



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA LA MEDICIÓN DE TRANSITORIOS EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES PARA EL LABORATORIO DE PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS”

TESIS

Que para obtener el título de:

INGENIERO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

PRESENTA

JUÁREZ OLIVARES TANIA YULENNY

**ASESOR: M. en C. VICTOR MANUEL
GONZÁLEZ MONDRAGÓN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



AGRADECIMIENTOS

A mi madre

El esfuerzo y las metas alcanzadas, refleja la dedicación, el amor que invierten los padres en sus hijos. Gracias a mi madre soy quien soy, orgullosamente y con la cara muy en alto agradezco a Juárez Olivares Olga Lilia, mi madre porque gracias a ella he logrado una meta más en la vida y al igual que en todas las demás es gracias a ella. Este logro se lo debo a ella, quien me apoyó incondicionalmente durante toda mi trayectoria escolar, dando lo mejor de ella siempre.

A mi mamá Rosa

Por el apoyo incondicional, los consejos, el tiempo que invirtió en mi cuidado y en mi crecimiento personal y profesional, hoy dedico y comparto este logro con ella.

A Néstor Silva García

Por el apoyo incondicional que me brindó, por estar presente a lo largo de muchos años y ser partícipe de cada logro en mi vida.

A mi familia por apoyarme en todo, en cada etapa de mi vida, gracias a ellos pude lograr lo que hasta hoy en día he logrado, por el amor, esfuerzo, el tiempo y sacrificios que han invertido en mí, mismos que hoy me permiten lograr una meta más.

A los profesores, ingenieros, jefes y personal de laboratorios L1 y L3 y a la universidad en general por la ayuda, conocimientos, apoyo, asesorías, gracias a ustedes este trabajo de tesis es posible.



Al Ing. Fernando Xavier Vázquez Martínez por el apoyo incondicional, por los consejos, orientación, asesorías, tiempo, esfuerzo, gracias por siempre estar dispuesto a ayudar, por su apoyo.

Agradezco al M. en C. Víctor Manuel González Mondragón asesor de Tesis, por la asignación del proyecto, gracias por compartir sus conocimientos, por su tiempo y orientación, por sus observaciones y correcciones que hoy me permiten culminar este trabajo.

A mi amada universidad por brindarme la posibilidad de ser parte de ella, por forjar mi licenciatura, por hoy permitirme culminar este logro en mi vida, y por los innumerables momentos bellos que viví dentro de la FES Aragón, que siempre llevaré en mi corazón.

GRACIAS

**ÍNDICE TEMÁTICO**

Índice temático	3
Índice de figuras	5
Índice de tablas	6
Introducción	7
Justificación	9
Objetivo general	10
Objetivos particulares	10
CAPÍTULO I. MARCO HISTÓRICO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES	

1.1	Concepto de máquina	12
1.2	Máquinas eléctricas	14
1.3	Tipos de máquinas eléctricas	15
1.4	Máquinas síncronas	15
1.5	Motor de inducción en máquinas síncronas	18
	1.5.1 Características de la máquina síncrona	19
	1.5.2 Tipos de servicio de la máquina síncrona	19
1.6	Generadores	20
	1.6.1 Partes de un generador síncrono	23
1.7	Máquinas asíncronas	25
	1.7.1 Funcionamiento del motor jaula de ardilla	25
	1.7.2 Ventajas	27
	1.7.3 Desventajas	27
1.8	Transformadores	28
	1.8.1 Tipos de transformadores	28
	1.8.2 Transformador de instrumentos	30
	1.8.3 Transformador de corriente	30
	1.8.3.1 Clasificación de los transformadores de corriente	31
	1.8.4 Simbología	33
	1.8.5 Transformador de potencial "TP"	34
	1.8.5.1 Aplicaciones de los transformadores de potencial	35
	1.8.5.2 Ventajas en el uso de un transformador de potencial	35
	1.8.5.3 Tipos de transformadores de potencial	36
	1.8.6 Selección de transformadores como instrumento de medición	36



CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO			
2.1	El resistor		39
2.2	El inductor		40
	2.2.1 Características del inductor		41
	2.2.3 Campo magnético		41
2.3	El capacitor		41
	2.3.1 Características del capacitor		42
2.4	Respuesta transitoria en circuitos básicos		43
2.5	Respuesta de estado estable y transitorio (dinámica) de un sistema		45
	2.5.1 Régimen transitorio		45
	2.5.2 Régimen permanente		47
2.6	Transitorios en máquinas eléctricas		50
	2.6.1 Corriente de arranque en motores de inducción (Inrush current)		50
	2.6.2 Corriente de rotor bloqueado		52
2.7	Transitorios en los transformadores		53
	2.7.1 Switcheo por maniobra en transformadores		54
	2.7.2 Características de la corriente por switcheo de maniobra		55
2.8	Transitorios de sobrevoltajes por switcheo de maniobra		55
	2.8.1 Sobrevoltaje		55
	2.8.2 Efectos en los equipos debido a los sobrevoltajes		56
2.9	Cortocircuito en la máquina síncrona		57
	2.9.1 Cortocircuito permanente trifásico en bornes del inducido		57
	2.9.2 Cortocircuitos asimétricos bruscos		58
	2.10 Switcheo de banco de capacitores		60
	2.10.1 Efectos en los equipos debido a los transitorios		61
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL PROYECTO			
3.1	Descripción general de los módulos de transformadores con salida electrónica TP y TC		64
3.2	Características físicas del módulo		64
3.3.	Proceso de elaboración		65
3.4	Aplicación de pintura al módulo		72
3.5	Cortes y dimensiones específicas de las láminas de policarbonato requeridas para los paneles en cada uno de los módulos		75
	3.5.1 Especificaciones de las carátulas frontales		75



3.6	Especificaciones técnicas referidas al montaje de plugs sobre los paneles de policarbonato		76
	3.6.1 Características de conectores requeridos para el montaje		77
3.7	Montaje de los transformadores de corriente y de potencial en los módulos		77
3.8	Propuesta de prácticas para el laboratorio de protección de sistemas eléctricos		79
		Conclusiones	131
		Bibliografía	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.4	Rotor y Estator síncrono	16
Figura 1.5	Jaula de ardilla en motor síncrono	19
Figura 1.6	Rotor de dos polos no salientes de una máquina síncrona	21
Figura 1.6A	Rotor de seis polos salientes de una máquina síncrona	22
Figura 1.6B	Fotografía del rotor de una máquina síncrona con ocho polos salientes que muestra los devanados de los polos del rotor individuales. (Cortesía de General Electric Company.)	22
Figura 1.6C	Fotografía de un solo polo saliente de un rotor sin los devanados de campo instalados. (Cortesía de General Electric Company.)	23
Figura 1.6D	Un solo polo saliente después de que se han instalado los devanados de campo, pero antes de que se monte en el rotor. (Cortesía de Westinghouse Company.)	23
Figura 1.8	Tipos de transformadores de corriente	31
Figura 1.8A	Tipo devanado primario	32
Figura 1.8B	Tipo barra	32
Figura 1.8C	Tipo boquilla (Bushing)	33
Figura 1.8D	Tipo ventana	33
Figura 1.8E	Simbología para Transformadores de corriente	34
Figura 2.1	El resistor	39
Figura 2.2	Voltaje en el inductor	40
Figura 2.2A	El inductor	40
Figura 2.3	Corriente en el capacitor	42
Figura 2.3A	El capacitor con su polarización de corriente y voltaje	42
Figura 2.3.1	Elementos pasivos en régimen transitorio.	43
Figura 2.5.1	Corriente de cortocircuito	46
Figura 2.5.1A	Régimen transitorio y permanente	47
Figura 2.5.2	Notación del régimen transitorio	49
Figura 2.6.1	Comportamiento de la corriente de un motor.	51
Figura 2.7	Corriente de magnetización Inrush	53
Figura 2.9.1	Cortocircuito trifásico en bornes de una máquina síncrona	57



