito en Paralelo

En la *Ilustración II.4.4* (a) se muestra que los inductores que están posicionados en forma serie y tienen la misma dirección de flujo magnético por lo que ambos flujos magnéticos se sumarán, mientras que en el (b) siguen estando los inductores en conexión en serie pero no tienen la misma dirección de flujo magnético por lo que los flujos magnéticos se restarán.

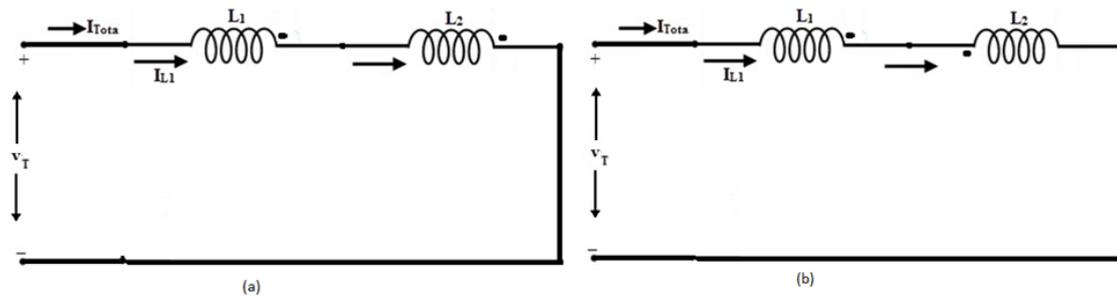


Ilustración II.4.4 Diferente Acoplamiento Magnético en Circuito Serie

En el *Diagrama II.4.1* se puede observar la configuración utilizada en la PAU ya que es un circuito en serie donde sus inductores mantienen un mismo sentido de flujo magnético para así obtener la máxima inductancia total que puedan proveer estos.

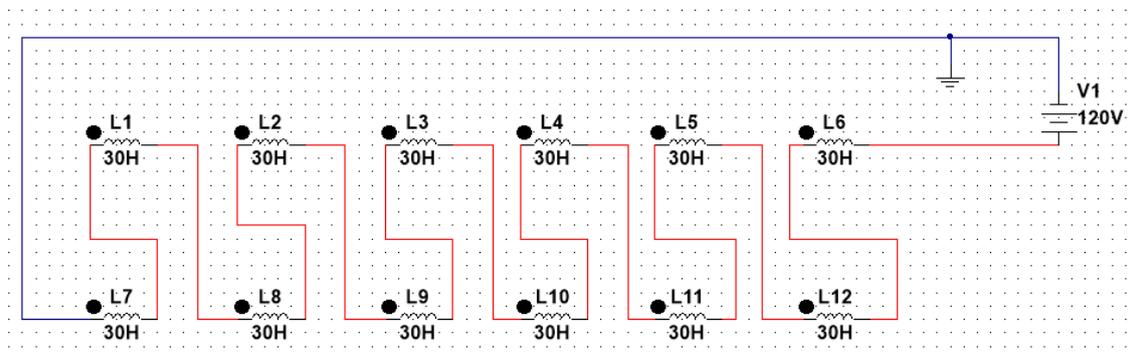


Diagrama II.4.1 Configuración utilizada en la PAU hecho en el programa Multisim

II.5 MATERIALES FERROMAGNETICOS

Un material ferromagnético es aquel que puede presentar ferromagnetismo. El ferromagnetismo es un fenómeno físico en el que se produce ordenamiento magnético de todos los momentos magnéticos de una muestra, en la misma dirección y sentido.

En los últimos 40 años se han desarrollado varios materiales magnéticos nuevos, que tienen las características deseadas para fabricar imanes permanentes. El núcleo de las bobinas o transformadores es de hierro, o de ciertos materiales similares llamados ferromagnéticos. Los principales tipos de materiales son los ceramicomagnéticos (ferrita) y los materiales magnéticos de tierras raras como lo son: el Boro, Alnico 5 y Cobalto. La ferrita es un compuesto formado con polvo de óxido de hierro mezclado con otros componentes y revestido con material aislante, el cual se aglutina y comprime hasta quedar en forma sólida.

En los materiales ferromagnéticos la permeabilidad varía con la cantidad de flujo que existe desde antes en el material, en el supuesto de que en el recorrido del flujo en el núcleo existan entrehierros (discontinuidades físicas en un circuito magnético), la sección efectiva del entrehierro será mayor que la del núcleo en cada lado del entrehierro. La sección extra efectiva se debe al “efecto marginal” del campo magnético en el entrehierro. Es decir, para obtener un campo eléctrico mayor, o de mayor intensidad, es necesaria una corriente mayor.

El efecto marginal es el incremento de flujo magnético en el área transversal de un embobinado, es ocasionado por la introducción de un entrehierro, este efecto se puede despreciar solo si la longitud del entrehierro es menor comparada a las dimensiones del núcleo, como se puede observar en la *ilustración II.5.1*.

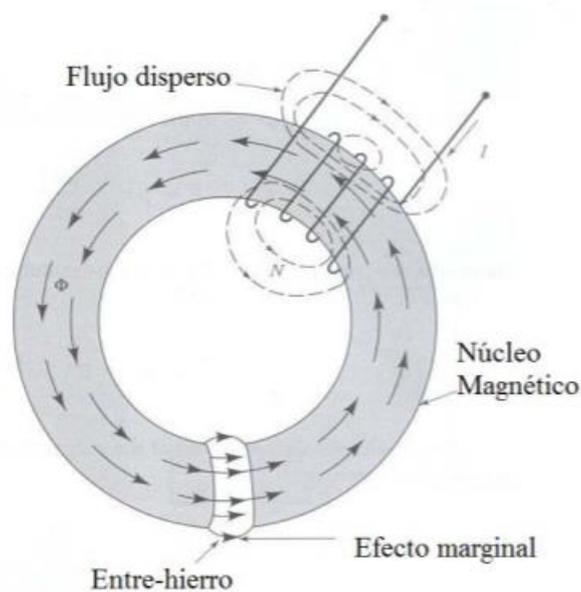


Ilustración II.5.1 Efecto Marginal

III.1 USO DE UN AUTOTRANSFORMADOR

Un autotransformador (*Ilustración III.1.2*) es un tipo de transformador eléctrico donde el primario y el secundario comparten el mismo devanado único común. En otras palabras, se trata de un transformador de una sola bobina. El autotransformador es similar a un transformador de dos devanados pero difiere en la forma en que el devanado primario y secundario están interrelacionados, se puede construir con más de un solo punto de toma. Estos pueden utilizarse para proporcionar diferentes niveles de tensión a lo largo de su devanado con respecto a su voltaje suministrado V_P como se muestra en la *Ilustración III.1.1*.

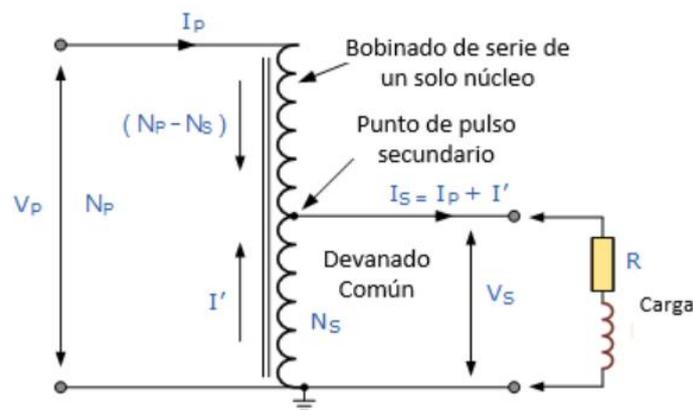


Ilustración III.1.1 Conexión de un Autotransformador Reductor

La fabricación de un autotransformador variable es un devanado primario enrollado alrededor de un núcleo magnético laminado como lo es también en el autotransformador, pero en lugar de fijarse en un punto de toma específico, la tensión secundaria se toma a través de una escobilla de carbón.

Esta escobilla de carbón se desliza de un extremo a otro en el devanado primario que controla la longitud del devanado secundario, por lo que la tensión de salida secundaria es completamente variable desde la tensión nominal hasta llegar incluso a los cero volts, por lo tanto es un regulador de voltaje. Los autotransformadores normalmente son utilizados:

- Para arrancar motores de inducción y síncronos para proporcionar hasta el 50 a 60% del voltaje total al estator del motor durante el arranque.

- Para dar un pequeño impulso a la distribución de un cable, compensando las caídas de voltaje.
- En sistemas de distribución en zona rural donde las distancias son largas, se pueden utilizar autotransformadores con relaciones alrededor de 1:1 con el objetivo de compensar las apreciables caídas de tensión en los extremos de la línea aprovechando la multiplicidad de tomas para variar la tensión de alimentación.
- Se utiliza en el sistema de transmisión y distribución de energía.



Ilustración III.1.2 Autotransformador Variable

En el proyecto el autotransformador se utilizó para suministrar y variar los niveles de voltaje desde 0 hasta 120 volts en corriente alterna, para posteriormente ser rectificada por un puente de diodos y así volver la señal alterna en señal directa con la función de aumentar o disminuir la intensidad de corriente eléctrica directa que fluía por las bobinas de la PAU para inducir corrientes eléctricas parásitas con el fin de lograr un aumento de resistencia, creando así un torque opuesto al del motor de combustión interna.

III.2 PRUEBA PARA MEDICION DE FLUJO MAGNÉTICO

En la prueba para medición de flujo magnético se utilizó un Gaussmetro (*Ilustración III.2.1*), este instrumento especializado para la inspección y comprobación de la densidad de flujo magnético. Un Gaussmetro mide densidad de flujo magnético y la fuerza de campo en Gauss (G), Tesla (T) y Ampere/metro (A/m).



Ilustración III.2.1 Gaussmetro

El Gaussmetro está equipado con una Sonda Hall (*Ilustración III.2.2*), este es un accesorio, que es un cable que transporta las ondas de efecto Hall hasta el Gaussmetro donde será medido flujo magnético.



Ilustración III.2.2 Sonda Hall

La punta de sonda Hall es colocada en el área de la superficie de cada una de las bobinas de la unidad de absorción de potencia (PAU) donde va a ser medido el flujo de campo magnético.

El procedimiento a seguir:

- Se verificó la continuidad de la corriente eléctrica en cada una de las bobinas.
- Se calibró el gaussmetro para que marcara una lectura de cero.
- Se alimentó con C.D a cada bobina de la PAU de forma individual.
- Posteriormente se procedió a medir el flujo magnético haciendo contacto físico con la punta del sensor de efecto Hall ubicando la misma en el centro del área de uno de los extremos del núcleo de la bobina como se muestra en la *Ilustración III.2.3*.
- Se registró cada una de las mediciones comprobando que todas tenían un valor similar entre sí.



Ilustración III.2.3 Medición de Flujo Magnético en la PAU

III.3 PRUEBA PARA MEDICION DE CORRIENTE EN EL BOBINADO

En la prueba para medición de corriente en el bobinado se utilizó un amperímetro de gancho, instrumento especializado para mediciones eléctricas en especial para medir la intensidad de corriente eléctrica, sin el inconveniente de abrir o interrumpir el circuito, como ocurriría con un amperímetro convencional, puede tener otras aplicaciones aparte para realizar otras mediciones eléctricas como tensión y resistencia.

El funcionamiento se basa en la medición indirecta de la corriente que circula por un conductor a partir del campo magnético o de los campos que dicha circulación de corriente genera.

El procedimiento a seguir:

- Se verificó la continuidad de la corriente eléctrica en cada una de las bobinas.
- Se procedió a conectar el circuito con todas las bobinas conectadas en serie como se aprecia en el *Diagrama III.3.1* para tener la mayor impedancia del sistema.
- Se conectó el autotransformador al rectificador de onda completa para alimentar el circuito con corriente directa como se aprecia en el *Diagrama III.3.1*.
- Posteriormente se alimentó con una tensión de línea desde 0 volts hasta 120 volt de forma progresiva, y a su vez se iban observando los valores de corriente eléctrica y tensión hasta llegar al valor máximo, mediante el uso de un amperímetro de gancho y un voltímetro. La intención de esta prueba fue monitorear el comportamiento de la corriente eléctrica para que verificara que no sobrepasara la magnitud que soporta el calibre del conductor.

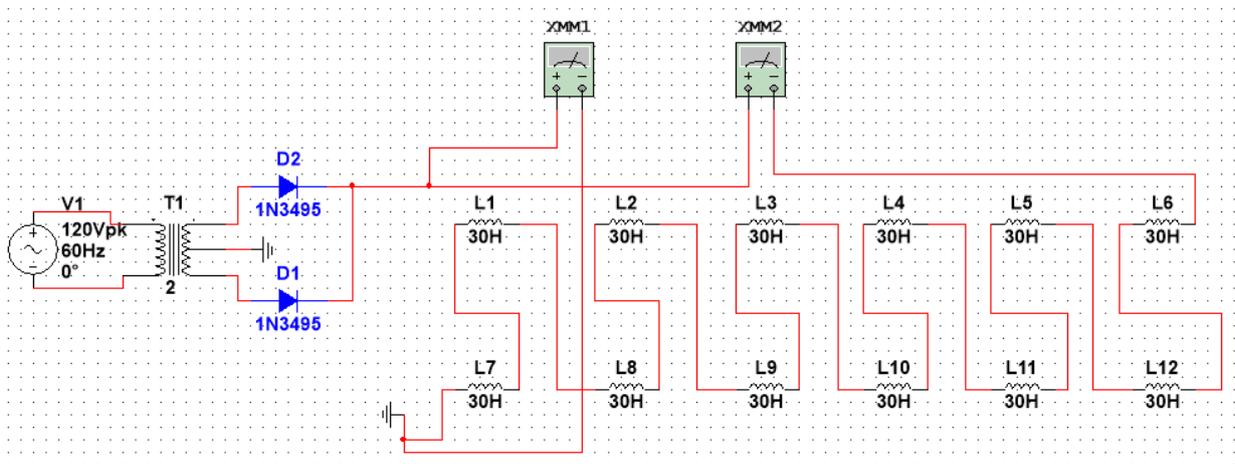


Diagrama III.3.1 Circuito utilizado en la PAU hecho en el programa Multisim

De esta forma se comprobó que la magnitud de la corriente no sobrepasará la capacidad del calibre de las bobinas.