Figura 2.9.1A	Corrientes de cortocircuito brusco en las tres fases del inducido de una máquina síncrona	58
Figura 2.9.2A	Cortocircuito fase-neutro	59
Figura 2.9.2B	Cortocircuito fase-fase	59
Figura 2.9.2C	Cortocircuito fase-fase-neutro	59
Figura 3.2A	Representación y dimensiones físicas de los módulos	65
Figura 3.3	Trazo de las medidas que se utilizarán para la elaboración de dos módulos idénticos	66
Figura 3.3A	Corte de lámina para obtener las piezas que le darán forma al módulo	66
Figura 3.3B	Perforado de lámina para crear los orificios propios del diseño del módulo.	67
Figura 3.3C	Proceso de lijar	67
Figura 3.3D	Proceso de lijar láminas	68
Figura 3.3E	Se perfora base	68
Figura 3.3F	Proceso de dar la forma final a la pieza frontal del módulo	68
Figura 3.3G	Unir las partes con soldadura de punto	69
Figura 3.3H	Manipulación del ángulo	70
Figura 3.3I	Proceso de soporte al módulo	70
Figura 3.3J	Reforzando la soldadura en el ángulo	71
Figura 3.3K	Proceso de lijado final	71
Figura 3.4A	Proceso previo a pintar los módulos	73
Figura 3.4B	Proceso de limpiado	74
Figura 3.5.1	Especificaciones de las carátulas frontales	75
Figura 3.6	Conector banana hembra 4mm	76
Figura 3.7	Transformadores de potencial (TP'S) con salida electrónica	78
Figura 3.7A	Transformadores de corriente (TC'S) con salida electrónica	78
Figura 3.7B	Módulos didácticos para la medición de transitorios en máquinas eléctricas y transformadores	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Letra de código para los motores tipo jaula de ardilla	52
Tabla 3.2	Características físicas del módulo	64
Tabla 3.2A	Representación y dimensiones físicas de los módulos	69
Tabla 3.4	Características de materiales requeridos para el proceso de pintado	73
Tabla 3.6.1	Características de conectores requeridos para el montaje	77



INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento e importancia de los sistemas eléctricos de potencia es fundamental contar con un esquema de protecciones que garantice la seguridad y confiabilidad del sistema ante alguna falla inesperada.

Este trabajo de investigación pretende exponer la construcción y funcionamiento de los módulos didácticos **TP'S "TRANSFORMADORES DE POTENCIAL" y TC'S "TRANSFORMADORES DE CORRIENTE"** ambos con salida electrónica para la medición de transitorios en máquinas eléctricas así como en transformadores, el diseño y construcción de estos módulos didácticos serán donados al Laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos, para posteriormente proponer un conjunto de prácticas de aplicación que ilustran el funcionamiento de ambos elementos.

Trabajo realizado con el apoyo del **Programa UNAM-DGAPA-PAPIME No. PE114519** Modernización de Prácticas e implementación de módulos didácticos y recursos digitales para el laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos en el área de máquinas eléctricas y potencia de la FES Aragón.

En el **CAPÍTULO I. MARCO HISTÓRICO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES** se analiza y estudia la importancia de las máquinas eléctricas en la actualidad, tipos de máquinas, de qué componentes se conforman así como ejemplos ilustrativos, dentro de los tipos de máquinas síncronas se encuentran los generadores, se explica su funcionamiento y aplicación, de igual manera el transformador, tipos de transformadores, y la combinación de ambos en la industria serán temas de estudio. Ambos son considerados máquinas fundamentales en el desarrollo de este proyecto y en el ámbito eléctrico industrial y doméstico.

En el **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO** se analizarán conceptos y definiciones básicas, así como los conceptos de sobrecorrientes y sobrevoltajes en máquinas eléctricas, específicamente en máquinas síncronas, motores de inducción y transformadores, esto con la finalidad de entender mejor la terminología y comprender los efectos de los experimentos propuestos en la aplicación de los módulos didácticos que se elaboraron para el laboratorio de protección de sistemas eléctricos.



En el **CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL PROYECTO** se presenta el proceso de elaboración de los módulos didácticos, el material y cantidades utilizadas, así como evidencia fotográfica.

Durante el proceso para llevar a cabo este proyecto se vieron involucrados aspectos teóricos y prácticos labores que fueron enseñados y utilizados durante la carrera, fue importante retomarlos y comprenderlos para involucrar todo ese conocimiento en el desarrollo de este proyecto, tanto en el trabajo escrito como en el trabajo práctico.