IV.1 LA MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO PWM

La capacidad de frenado de la unidad de absorción de potencia tipo Eddy o de corrientes parásitas depende de la intensidad de flujo de corriente eléctrica que induce a las bobinas del estator. Esta PAU trabaja con corriente directa por lo que es necesario una etapa de convertidor de corriente alterna a corriente directa (C.A – C.D), esta etapa se realiza con ayuda del rectificador de onda completa como se muestra en el *Diagrama IV.1.1*.

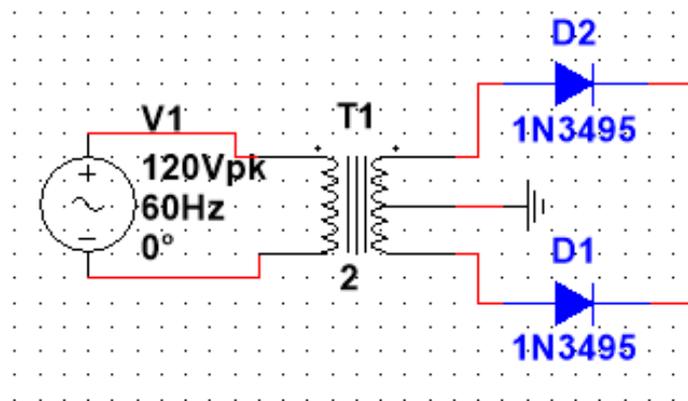


Diagrama IV.1.1 Circuito convertidor de corriente alterna a corriente directa (C.A – C.D) (Puente de Diodos) utilizado en la PAU hecho en el programa Multisim

Para obtener el control de la magnitud de corriente inducida por las bobinas del estator que regula el efecto de freno de la PAU se utilizó una señal de P.W.M. (modulación por ancho de pulso por sus siglas en inglés Pulse Width Modulation), esta señal es utilizada con frecuencia en sistemas de control, para modular la cantidad de energía que se envía al sistema. La señal de PWM, consiste en una señal periódica de forma cuadrada de frecuencia constante y con ciclo de trabajo variable.

En este proyecto para poder rectificar el suministro eléctrico de 110 V.A.C. el sistema de modulación de ancho de pulso requiere sincronizarse con la frecuencia de la corriente alterna para que el suministro eléctrico siempre sea constante en el tiempo. Para esta tarea se emplea un circuito detector de cruce por cero que le va a indicar al sistema donde se encuentra el ángulo cero, que servirá como ángulo de referencia.

IV.2 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO MODULADOR

En el desarrollo de este trabajo de tesis se implementó un circuito modulador de ancho de pulso de tipo analógico. Se seleccionó esta tecnología analógica por su simplicidad y economía con la que es posible modular el suministro eléctrico de la PAU de forma manual. Cabe mencionar que también es posible generar una señal de PWM mediante el empleo de dispositivos digitales, pero esta es más recomendable para sistemas automáticos.

El sistema modulador de ancho de pulso consta de por cuatro etapas:

- Etapa detectora de cruce por cero.
- Etapa generadora de rampa lineal.
- Etapa de comparador (Modulador básico).
- Etapa de potencia.

IV.2.1. EL GENERADOR DE CRUCE POR CERO

Los detectores de cruce por cero son vitales en la transmisión de señales digitales a través de los circuitos de corriente alterna, tal como los módems u otros aparatos digitales.

Para generar la señal de cruce por cero se utilizó un comparador analógico LM339, el detector de cruce por cero funciona de la siguiente manera: primero se utiliza un transformador con el fin de utilizar una señal de baja tensión con la misma forma y frecuencia que la corriente eléctrica de 110 V.A.C; dicha señal es rectificadas de onda completa, como se muestra en la *Ilustración IV.2.1.1* y es comparada con un voltaje cercano a cero (*Diagrama IV.2.1.1* del circuito utilizado en el proyecto de la PAU) para que se detecte cada cruce por cero. De esta forma, el detector de cruce por cero genera un tren de pulsos, sincronizados con el doble de la frecuencia del suministro eléctrico como se observa en la *Ilustración IV.2.1.2* y *Ilustración IV.2.1.3*.

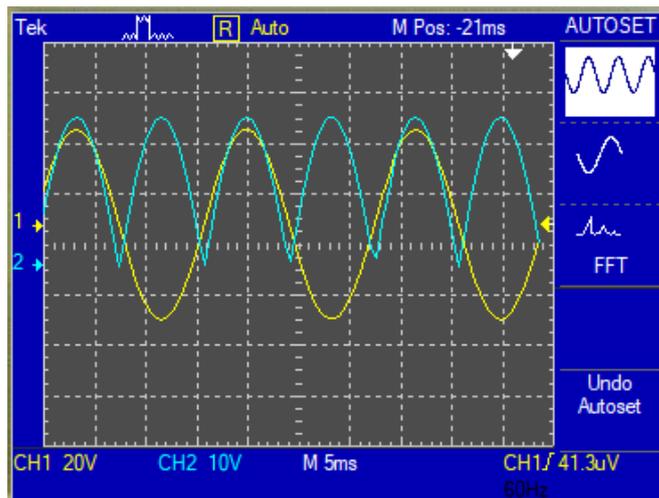


Ilustración IV.2.1.1 Comparación de la señal de entrada (Amarilla) contra la señal rectificada de onda completa por el puente de diodos (Azul) hecho en el programa Multisim.

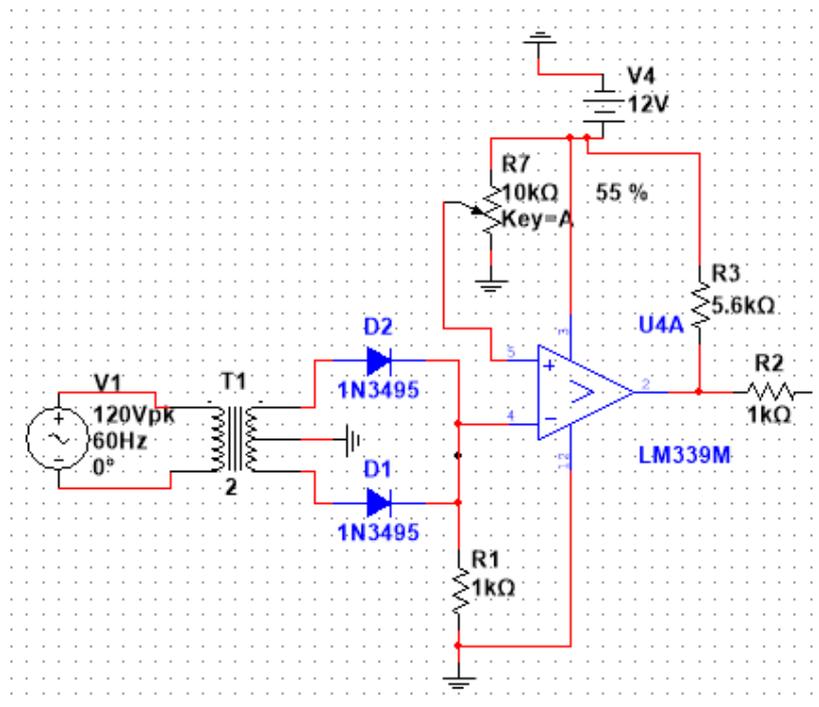


Diagrama IV.2.1.1 Circuito detector de cruce por cero utilizado en la PAU hecho en el programa Multisim

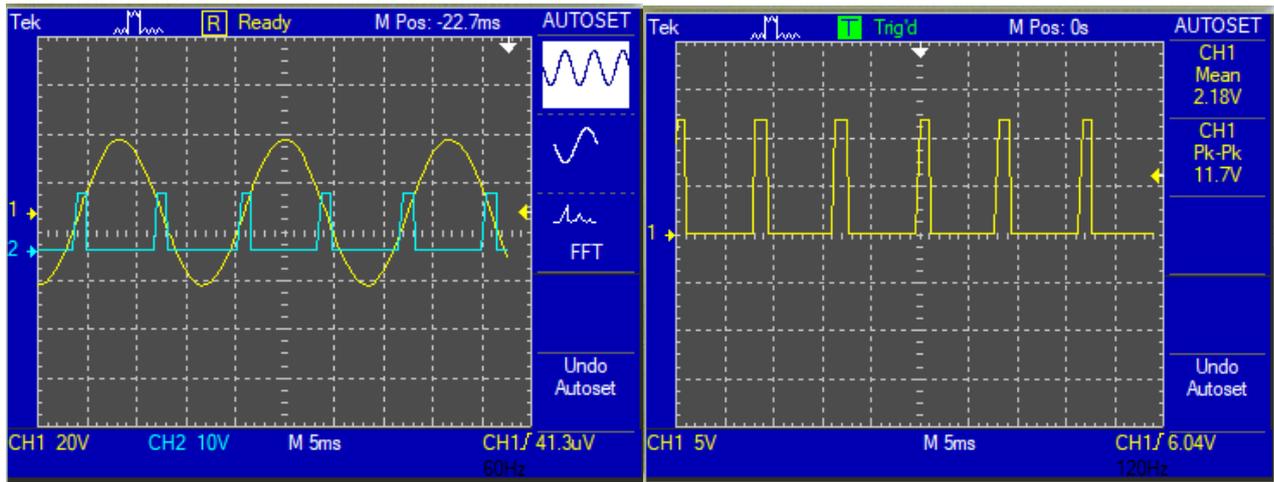


Ilustración IV.2.1.2 y Ilustración IV.2.1.3 Detector de Cruce por Cero (Izquierda) y Tren de Pulsos (Derecha) hecho en el programa Multisim.

IV.2.2. ETAPA GENERADORA DE RAMPA LINEAL

Haciendo uso de un circuito integrador (*Diagrama IV.2.2.1*), el tren de pulsos sirve para generar una señal triangular de rampa que también se encuentra sincronizada a la misma frecuencia del tren de pulsos y por lo tanto al doble de la frecuencia del suministro eléctrico de corriente alterna.

Esta señal de rampa en realidad es una función lineal de pendiente constante con la que se puede identificar cada ángulo de fase si se conoce el potencial de la misma en un momento dado, como se observa en la simulación de la *Ilustración IV.2.2.1*.

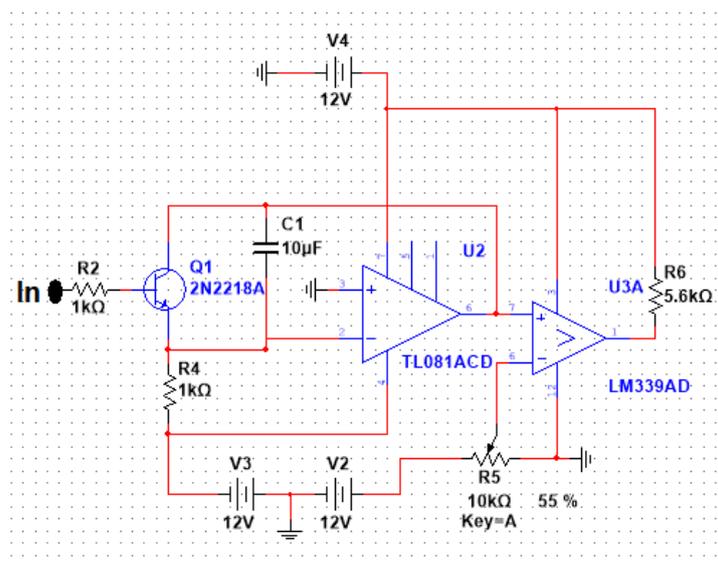


Diagrama IV.2.2.1 Circuito Integrador generador de Señal Triangular de Rampa hecho en el programa Multisim.

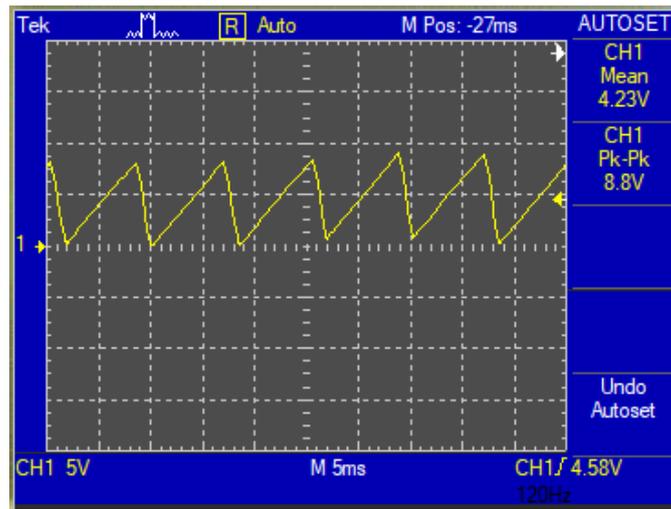


Ilustración IV.2.2.1 Señal Triangular Generada por el Circuito Integrador hecho en el programa Multisim.

IV.2.3. ETAPA DE COMPARADOR (MODULADOR BÁSICO)

El modulador básico, es un comparador de voltaje que genera un tren de pulsos cuyo ancho depende tanto del voltaje de referencia que se tenga como entrada como se observa en la *Diagrama IV.2.3.1*, como de la función rampa generada con anterioridad. El comparador lo que hace es detectar el ángulo de fase de la rampa por medio de un voltaje de corriente directa. De esta manera se genera una señal cuadrada sincronizada con el doble de la frecuencia del suministro eléctrico de 110 V.A.C. cuyo ciclo de trabajo puede variarse a voluntad como se puede observar en la simulación de la *Ilustración IV.2.3.1*.

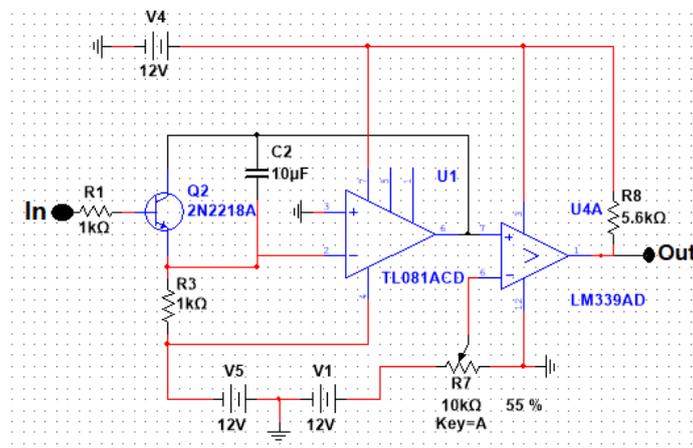


Diagrama IV.2.3.1 Circuito Comparador de Voltaje hecho en el programa Multisim.

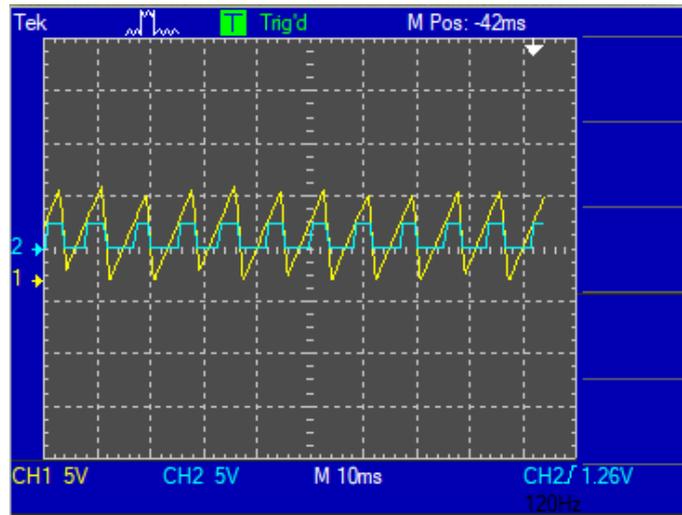


Ilustración IV.2.3.1 Comparación de la señal Triangular Generada por el Circuito Integrado (Amarilla) contra la señal de Tren de Pulsos (Azul) hecho en el programa Multisim.

IV.2.4. ETAPA DE POTENCIA

En la etapa de potencia se empleó un relevador de estado sólido modelo *RS3-1D40-21* (Ilustración IV.2.4.1). Este dispositivo electrónico conmuta el paso de la corriente eléctrica por medio de una señal control PWM que se encuentre en el intervalo de 3 volts a 32 volts y puede soportar voltajes de salida en un intervalo de 24 a 280 V A.C. El acoplamiento de la señal de control con la etapa de potencia se describe a continuación.



Ilustración IV.2.4.1 Relevador de Estado Sólido Modelo *RS3-1D40-21*.

A continuación se muestra la secuencia de señales involucradas en la generación de la señal de PWM a partir de la forma de onda del suministro eléctrico 110 V A.C. a 60 Hz (Ilustración IV.2.4.2).

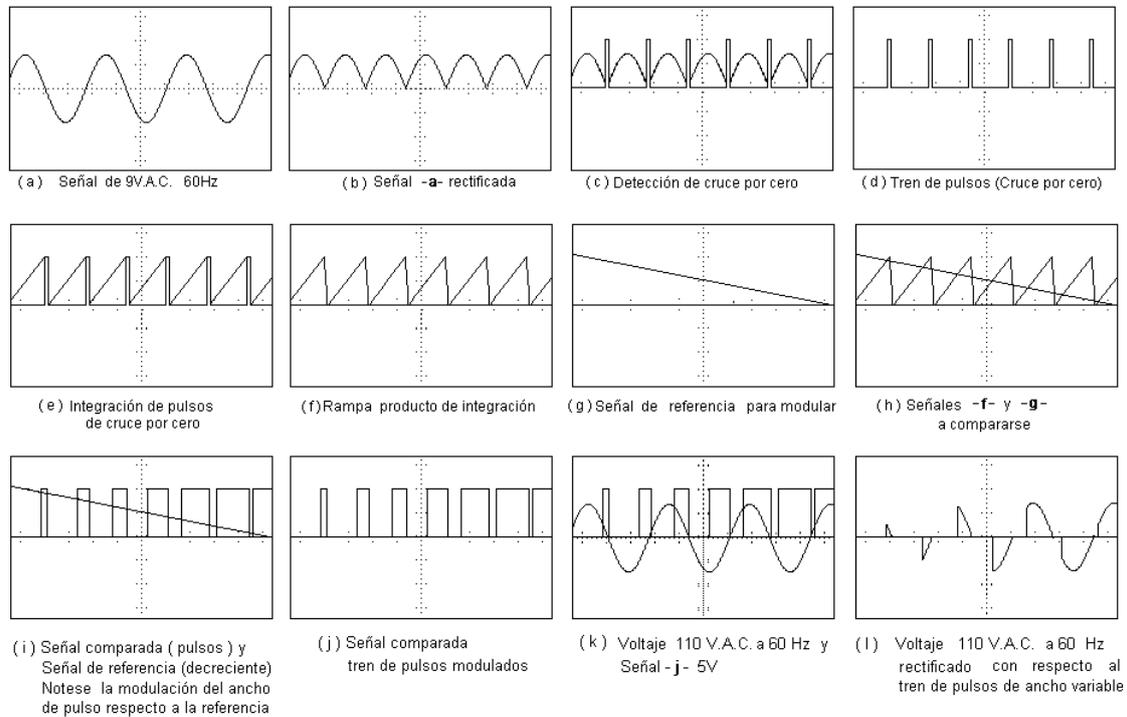


Ilustración IV.2.4.2 Proceso de Modulación de Ancho de Pulso y Rectificación

En una línea proveniente del suministro de corriente alterna de 110 V A.C se conecta el relevador de estado sólido en serie a través de las terminales 1 y 2 hacia el devanado primario del transformador, en la terminal 3 se conectó la señal PWM y en la terminal 4 se conecta la referencia a tierra del circuito analógico generador de la señal PWM, como se aprecia en el *Diagrama 7*. La salida del devanado secundario del transformador se conectó a las terminales AC del puente rectificador de onda completa trifásico de potencia, modelo *MDS-100A-1600V* (Ilustración IV.2.4.3), y la señal rectificada se conectó a la PAU.



Ilustración IV.2.4.3 Puente Rectificador de Onda Completa Trifásico de Potencia modelo MDS-100A-1600V.

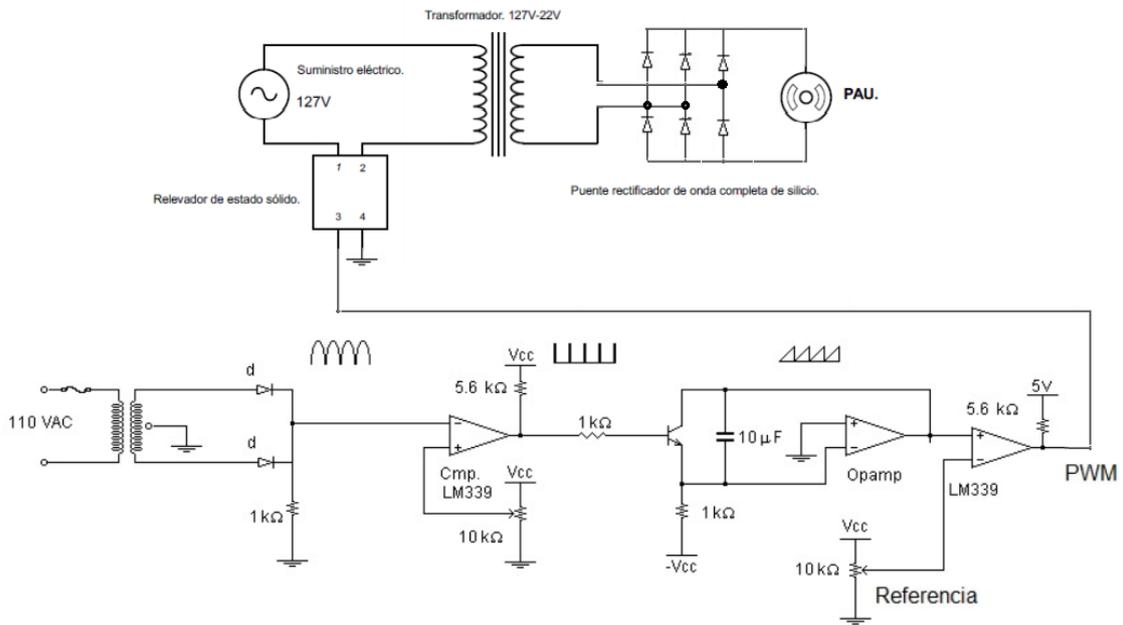


Diagrama IV.2.4.1 Aspecto de la conexión del Rectificador de onda completa Trifásico

CAPÍTULO V INTEGRACIÓN Y PRUEBAS

V.1 PRUEBAS AL SISTEMA

- **PRUEBA DEL SISTEMA PARA CONTROL DE CORRIENTE**

La evaluación de la etapa de modulación de corriente se hizo utilizándola con una carga resistiva que consistió en una lámpara incandescente de manera que se empleara como un *dimmer*.

Un *Dimmer* (en inglés *dimmer* significa regulador de intensidad y/o voltaje) es un aparato electrónico que generalmente se utiliza para regular el nivel de luz de uno o varios puntos de luz, por ejemplo: ya sea de un reflector de luz incandescente o Led.

En un *dimmer* se procesa una onda de tensión en corriente alterna de tipo senoidal. Éste corta parte de la forma de onda sinusoidal de la tensión de red en mayor o menor medida para atenuar el flujo luminoso incluso del 1% al 100% (este valor depende del *dimmer* y del controlador).

PROCESO DE EVALUACIÓN.

- Se conectó al suministro eléctrico de corriente alterna el transformador y a su vez el puente rectificador de onda completa para suministrar corriente directa al circuito electrónico, como se puede observar en el *Diagrama V.1.1*.

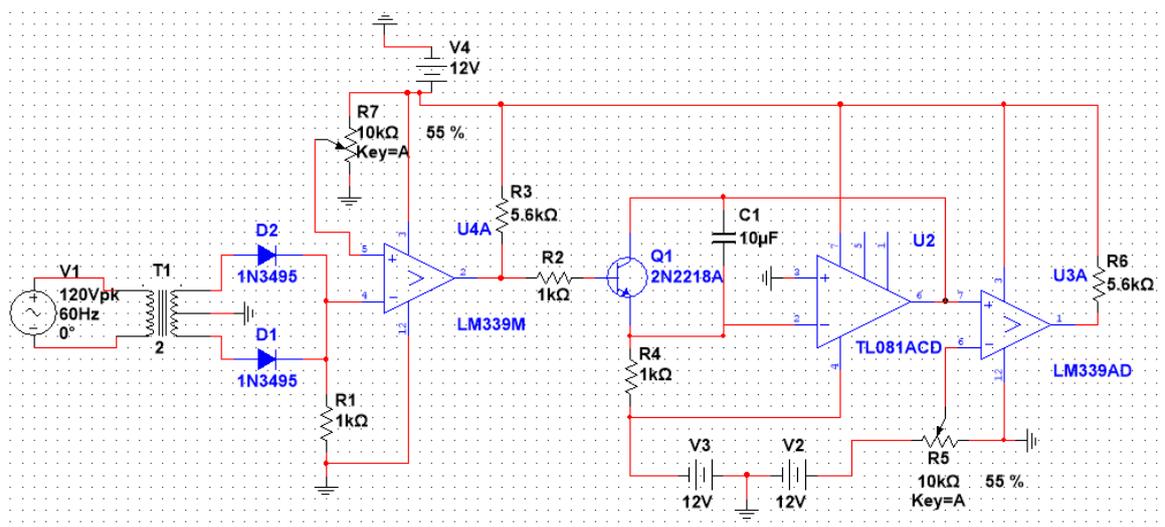


Diagrama V.1.1 Circuito Regulador de voltaje (Dimer) hecho en el programa Multisim.

- Se verificó con un osciloscopio la señal de cada etapa del circuito electrónico hasta llegar a la señal de salida, para así verificar que el circuito electrónico estuviera dando un buen funcionamiento, como se observa en el *Diagrama V.1.2*.