Al llevar a cabo el proyecto surgió la necesidad de adquirir nuevos conocimientos y habilidades que se encuentran fuera del plan de estudios de la carrera, mismos que me permitieron realizar y culminar los módulos que he trabajado en el área de pailería, soldadura, hojalatería y pintura, con asesorías recibidas por parte del equipo que forma parte del Laboratorio de diseño y manufactura (L-1), como lo son la jefa de laboratorio, profesores, técnicos académicos, almacenistas y por un compañero que se encuentra trabajando en el L3, con los cuales estoy muy agradecida ya que en todo momento me apoyaron y tuvieron la mejor disposición para que el proyecto fuera por buen camino.

Para que se llevara a cabo una correcta maniobra de las herramientas y equipos de trabajo, durante la asesoría y orientación se abarcaron las áreas de soldadora de punto, soldadora de microalambre, dobladora, guillotina de 90°, taladro, banco de mesa, esmeril, cizalla eléctrica, sierra de calar o caladora, sierra, sierra de piso, etc. El contar con estos conocimientos mencionados considero que es de suma importancia adquirirlos ya que enriquecen y complementan mi desempeño ahora como estudiante y que en algún momento van a ser parte de mi desarrollo tanto profesional como personal.



Justificación

La responsabilidad que tiene esta institución por generar los recursos fundamentales que poseen la capacidad y habilidad para una correcta formación, es permanente.

Para contribuir a ello, ha sido desarrollado y ejecutado este proyecto referido a los equipos de protección eléctrica. Ya que actualmente son equipos referentes dentro de la industria.

Estos equipos son dispositivos electrónicos inteligentes con aplicación dentro de instalaciones en empresas que se dedican a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, así como en instalaciones industriales de alta, media y baja tensión con el fin de proteger, monitorear y controlar transformadores y motores.

El proyecto tiene como finalidad contribuir a la formación académica de los alumnos de Ingeniería Eléctrica Electrónica de la FES Aragón en temas como ingeniería de potencia, sistemas de protección digital y protección de sistemas eléctricos.

Con un comienzo desde la planeación, montaje, instalación, hasta la puesta en marcha de los equipos mencionados, que tienen como función llevar a la práctica el conocimiento y los aspectos teóricos vistos en clase.

Destinado a la enseñanza en la introducción, el funcionamiento y operación de los módulos didácticos para la medición de transitorios en máquinas eléctricas y transformadores, con el fin de complementar los recursos académicos de un modo interactivo.

Con el firme propósito de encaminar a los futuros ingenieros eléctricos electrónicos aragoneses para enfrentar al mundo laboral actual.



OBJETIVOS

Objetivo general

Este proyecto está enfocado en diseñar e implementar dos módulos didácticos para la medición de transitorios en máquinas eléctricas y transformadores para el laboratorio de protección de sistemas eléctricos.

Objetivos particulares

- a) Investigar y seleccionar información teórica con el fin de conocer los conceptos históricos sobre las máquinas eléctricas.
- b) Dar a conocer los conceptos de transitorios eléctricos y los fenómenos transitorios electromagnéticos más relevantes en las máquinas eléctricas.
- c) Diseñar y construir dos módulos de transformadores de Corriente y de Potencial con salida electrónica para la medición de transitorios en máquinas eléctricas y transformadores
- d) Elaborar una propuesta de prácticas para el laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos, que contengan diferentes experimentos para probar el correcto funcionamiento de los módulos de Transformadores de Potencial y de Corriente con salida electrónica.



CAPÍTULO I



CAPÍTULO I: MARCO HISTÓRICO DE MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES

El presente capítulo analiza y estudia la importancia de las máquinas eléctricas en la actualidad, tipos de máquinas, de qué componentes se conforman así como ejemplos ilustrativos, dentro de los tipos de máquinas síncronas se encuentran los generadores, se explica su funcionamiento y aplicación, de igual manera el transformador, tipos de transformadores, y la combinación de ambos en la industria serán temas de estudio.

Ambos son considerados máquinas fundamentales en el desarrollo de este proyecto y en el ámbito eléctrico industrial y doméstico.

1.1 Concepto de máquina

Una máquina es un conjunto de elementos móviles y fijos cuyo funcionamiento posibilita aprovechar, dirigir, regular o transformar energía, así como realizar un trabajo con un fin determinado. Se denomina maquinaria al conjunto de máquinas que se aplican para un mismo fin y al mecanismo que da movimiento a un dispositivo.

Pueden clasificarse en dos grandes categorías:

- (1) Las máquinas simples
- (2) Los motores y otras máquinas complejas.