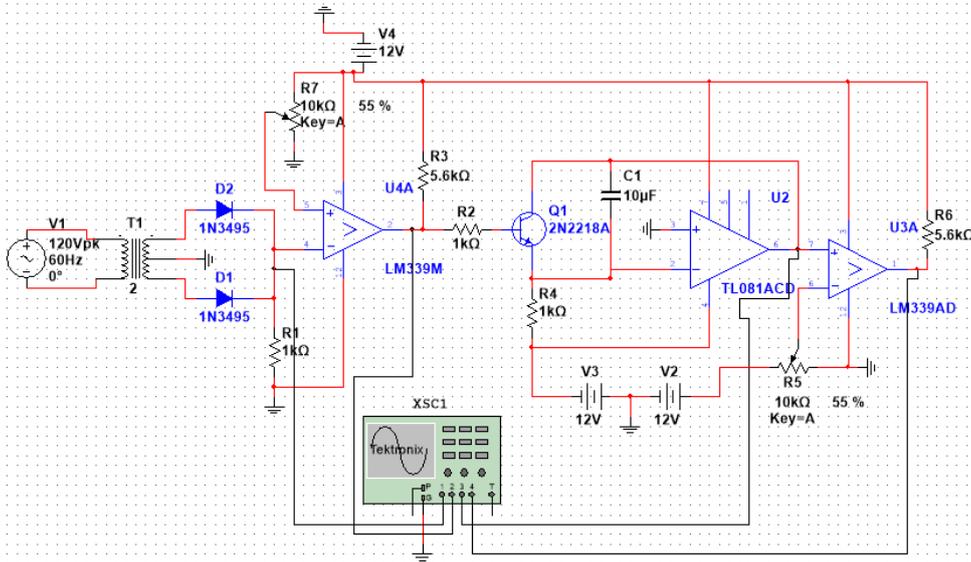


Diagrama V.1.2 Verificación de señales del Circuito Regulador de Voltaje (Dimer) hecho en el programa Multisim.

- Se verificaron los niveles de tensión eléctrica con el multímetro desde el suministro eléctrico y todas las etapas del circuito electrónico.
- Después de verificar que todo estuviera en un buen funcionamiento, se dispuso a conectar la carga (foco), como se observa en el *Diagrama V.1.3*.

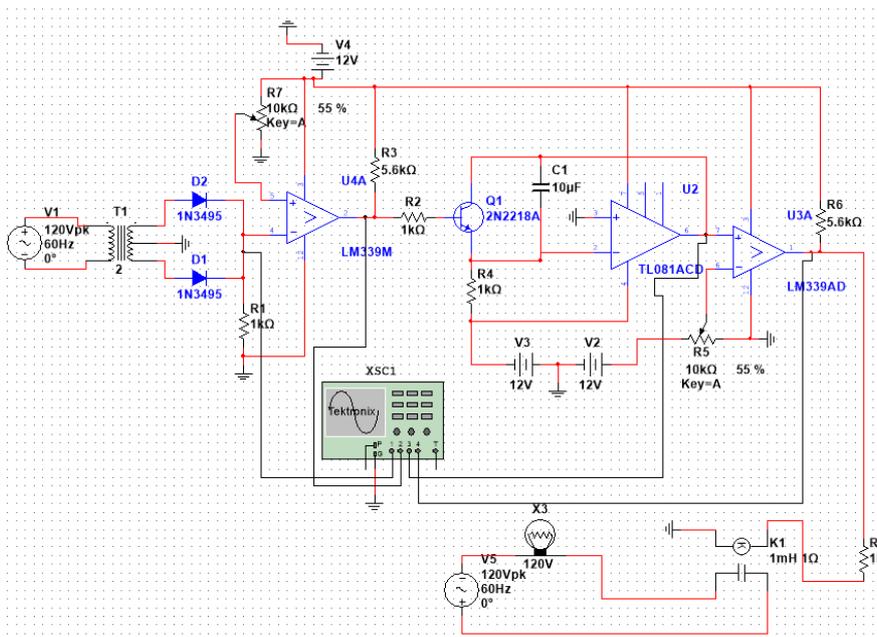


Diagrama V.1.3 Circuito Regulador de Voltaje (Dimer) con carga (foco), (el elemento K1 es un Relevador de Estado Solido), hecho en el programa Multisim.

- Ya conectándose la carga (foco) a todo el circuito, se manipularon los potenciómetros para así variar las señales y de esta manera poder observar los niveles de intensidad lumínica que irradiaban del foco.
- Se observó todo el campo de irradiación que proporciona el foco, desde estar apagado hasta dar toda su potencia lumínica.
- Por último, se observaron los voltajes y corrientes de entrada y salida con el multímetro y con el osciloscopio y se verificó el cambio de amplitud y frecuencia de la señal mientras se manipularon los potenciómetros para así variar los niveles de intensidad lumínica que irradiaban del foco.

- **PRUEBA DEL SISTEMA DE CONTROL DE INTENSIDAD DE FRENO**

El proceso de prueba del sistema de control de intensidad de freno es prácticamente igual al proceso de prueba del sistema para control de corriente (foco), lo único en lo que es diferente un proceso con el otro es la carga a la que se conecta ya que en el primer proceso la carga es el foco y se varía la intensidad lumínica que irradia del foco, mientras que en este proceso variamos la intensidad de freno de la PAU.

- Se conectó al suministro eléctrico de corriente alterna el transformador y a su vez el puente rectificador de onda completa para suministrar corriente directa al circuito electrónico, como se observa en la *Ilustración V.1.1*.



Ilustración V.1.1 Conexión al suministro eléctrico de corriente alterna.

- Se verificó con un osciloscopio la señal de cada etapa del circuito electrónico hasta llegar a la señal de salida, para así verificar que el circuito electrónico estuviera dando un buen funcionamiento.
- Se verificaron los niveles de tensión eléctrica con el multímetro desde el suministro eléctrico y todas las etapas del circuito electrónico.
- Después de verificar que todo estuviera en un buen funcionamiento, se dispuso a conectar la PAU (*Ilustración V.1.2*), la conexión de todos los componentes es la siguiente que se observa en el *Diagrama V.1.4*.

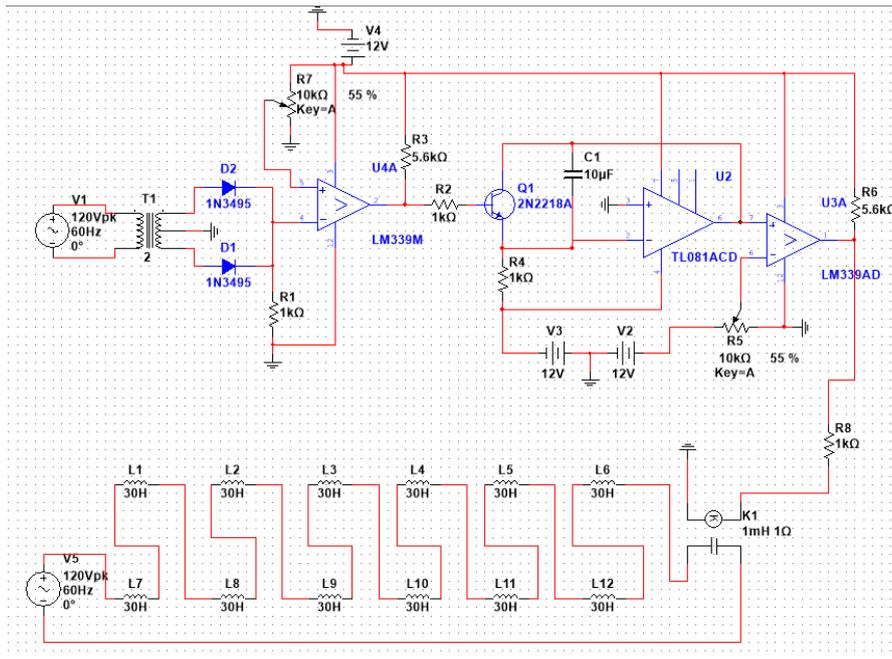


Diagrama V.1.4 Circuito completo utilizado en la Unidad de Absorción de Potencia de Corrientes Parásitas.

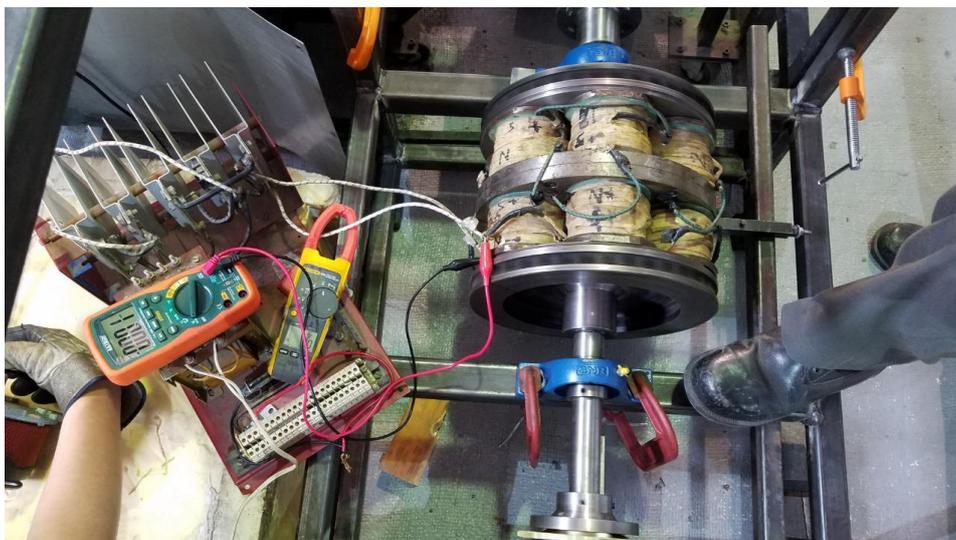


Ilustración V.1.2 Conexión al suministro eléctrico de corriente alterna con toda la demás circuitería y la Unidad de Absorción de Potencia de Corrientes Parásitas.

- Ya conectándose la carga (PAU) a todo el circuito, se manipularon los potenciómetros para así variar las señales y de esta manera poder observar los niveles de intensidad de freno que proporciona la PAU.
- Se observó todo el rango de intensidad de freno que proporciona la unidad de absorción de potencia de corrientes parásitas, desde estar apagado hasta dar toda su potencia en el freno.
- Por último, se observaron los voltajes y corrientes de entrada y de la salida con el multímetro y con el osciloscopio y se verificó el cambio de amplitud y frecuencia de la señal mientras se manipularon los potenciómetros para así variar los niveles de intensidad de frenado que proporciona la PAU, como se observa en las *Ilustraciones V.1.3* y *Ilustraciones V.1.4*.

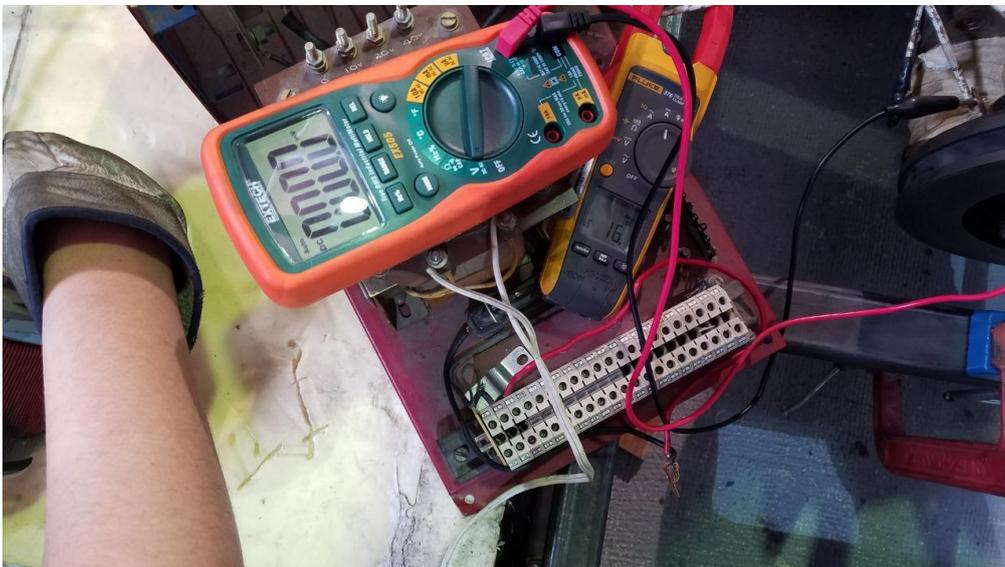


Ilustración V.1.3 Variación de Corriente en la PAU (16 Amper D.C.)

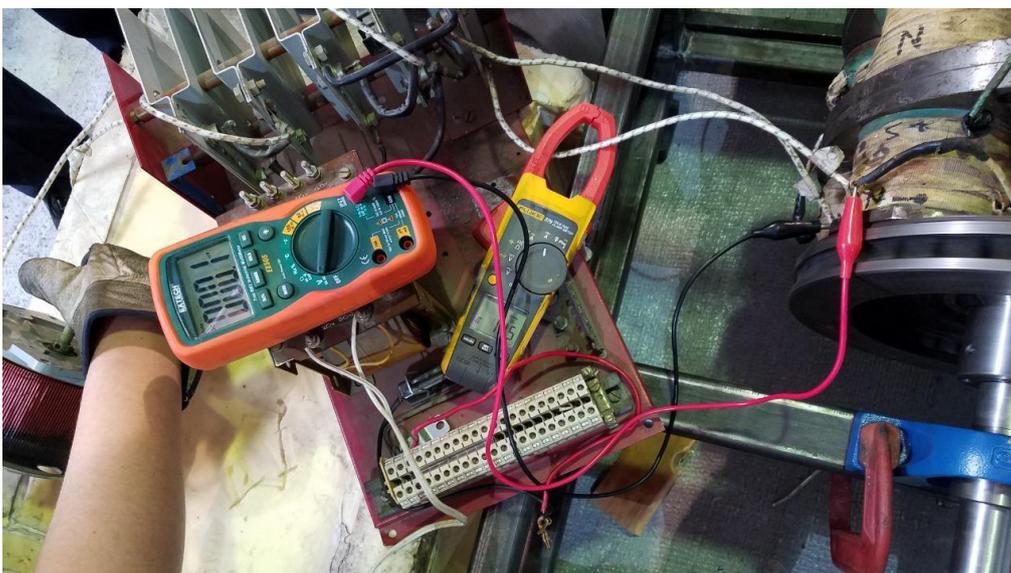


Ilustración V.1.2.4 Variación de Corriente en la PAU (115 Amper D.C.)

CONCLUSIONES

En este trabajo de tesis se tratan distintos aspectos referidos al diseño, construcción y puesta en marcha de un freno dinamométrico de corrientes parásitas, destinado al ensayo de motores tanto eléctricos como de combustión interna.

Se diseñó e integró un circuito electrónico a la Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas con el objetivo de modular la corriente eléctrica que circula a través de la PAU mediante el empleo de una señal de PWM. Para tal efecto fue necesario caracterizar las señales eléctricas involucradas en la operación del mismo.

Se describieron los principales parámetros involucrados en las Unidades de Absorción de Potencia de corrientes parásitas con el fin de ilustrar los principales factores que influyen en la operación de este tipo de frenos magnéticos, como son: fuerzas magnetomotrices, corrientes en discos, par del motor, incluyendo las ecuaciones para obtener los valores y los parámetros de pérdidas eléctricas que posee la PAU.

Se realizaron las pruebas necesarias para la caracterización de una Unidad de Absorción de Potencia de corrientes parásitas, las cuales fueron descritas cabalmente en este trabajo de tesis.

No se recomienda generar la señal PWM de forma digital, ya que por experiencia de otros proyectos donde se han empleado dispositivos digitales se han observado problemas operativos relacionados con la discretización de la señal de referencia y el tiempo de respuesta de estos dispositivos. Así como problemas de eficiencia de los equipos.

El circuito analógico diseñado puede ser operado por un dispositivo digital para aplicaciones automáticas, cual si se tratase de un módulo independiente.

Antes de utilizar una unidad de absorción de potencia es necesario hacer una revisión exhaustiva de la estructura física que guarda el equipo para detectar fallas con la finalidad de mejorar algunos aspectos en el diseño mecánico (el uso de diferentes rodamientos y el eje del rotor, las alineaciones en general y la exactitud en las sujeciones), como así también optimizar el diseño del circuito magnético y sus bobinas de excitación.

Finalmente, en caso de utilizar otros frenos de mayores potencias en el futuro, se requerirá, tomar en cuenta los datos de este trabajo y además realizar diversos ajustes en la etapa de potencia para garantizar el correcto flujo de corriente eléctrica en las bobinas.

□ BIBLIOGRAFÍA

1. AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES
Robert F. Coughlin & Frederick F. Driscoll
Ed. Pearson Educación
5ta edición, México
2. ELECTRÓNICA: TEORÍA DE CIRCUITOS Y DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS.
Robert L. Boylestad & Louis Nashelsky
Ed. Pearson Educación
10ma edición, México 2009
3. ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
Gabriel A. Jaramillo Morales & Alfonso A. Alvarado Castellanos
Ed. Trillas
4. FÍSICA UNIVERSITARIA VOLUMEN 1
Young, Hugh D. y Roger A. Freedman
Ed. Pearson Educación
12da edición, México 2009
5. FÍSICA UNIVERSITARIA VOLUMEN 2
Young, Hugh D. y Roger A. Freedman
Ed. Pearson Educación
12da edición, México 2009
6. MÁQUINAS ELÉCTRICAS.
Stephen J. Chapman
Ed. Mc Graw Hill
5ta edición
7. Rincón Gómez Pedro Ignacio, Instrumentación del dinamómetro de chasis del laboratorio de control de emisiones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Tesis (Licenciatura en Ingeniería electrónica y de comunicaciones) Universidad Iberoamericana, 1999.
8. Jiménez Santiago Fernando, Diseño e Integración de un Sistema con Interfaz Virtual para un Banco de Ensayos Dinamométrico para MCI, Tesis (Licenciatura en Ingeniería electrónica) Universidad Nacional Autónoma de México, 2019.

9. MAURICIO RIGOBERTO SÁNCHEZ CAISACHANA, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEDIDOR HIDRÁULICO DE TORQUE, Proyecto de grado para la obtención del título de Ingeniero de Ejecución en Electromecánica, (Licenciatura en Ingeniería Electromecánica) Escuela Politécnica DEL Ejército SEDE-LATACUNGA, Latacunga, 2007.
10. CAMILO ANDRES ARIZA FORERO & LUIS HERNANDO VANEGAS RIVERA, DISEÑO DE UN DINAMOMTRO HIDRAULICO PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA CON UNA POTENCIA MENOR A 65 HP, trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Pontificia Bolivariana Escuela en Ingenierías y Administración. Facultad de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga 2013
11. M. C. MISAEEL SANTIAGO BERNAL, COMUNICACIÓN VÍA FIBRA ÓPTICA UTILIZANDO MODULACION DE RETARDOS ÓPTICOS COMO PORTADORES DE INFORMACION, tesis sometida como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias en la Especialidad de Óptica. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Tonantzintla, Puebla.
12. Gallo, Omar D.; Gonella, Rubén M. J.; Ferreyra, Diego M.; Díaz, Alberto J, Freno de corrientes parásitas para ensayo de motores eléctricos. Artículo de Investigación “Ciencia, Docencia y Tecnología” Vol.28, N° 54 de mayo 2017

□ REFERENCIAS DE LAS TABLAS E ILUSTRACIONES

Capítulo 1.

1. Ilustración I.1.1.1 Freno Prony, septiembre de 2020. Disponible en <https://edoc.pub/proyecto-freno-de-prony-pdf-free.html>.
2. Ilustración I.1.2.1 Examinación de vehículo modelo Versa en verificentro de Estado de México, septiembre de 2020. Disponible en <https://www.contrareplica.mx/nota-Estado-de-Mexico-cierra-verificentros-de-Covid-19-y-extiende-plazo-para-verificar-202024330>
3. Ilustración I.1.2.2 Examinación de vehículo modelo Versa en verificentro de Estado de México, septiembre de 2020. Disponible en <https://www.contrareplica.mx/nota-Estado-de-Mexico-cierra-verificentros-de-Covid-19-y-extiende-plazo-para-verificar-202024330>
4. Ilustración I.2.1.1 Unidad de absorción de potencia hidráulica, septiembre de 2020. Disponible en la tesis: Rincón Gómez Pedro Ignacio, Instrumentación del dinamómetro de chasis del laboratorio de control de emisiones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Tesis (Licenciatura en Ingeniería electrónica y de comunicaciones) Universidad Iberoamericana, 1999.
5. Ilustración I.2.2.1 PAU de Corrientes Parasitas (Vista Interna), septiembre de 2020. Disponible en la tesis: Rincón Gómez Pedro Ignacio, Instrumentación del dinamómetro de chasis del laboratorio de control de emisiones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Tesis (Licenciatura en Ingeniería electrónica y de comunicaciones) Universidad Iberoamericana, 1999.
6. Ilustración I.2.2.2 Orientación de juego de Bobinas, septiembre de 2020. Disponible en la tesis: Rincón Gómez Pedro Ignacio, Instrumentación del dinamómetro de chasis del laboratorio de control de emisiones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Tesis (Licenciatura en Ingeniería electrónica y de comunicaciones) Universidad Iberoamericana, 1999.

7. Ilustración I.2.2.3 PAU de Corrientes Parasitas (Vista Externa), septiembre de 2020. Disponible en la tesis: Jiménez Santiago Fernando, Diseño e Integración de un Sistema con Interfaz Virtual para un Banco de Ensayos Dinamométrico para MCIA, Tesis (Licenciatura en Ingeniería electrónica) Universidad Nacional Autónoma de México, 2019.
8. Tabla I.2.2.1 Parámetros ocupados en un Dinamómetro, febrero de 2021. Disponible en: Gallo, Omar D.; Gonella, Rubén M. J.; Ferreyra, Diego M.; Díaz, Alberto J, Freno de corrientes parásitas para ensayo de motores eléctricos. Artículo de Investigación “Ciencia, Docencia y Tecnología” Vol.28, N° 54 de mayo 2017.
9. Tabla I.2.2.2 Parámetros de Perdidas en un Dinamómetro, febrero de 2021. Disponible en: Gallo, Omar D.; Gonella, Rubén M. J.; Ferreyra, Diego M.; Díaz, Alberto J, Freno de corrientes parásitas para ensayo de motores eléctricos. Artículo de Investigación “Ciencia, Docencia y Tecnología” Vol.28, N° 54 de mayo 2017.
10. Tabla I.2.2.3 Parámetros ocupados en una PAU, febrero de 2021. Disponible en: Gallo, Omar D.; Gonella, Rubén M. J.; Ferreyra, Diego M.; Díaz, Alberto J, Freno de corrientes parásitas para ensayo de motores eléctricos. Artículo de Investigación “Ciencia, Docencia y Tecnología” Vol.28, N° 54 de mayo 2017.
11. Ilustración I.2.3.1 Corte Seccional de PAU de Histéresis, septiembre de 2020. Disponible en la tesis: Jiménez Santiago Fernando, Diseño e Integración de un Sistema con Interfaz Virtual para un Banco de Ensayos Dinamométrico para MCIA, Tesis (Licenciatura en Ingeniería electrónica) Universidad Nacional Autónoma de México, 2019.
12. Ilustración I.2.4.1 Líneas De Campo Magnético, septiembre de 2020. Disponible en <https://www.alamy.es/imagenes/l%C3%ADneas-de-campo-magn%C3%A9tico.html>
13. Ilustración I.2.4.2 Sección Transversal de PAU de Partículas Magnéticas, septiembre de 2020. Disponible en la tesis: Jiménez Santiago Fernando, Diseño e Integración de un Sistema con Interfaz Virtual para un Banco de Ensayos Dinamométrico para MCIA, Tesis

(Licenciatura en Ingeniería electrónica) Universidad Nacional Autónoma de México, 2019.

14. Ilustración I.2.5.1 Vista en sección de una PAU de C.D., septiembre de 2020. Disponible en <http://dinamodecorientecontinua.blogspot.com/2016/09/dinamo-de-corriente-continua.html>

Capítulo 2

1. Ilustración II.1.1 Significado de la Ley Lenz. a) Una bobina encierra un flujo magnético creciente. b) Determinación de polaridad del voltaje resultante. Octubre de 2020. Disponible en el libro: Maquinas Eléctricas, Quinta Edición, Stephen J. Chapman, Mc Graw Hill.
2. Ilustración II.2.1 Estructura mecánica de la Unidad de Absorción de Potencia, octubre de 2020. Disponible en la tesis: Rincón Gómez Pedro Ignacio, Instrumentación del dinamómetro de chasis del laboratorio de control de emisiones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Tesis (Licenciatura en Ingeniería electrónica y de comunicaciones) Universidad Iberoamericana, 1999.
3. Ilustración II.2.1.1 Alambre Magneto, octubre de 2020. Disponible en el Catálogo de Alambre Magneto 2020 Condumex.
4. Ilustración II.2.2.1 a Dibujo de un Transformador Ideal b) Símbolos esquemáticos de un transformador, a veces el núcleo de hierro se muestra en el símbolo y a veces no. Octubre de 2020. Disponible en el libro: Maquinas Eléctricas, Quinta Edición, Stephen J. Chapman, Mc Graw Hill.
5. Ilustración II.3.1 Detalle de uno de los Entrehierro en la PAU de Corrientes Parasitas (Franja Amarilla), octubre de 2020. Disponible en el Manual Técnico Telma de la PAU Modelo AC61-25 Retarder.
6. Ilustración II.3.2 a) Diagrama simplificado de un Rotor y un Estator de motor C.D. b) Circuito Magnético Equivalente. Octubre de 2020. Disponible en el libro: Maquinas Eléctricas, Quinta Edición, Stephen J. Chapman, Mc Graw Hill.

7. Ilustración II.4.1 Circuito en Paralelo con Elementos Inductores, octubre de 2020. Disponible en: <https://electronicalugo.com/inductores-en-paralelo/#:~:text=En%20la%20conexi%C3%B3n%20en%20paralelo,la%20inductancia%20en%20menos%20voltaje.>
8. Ilustración II.4.2 Circuito en Serie con Elementos Inductores, octubre de 2020. Disponible en: <https://electronicalugo.com/inductores-en-paralelo/#:~:text=En%20la%20conexi%C3%B3n%20en%20paralelo,la%20inductancia%20en%20menos%20voltaje.>
9. Ilustración II.4.3 Diferente Arreglos Circuito en Paralelo, octubre de 2020. Disponible en: <https://electronicalugo.com/inductores-en-paralelo/#:~:text=En%20la%20conexi%C3%B3n%20en%20paralelo,la%20inductancia%20en%20menos%20voltaje.>
10. Ilustración II.4.4 Diferente Acoplamiento Magnético en Circuito Serie, octubre de 2020. Disponible en: <https://electronicalugo.com/inductores-en-paralelo/#:~:text=En%20la%20conexi%C3%B3n%20en%20paralelo,la%20inductancia%20en%20menos%20voltaje.>
11. Ilustración II.5.1 Efecto Marginal, octubre de 2020. Disponible en: <http://catarina.udlap.mx/udla/tales/documentos/lem/movaho1/capitulo2.pdf>

Capítulo 3

1. Ilustración III.1.1 Conexión de un Autotransformador Reductor, noviembre de 2020. Disponible en: <https://ingtelecto.com/autotransformador/>
2. Ilustración III.1.2 Autotransformador Variable, noviembre de 2020. Disponible en: <https://ingtelecto.com/autotransformador/>

Capítulo 4

1. Ilustración IV.2.4.1 Relevador de Estado Sólido Modelo RS3-1D40-21, diciembre de 2020. Disponible en:

<https://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-522371712-rele-estado-solido-n-te-rs3-1d40-21-24-280vac-50-amp-3-32vdc- JM>

2. Ilustración IV.2.4.2 Proceso de Modulación de Ancho de Pulso y Rectificación, diciembre de 2020. Disponible en la tesis: **Jiménez Santiago Fernando, Diseño e Integración de un Sistema con Interfaz Virtual para un Banco de Ensayos Dinamométrico para MCIA, Tesis (Licenciatura en Ingeniería electrónica) Universidad Nacional Autónoma de México, 2019.**
3. Ilustración IV.2.4.3 Puente Rectificador de Onda Completa Trifásico de Potencia modelo MDS-100A-1600V, diciembre de 2020. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-847314596-modulo-de-diodo-de-onda-completa-de-3-fases-mds-100a-1600v-5- JM#position=9&type=item&tracking_id=957b2607-261e-42f0-bbba-c3513f5b775f

□ APENDICE A DATA SHEETS

Se mostrarán las especificaciones técnicas de los componentes utilizados en este proyecto:

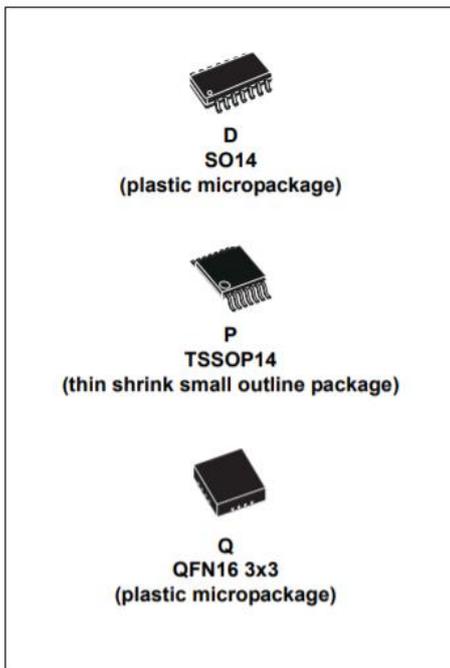
- Circuito Integrado LM339.
- Transistor 2N2218.
- Circuito Integrado TL081AC.
- Relevador de Estado Sólido Modelo RS3-1D40-21.
- Puente Rectificador de Onda Completa Trifásico de Potencia modelo MDS-100A-1600V.



LM139, LM239, LM339

Low-power quad voltage comparators

Datasheet - production data



Features

- Wide single supply voltage range or dual supplies for all devices: +2 to +36 V or ± 1 V to ± 18 V
- Very low supply current (1.1 mA) independent of supply voltage
- Low input bias current: 25 nA typ
- Low input offset current: ± 5 nA typ
- Low input offset voltage: ± 1 mV typ
- Input common-mode voltage range includes ground
- Low output saturation voltage: 250 mV typ; ($I_{SINK} = 4$ mA)
- Differential input voltage range equal to the supply voltage
- TTL, DTL, ECL, MOS, CMOS compatible outputs

Description

This family of devices consists of four independent precision-voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2 mV maximum for LM339A, LM239A, and LM139A. Each comparator has been designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible.

These comparators also have a unique characteristic in that the input common mode voltage range includes ground even though operated from a single power supply voltage.

1 Pin and schematic diagram

Figure 1. Pin connections (top view)

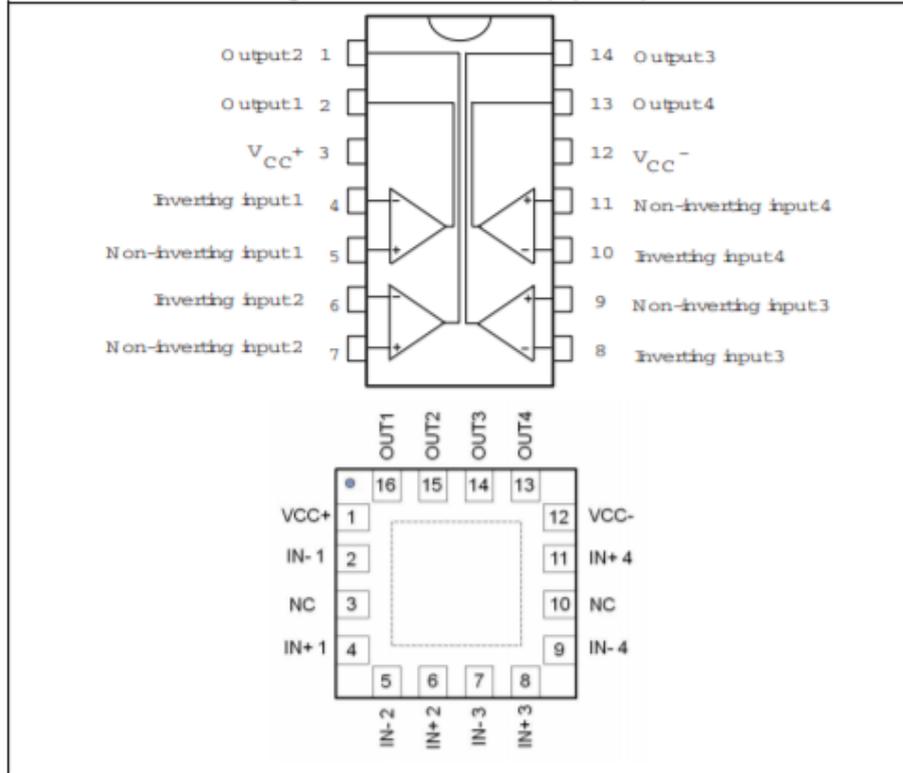
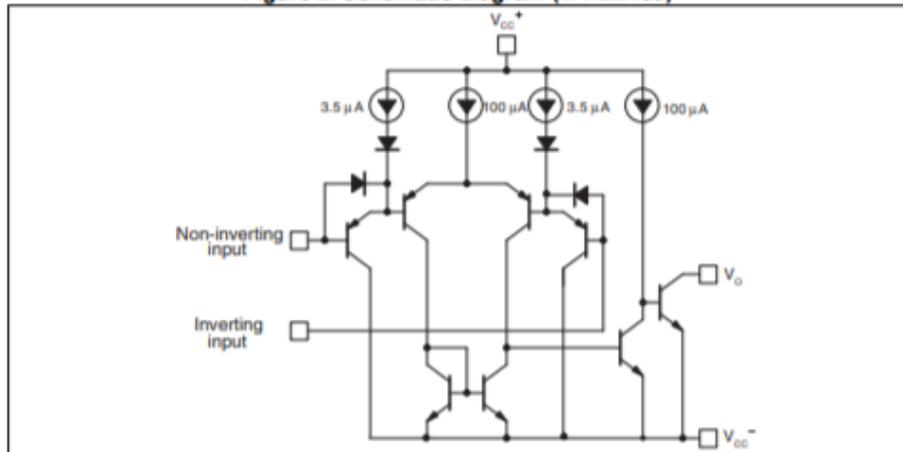


Figure 2. Schematic diagram (1/4 LM139)





Description:

A Silicon NPN transistor in a TO-18 case intended for high speed switching applications.

**RoHS
Compliant**

Absolute Maximum Ratings:

Collector-Base Voltage, V_{CB0}	: 75V
Collector-Emitter Voltage, V_{CE0}	: 40V
Emitter-Base Voltage, V_{EB0}	: 6V
Continuous Collector Current, I_C	: 800mA
Total Device Dissipation ($T_C = +25^\circ\text{C}$), P_D	: 1.2W
Derate above 25°C	: 6.85mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation ($T_A = +25^\circ\text{C}$), P_D	: 400mW
Derate above 25°C	: 2.28mW/ $^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature Range, T_J	: -65°C to $+200^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range, T_{stg}	: -65°C to 200°C

Electrical Characteristics: ($T_A = +25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Max	Unit
OFF Characteristics					
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 0$	40	-	V
Collector-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)CBO}$	$I_C = 10\mu\text{A}, I_E = 0$	75	-	V
Emitter-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)EBO}$	$I_E = 10\mu\text{A}, I_C = 0$	6	-	V
Collector Cut-Off Current	I_{CBO}	$V_{CE} = 60\text{V}, I_E = 0$	-	0.01	μA
		$V_{CE} = 60\text{V}, I_E = 0, T_A = +150^\circ\text{C}$	-	10	μA
	I_{CEX}	$V_{CE} = 60\text{V}, V_{EB(EXT)} = 3\text{V}$	-	10	μA
Emitter Cut-Off Current	I_{EBO}	$V_{EB} = 3\text{V}, I_C = 0$	-	10	μA
Base Cut-Off Current	I_{BL}	$V_{CE} = 60\text{V}, V_{EB(EXT)} = 0$	-	20	μA
On Characteristics					
DC Current Gain	h_{FE}	$I_C = 0.1\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$	20	-	-
		$I_C = 1\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$	25	-	-
		$I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$	35	-	-
		$I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, T_A = -55^\circ\text{C}$	15	-	-
		$I_C = 150\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$ (Note 1)	40	120	-
		$I_C = 150\text{mA}, V_{CE} = 1\text{V}$ (Note 1)	20	-	-
		$I_C = 500\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$ (Note 1)	25	-	-
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 1)	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 150\text{mA}, I_B = 5\text{mA}$	-	0.3	V
		$I_C = 500\text{mA}, I_B = 50\text{mA}$	-	1	V
Base-Emitter Saturation Voltage (Note 1)	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 150\text{mA}, I_B = 15\text{mA}$	0.6	1.2	V
		$I_C = 500\text{mA}, I_B = 50\text{mA}$	-	2	V

Small-Signal Characteristics

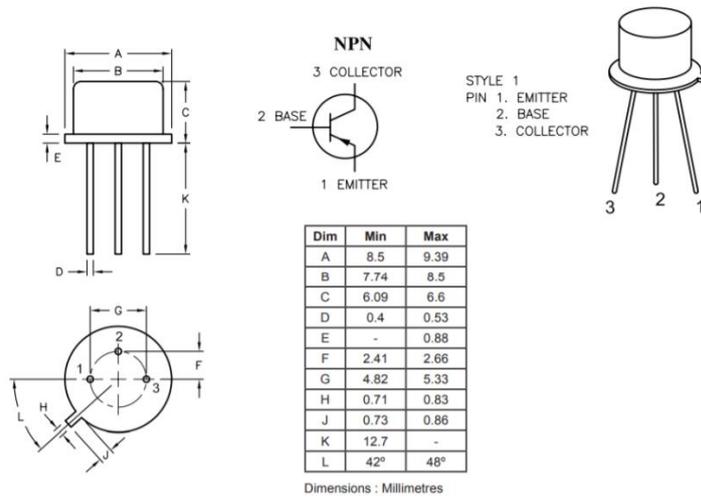
Current Gain-Bandwidth Product (Note 2)	f_T	$I_C = 20\text{mA}, V_{CE} = 20\text{V}, f = 100\text{MHz}$, (Note 2)	250	-	MHz
Output Capacitance	C_{obo}	$V_{CB} = 10\text{V}, I_E = 0, f = 100\text{kHz}$	-	8	pF
Input Capacitance	C_{io}	$V_{EB} = 0.5\text{V}, I_C = 0, f = 10\text{kHz}$	-	25	pF
Input Impedance	h_{ie}	$I_C = 1\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, f = 1\text{kHz}$	1	3.5	k Ω
		$I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, f = 1\text{kHz}$	0.2	1	k Ω
Voltage Feedback Ratio	H_{re}	$I_C = 1\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, f = 1\text{kHz}$	-	5	$\times 10^{-4}$
		$I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, f = 1\text{kHz}$	-	2.5	$\times 10^{-4}$
Output Admittance	h_{oe}	$I_C = 1\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, f = 1\text{kHz}$	3	15	μmhos
		$I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, f = 1\text{kHz}$	10	100	μmhos
Collector-Base Time Constant	r_b/C_C	$I_C = 20\text{mA}, V_{CB} = 20\text{V}, f = 31.8\text{MHz}$	5	150	ps
Noise Figure	NF	$I_C = 100\mu\text{A}, V_{CE} = 10\text{V}, R_S = 1\text{k}\Omega, f = 1\text{kHz}$	-	4	dB
Real Part of Common-Emitter High Frequency input Impedance	$\text{Re}(h_{ie})$	$I_C = 20\text{mA}, V_{CE} = 20\text{V}, f = 300\text{MHz}$	-	60	Ω

Switching Characteristics

Delay Time	t_d	$V_{CC} = 30\text{V}, I_C = 150\text{mA}, V_{CE(sat)} = 0.5\text{V}, I_{B1} = 15\text{mA}$	-	10	ns
Rise Time	t_r		-	25	ns
Storage Time	t_s	$V_{CC} = 30\text{V}, I_C = 150\text{mA}, I_{B1} = I_{B2} = 15\text{mA}$	-	225	ns
Fall Time	t_f		-	60	ns
Active Region Time Constant	τ_A	$I_C = 150\text{mA}, V_{CE} = 30\text{V}$	-	2.5	ns

Notes

1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$.
2. f_T is defined as the frequency at which $|h_{fe}|$ extrapolates to unity.



TL081

General purpose JFET single operational amplifiers

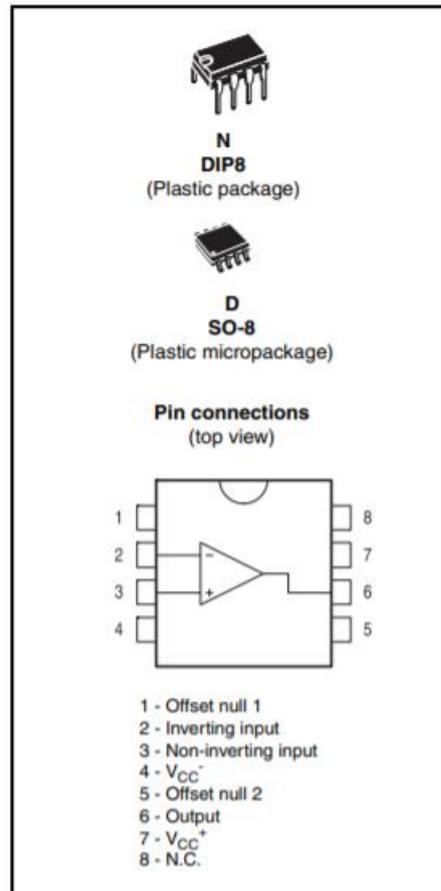
Features

- Wide common-mode (up to V_{CC}^+) and differential voltage range
- Low input bias and offset current
- Output short-circuit protection
- High input impedance JFET input stage
- Internal frequency compensation
- Latch-up free operation
- High slew rate: 16 V/ μ s (typ)

Description

The TL081, TL081A and TL081B are high-speed JFET input single operational amplifiers incorporating well matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.



2 Absolute maximum ratings

Table 1. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	TL081I, AI, BI	TL081C, AC, BC	Unit
V_{CC}	Supply voltage ⁽¹⁾	±18		V
V_{in}	Input voltage ⁽²⁾	±15		V
V_{id}	Differential input voltage ⁽³⁾	±30		V
P_{tot}	Power dissipation	680		mW
	Output short-circuit duration ⁽⁴⁾	Infinite		
T_{stg}	Storage temperature range	-65 to +150		°C
R_{thja}	Thermal resistance junction to ambient ^{(5) (6)}			°C/W
	SO-8 DIP8	125 85		
R_{thjc}	Thermal resistance junction to case ^{(5) (6)}			°C/W
	SO-8 DIP8	40 41		
ESD	HBM: human body model ⁽⁷⁾	500		V
	MM: machine model ⁽⁸⁾	200		V
	CDM: charged device model ⁽⁹⁾	1.5		kV

- All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
- The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
- Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
- The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.
- Short-circuits can cause excessive heating and destructive dissipation.
- R_{th} are typical values.
- Human body model: 100 pF discharged through a 1.5kΩ resistor between two pins of the device, done for all couples of pin combinations with other pins floating.
- Machine model: a 200 pF cap is charged to the specified voltage, then discharged directly between two pins of the device with no external series resistor (internal resistor < 5 Ω), done for all couples of pin combinations with other pins floating.
- Charged device model: all pins plus package are charged together to the specified voltage and then discharged directly to the ground.

Table 2. Operating conditions

Symbol	Parameter	TL081I, AI, BI	TL081C, AC, BC	Unit
V_{CC}	Supply voltage range	6 to 36		V
T_{oper}	Operating free-air temperature range	-40 to +105	0 to +70	°C

Features

- AC and DC Models
- Back-to-Back Dual SCRs (Non-Suffix)
- Internal Snubbers on AC & DC Models
- TRIAC Versions (T-Suffix)
- Random Switching (R-Suffix)
- MOSFET DC Versions (M-Suffix)
- LED Input Status Indicator on Some Models



Ratings

INPUT PARAMETERS				
NTE TYPE No.	Control Signal Range	Must Operate Voltage	Must Release Voltage	Input Current
RS3-1D10-51	3-32VDC	3VDC	1VDC MIN	22mA MAX
RS3-1D10-51R	3-32VDC	3VDC	1VDC MIN	3.4mA TYP
RS3-1A10-52*	100-280VAC	80VAC	20VAC MIN	—
RS3-1A25-42	90-280VAC	90VAC	10VAC MIN	2mA MAX
RS3-1D25-24T	3-32VDC	3VDC	1VDC	4mA MAX
RS3-1A40-22	90-280VAC	90VAC	10VAC MIN	2mA MAX
RS3-1D40-41	3-32VDC	3VDC	1VDC MIN	4mA MAX
RS3-1D40-21*	3-32VDC	—	—	14mA MAX
RS3-1D40-21R*	3-32VDC	—	—	15mA MAX
RS3-1A75-22	90-280VAC	90VAC	10VAC MIN	2mA MAX
RS3-1D75-21*	3-32VDC	—	—	34mA MAX
RS3-1D75-41*	3-32VDC	—	—	34mA MAX
RS3-1D12-41M**	3.5-32VDC	3.5VDC	1VDC MIN	1.6mA MAX
RS3-1D40-41M**	3.5-32VDC	3.5VDC	1VDC MIN	1.6mA MAX

* Contains LED Input Status Indicator

** Does NOT meet CSA approval.

OUTPUT PARAMETERS				
NTE TYPE No.	Line Voltage Range	Max On-State Current	Max 1-Cycle Surge	On-State Voltage Drop
RS3-1D10-51	24-240VAC	10A	40A	1.5V
RS3-1D10-51R	24-240VAC	10A	40A	1.5V
RS3-1A10-52*	24-330VAC	10A	40A	1.5V
RS3-1A25-42	48-240VAC	25A	245	1.6V
RS3-1D25-24T	48-280VAC	25A	215	1.6V
RS3-1A40-22	48-240VAC	40A	245	1.6V
RS3-1D40-41	80-530VAC	40A	600	1.6V
RS3-1D40-21*	24-280VAC	50A	450	1.6V
RS3-1D40-21R*	24-280VAC	45A	450	1.6V
RS3-1A75-22	48-280VAC	75A	950	1.6V
RS3-1D75-21*	24-280VAC	75A	700	1.6V
RS3-1D75-41*	36-530VAC	75A	700	1.6V
RS3-1D12-41M**	0-100VDC	12A	28	1.6V
RS3-1D40-41M**	0-100VDC	40A	106	2.1V

* Contains LED Input Status Indicator

** Does NOT meet CSA approval.

Note 1. Can be used with R95-186, R95-187 or NTE441A Heat Sink.

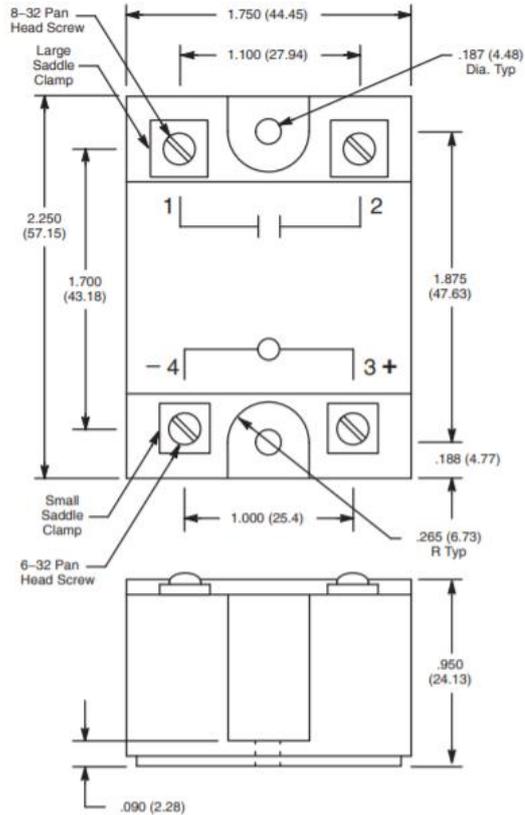
Note 2. Dust Cover R95-184 Available.

RS3 Series



Panel Mount, Heavy Duty, SPST-NO, Solid State AC and DC Power Relays, 10 Amp to 75 Amp.

D31



Products and specifications subject to change without notice

Electrical Specifications

Environmental Characteristics

Operating: -40°C to $+80^{\circ}\text{C}$

ACCESSORIES	
DESCRIPTION	NTE TYPE NO.
Dust Cover, Plastic	R95-184
Heat Sink for Solid State Relay	R95-186
Heat Sink for Solid State Relay	R95-187

SKD 110



SEMIPONT® 4

Power Bridge Rectifiers

SKD 110

Features

- Robust plastic case with screw terminals
- Large, isolated base plate
- Blocking voltage up to 1800 V
- High surge currents
- Three phase bridge rectifier
- Easy chassis mounting
- UL recognized, file no. E 63 532

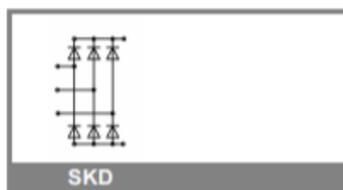
Typical Applications*

- Three phase rectifiers for power supplies
- Input rectifiers for variable frequency drives
- Rectifiers for DC motor field supplies
- Battery charger rectifiers

1) Available in limited quantities
 2) Mounted on a painted metal sheet of min. 250 x 250 x 1 mm;
 $R_{th(c-a)} = 1,8 \text{ K/W}$

V_{RSM} V	V_{RRM}, V_{DRM} V	$I_D = 110 \text{ A}$ (full conduction) ($T_c = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)
800	800	SKD 110/08
1200	1200	SKD 110/12
1400	1400	SKD 110/14
1600	1600	SKD 110/16
1800	1800	SKD 110/18 ¹⁾

Symbol	Conditions	Values	Units
I_D	$T_c = 85 \text{ }^\circ\text{C}$	151	A
	$T_a = 45 \text{ }^\circ\text{C}$; chassis ²⁾	28	A
	$T_a = 45 \text{ }^\circ\text{C}$; P1/200	70	A
	$T_a = 35 \text{ }^\circ\text{C}$; P1/120 F	110	A
	$T_a = 35 \text{ }^\circ\text{C}$; P3/120 F	123	A
I_{FSM}	$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; 10 ms	1200	A
	$T_{vj} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$; 10 ms	1000	A
i^2t	$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; 8,3 ... 10 ms	7200	A ² s
	$T_{vj} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$; 8,3 ... 10 ms	5000	A ² s
V_F	$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; $I_F = 300 \text{ A}$	max. 1,9	V
$V_{(TO)}$	$T_{vj} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$	max. 0,85	V
r_T	$T_{vj} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$	max. 4	m Ω
I_{RD}	$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; $V_{DD} = V_{DRM}$; $V_{RD} = V_{RRM}$	max. 0,5	mA
	$T_{vj} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$; $V_{RD} = V_{RRM}$	5	mA
$R_{th(j-c)}$	per diode	0,9	K/W
	total	0,15	K/W
$R_{th(c-s)}$	total	0,03	K/W
T_{vj}		- 40 ... + 150	$^\circ\text{C}$
T_{stg}		- 40 ... + 125	$^\circ\text{C}$
V_{isol}	a. c. 50 Hz; r.m.s.; 1 s / 1 min.	3600 (3000)	V
M_s	to heatsink	$5 \pm 15 \%$	Nm
M_t	to terminals	$5 \pm 15 \%$	Nm
m		270	g
Case		G 37	



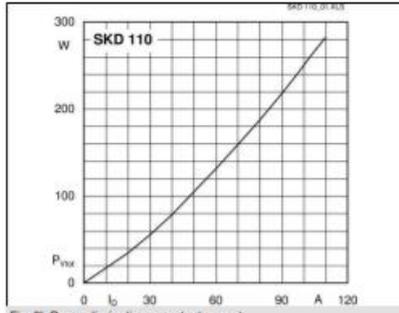


Fig. 3L Power dissipation vs. output current

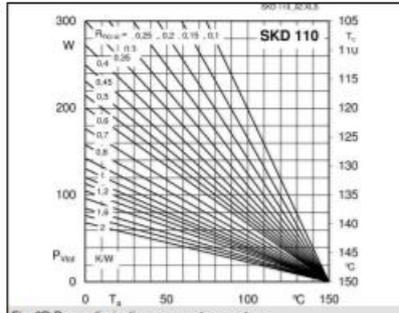


Fig. 3R Power dissipation vs. case temperature

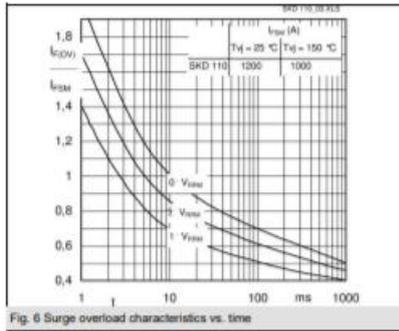


Fig. 6 Surge overload characteristics vs. time

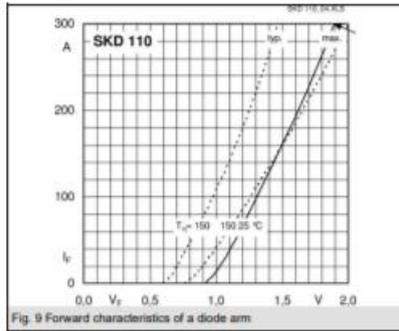


Fig. 9 Forward characteristics of a diode arm

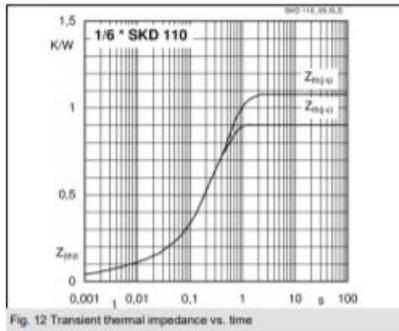
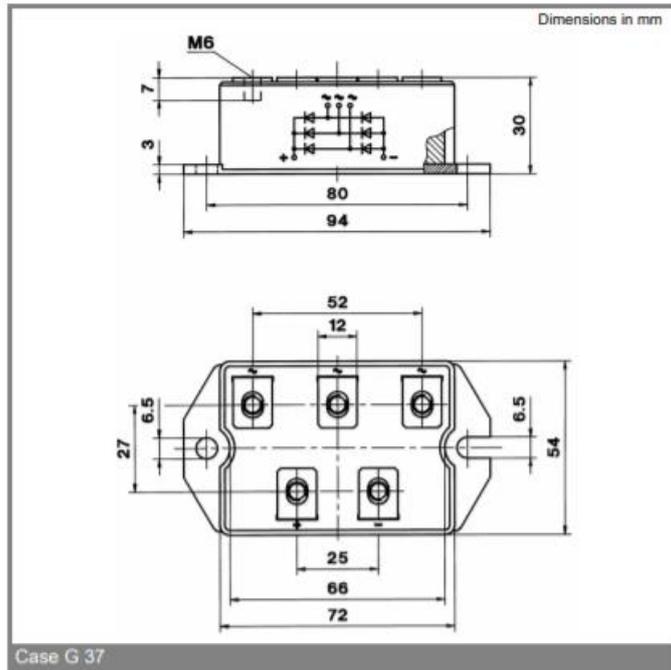


Fig. 12 Transient thermal impedance vs. time



□ **APENDICE B DIAGRAMAS COMPLEMENTARIOS**

Se mostrará las especificaciones técnicas de la unidad de absorción de potencia de corrientes parásitas



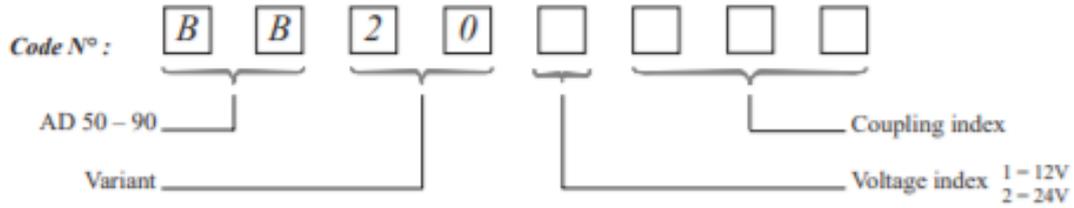
TECHNICAL SPECIFICATIONS



AD 50 – 90 Retarder



Identification



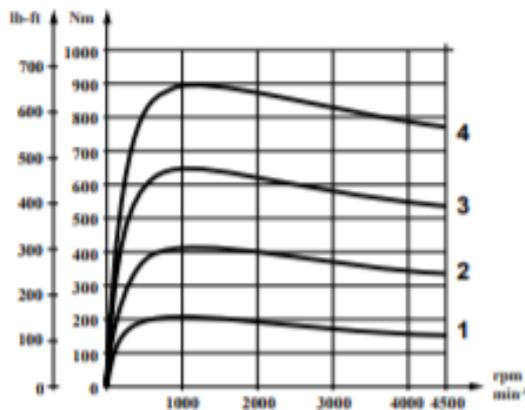
Specifications

MASS	Total : 125 kg/275 lb	Rotors : 39 kg/86 lb	Stator : 86 kg/189 lb
Application RANGE* G.C.W.	6 / 11 t		
Maximum BRAKING TORQUE	900 Nm/663 lb-ft		
Rotors INERTIA	0,64 kgm ² /15 lb-ft ²		
Maximum bearing R.P.M.	4500 tr/min		
Max. TRANSMISSIBLE TORQUE	10 000 Nm/7370 lb-ft		

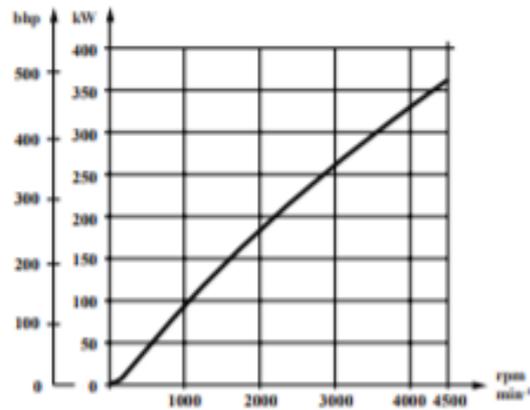
* for specific applications, consult our Technical Department

Performance curves (versus rotor speed)

TORQUE
Control stages : 1-2-3-4

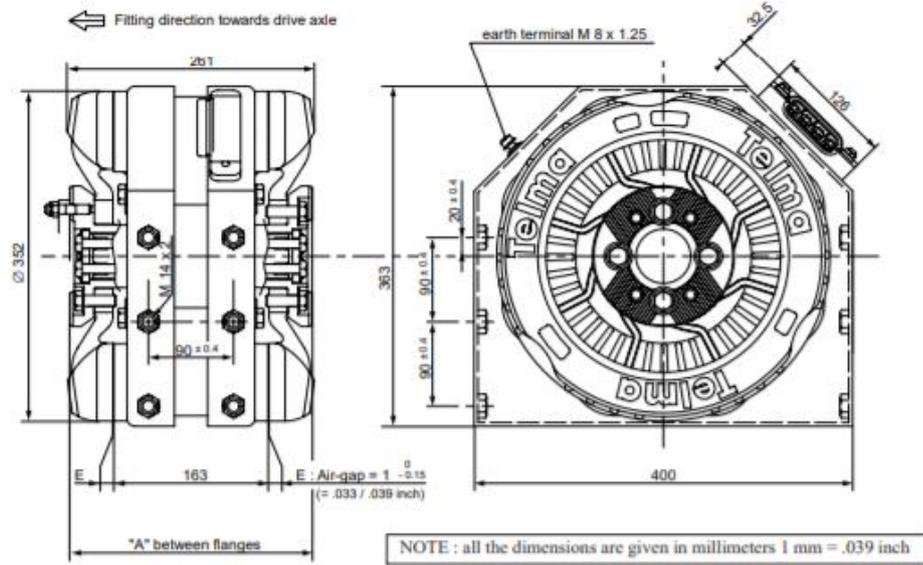


POWER

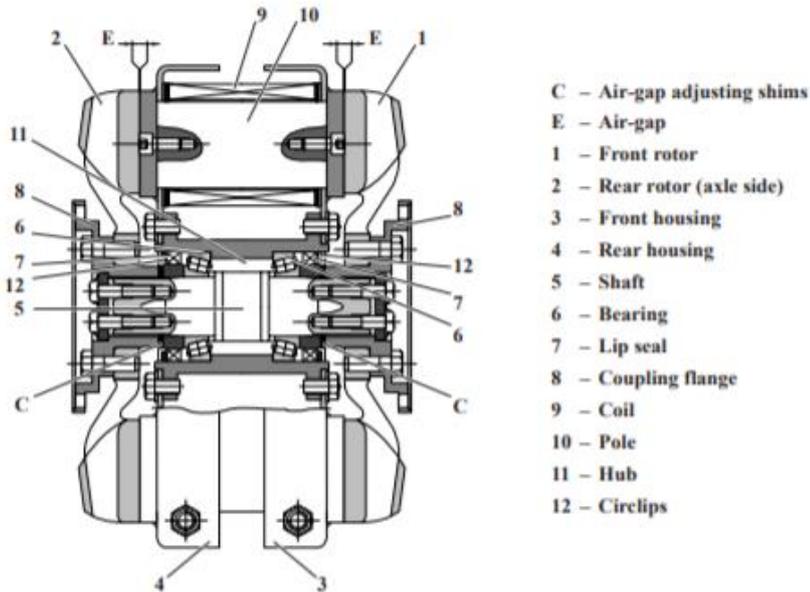


Dimensions

AD 50 – 90



Cross-section view





AD 50 – 90

Electrical specifications

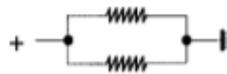
VOLTAGE (according to vehicle equipment)	12 V	24 V
VOLTAGE index	1	2
RESISTANCE per CIRCUIT at 20 °C (± 5 %)	0.25 Ω	1 Ω
RESISTANCE per COIL at 20 °C (± 5 %)	0.5 Ω	
INSULATION RESISTANCE	> 1 MΩ	
Nominal average AIR-GAP	1 ⁰ - 0.15 mm	

12 V specifications

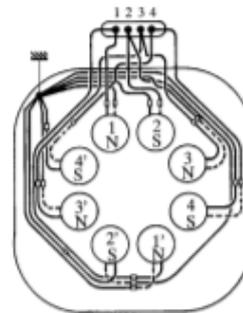
CURRENT CONSUMPTION
(at 20 °C depending on control stage)

STAGE	1	2	3	4
CURRENT ± 5% (A)	48	96	144	192

CIRCUIT DIAGRAM



WIRING DIAGRAM



— RED SLEEVE - - - - WITHOUT SLEEVE

24 V specifications

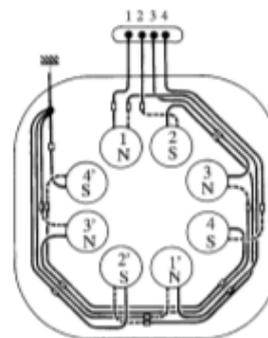
CURRENT CONSUMPTION
(at 20 °C depending on control stage)

STAGE	1	2	3	4
CURRENT ± 5% (A)	24	48	72	96

CIRCUIT DIAGRAM



WIRING DIAGRAM



— RED SLEEVE - - - - WITHOUT SLEEVE

□ GLOSARIO

AMPERIMETRO Instrumento de medición electrónico para medir corrientes eléctricas en instalaciones eléctricas y circuitos eléctricos.

CABALLOS DE POTENCIA (HP) Es una escala de medidas usada para expresar la potencia proporcionada por un motor, la cual es normalmente medida a la salida del eje del motor. También puede ser medida en las ruedas, pero algunos conjuntos de transmisión dan resultados mayores que otros debido a las diferencias de eficiencia.

La escala de caballos de potencia fue desarrollada originalmente por James Watt como una forma conveniente de medir el trabajo que un caballo podía hacer en cierta cantidad de tiempo. Él observó que un caballo podía mover el equivalente de 33,000 libras a una distancia de un pie en un minuto. Observar las tres partes que componen esta ecuación, como son: pies, libras y minutos, de esta forma el 33,000 puede ser expresado matemáticamente como el movimiento de 330 libras una distancia de 100 pies en un minuto ($330 \times 100 = 33,000$) o 33 libras una distancia de 1000 pies en un minuto ($33 \times 1000 = 33,000$). El mismo cálculo matemático se aplica para calcular la potencia por segundos; $33,000 / 60 = 550$ pies/libras por segundo.

CELDA DE CARGA También llamada célula de carga es una estructura diseñada para soportar cargas de compresión, tensión y flexión, en cuyo interior se encuentra uno o varios sensores de deformación llamados Strain Gauges que detectan los valores de deformación.

Las celdas de carga digitales, también llamadas en inglés Digital Load Cell, esta se fija en la parte donde quiere registrarse una carga que aplique un sistema mecánico. La señal de la carga se lleva a un dispositivo electrónico, microchip o computadora central para recopilar los datos totales de una o varias celdas de carga, inclusive desarrollar análisis estadísticos de las cargas durante un tiempo determinado o evento en particular.

CHASIS Estructura donde se sujetan las suspensiones de un vehículo y soporta a la carrocería. Antiguamente el chasis se fabricaba de forma independiente de la carrocería el los automóviles, aunque este sistema se sigue utilizando el los vehículos industriales y en los todo terreno. En la actualidad el chasis está integrado en las denominadas carrocerías autoportantes. El chasis también tiene que soportar al motor y al sistema de transmisión. El chasis suele estar formado por dos largueros longitudinales y por varios transversales para sujetarlos y aportar rigidez al conjunto como: estructuras, suspensión, dirección, frenos y sistema de combustible.

C.I. Circuito integrado.

DIMMER En inglés *dimmer* significa regulador de intensidad y/o voltaje, aparato electrónico que nos permite regular el nivel de luz de uno o varios puntos de luz.

GAUSSÍMETRO Instrumento de medición electrónico para medir campos magnéticos.

P.A.U. (Power Absorber Unit) Unidad de absorción de potencia -sinónimo de freno-

PERMEABILIDAD MAGNETICA En física se le denomina permeabilidad magnética a la capacidad que tienen los materiales, medios o sustancias de afectar y ser afectados por los campos magnéticos, así como la capacidad para crearlos sin la necesidad de corrientes externas.

Esta magnitud está definida por la relación entre la inducción magnética (también llamada densidad de flujo magnético) y la excitación magnética que estén incidiendo en el interior del material, y es representada por el símbolo μ :

$$\mu = \frac{B}{H}$$

POTENCIA AL FRENO La fuerza al freno es una medida de la fuerza que proporciona un motor, medida a través de un dinamómetro por medio de la colocación de una carga (normalmente) en el cigüeñal y el cálculo de la resistencia que el motor puede producir. Los dinamómetros no miden directamente la fuerza, miden la torsión del motor, la fuerza al freno es calculada automática o manualmente, dependiendo de lo sofisticado que sea el dinamómetro.

PWM La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de pulse-width modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica ya sea una senoidal o una cuadrada.

RELEVADOR DE ESTADO SOLIDO En inglés SSR es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta el paso de la electricidad cuando una pequeña corriente es aplicada en sus terminales de control. Los SSR consisten en un sensor que responde a una entrada apropiada (señal de control), un interruptor electrónico de estado sólido que conmuta el circuito de carga, y un mecanismo de acoplamiento a partir de la señal de control que activa este interruptor sin partes mecánicas. El relé puede estar diseñado para conmutar corriente alterna o continua. Hace la misma función que el relé electromecánico, pero sin partes móviles.

RPM Revoluciones por minuto. Es el número de veces que el cigüeñal gira por minuto.

TORQUE Es una medida de fuerza que puede entregar el motor, el esfuerzo rotatorio entregado por el motor medido en Nm/Rpm. La unidad “Nm/Rpm expresa la fuerza angular ejercida por un Newton en una palanca de un metro.