Los elementos que componen una máquina son:

Motor: es el mecanismo que transforma una fuente de energía en trabajo requerido.

Los motores también son máquinas, con el propósito de transformar la energía original (eléctrica, química, potencial, cinética) en energía mecánica en forma de rotación de un eje o movimiento alternativo de un pistón. Aquellas máquinas que realizan la transformación inversa, cuando es posible, se denominan máquinas generadoras o generadores, y aunque pueda pensarse que se circunscriben a los generadores de energía eléctrica, también deben incluirse en esta categoría otros tipos de máquinas como lo son las bombas y los compresores.

Mecanismo: Conjunto de elementos mecánicos, destinados a transformar la energía proporcionada por el motor en el efecto útil buscado.

Bastidor: Estructura rígida que soporta el motor y el mecanismo, garantizando el enlace entre todos los elementos.

Componentes de seguridad: son aquellos que, sin contribuir al trabajo de la máquina, tienen como función proteger a las personas que trabajan con ella. Actualmente es de suma importancia en la industria, la protección de los trabajadores, atendiendo al imperativo legal y económico, así como a la condición social de una empresa, lo que constituye el campo de la seguridad laboral, que está comprendida dentro del concepto más amplio de prevención de riesgos laborales, es por ello la importancia de llevar un plan de mantenimiento a estos elementos para su correcto funcionamiento.



1.2 Máquinas eléctricas

Una máquina eléctrica es un dispositivo que convierte energía mecánica en energía eléctrica o energía eléctrica en energía mecánica. Cuando se utiliza para convertir energía mecánica en energía eléctrica se denomina generador, y cuando convierte energía eléctrica en energía mecánica, haciendo girar un eje, se llama motor. Dicho motor se puede clasificar en motor de corriente continua CC o motor de corriente alterna CA.

En su mayoría, los motores y generadores útiles convierten la energía de una forma a otra a través de la acción de campos magnéticos.

Existen tres grupos de máquinas: motores, generadores y transformadores.

Existen diferentes tipos de motores eléctricos:

- Motores síncronos (máquinas síncronas que se utilizan para convertir potencia eléctrica en potencia mecánica).
- Motores de CC (corriente continua)
- Motores asíncronos o de inducción
- Motores de corriente alterna de colector. Motores universales.

Generador: Cuando convierte energía mecánica en energía eléctrica

Usos:

- Centrales eléctricas.
- Fuentes de energía para equipos en general
- Medios de transporte (autos, aviones, barcos, etc)



1.3 Tipos de máquinas eléctricas

Existen dos tipos de máquinas eléctricas: rotativas y estáticas.

Las rotativas están compuestas por partes giratorias, como lo son los dínamos que absorben energía mecánica y suministran energía eléctrica, alternadores, motores que absorben energía eléctrica y suministran energía mecánica y generadores eléctricos.

Tienen una parte fija (estator) y una parte móvil (rotor). El rotor gira en el interior del estator y el espacio de aire existente entre ambos se denomina entrehierro.

Las estáticas son las que no están compuestas por partes móviles como por ejemplo los transformadores.

1.4 Máquinas síncronas

La máquina síncrona o sincrónica es una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna cuya velocidad de rotación del eje y la frecuencia eléctrica están sincronizadas y son mutuamente dependientes. La máquina puede operar tanto como motor o como generador. Como motor síncrono convierte la energía eléctrica en energía mecánica, la velocidad de rotación del eje depende de la frecuencia de la red eléctrica a la que se encuentra conectado, o bien convierte energía mecánica en energía eléctrica. En este caso es utilizada como generador síncrono y la frecuencia entregada en las terminales dependerá de la velocidad de rotación y del número de polos la misma.

Son utilizadas primordialmente como generadores de corriente alterna; en menor medida como motores de corriente alterna, ya que no presentan par de arranque como tal y se deben emplear diferentes métodos de arranque y aceleración hasta alcanzar la velocidad de

sincronismo. Otra aplicación que tienen es para controlar la potencia reactiva de la red, (corrección del factor de potencia).

Por lo tanto, hay dos tipos principales de máquinas de corriente alterna, síncronas y de inducción. La principal diferencia entre los dos tipos radica en que las máquinas síncronas requieren que se les suministre una corriente de campo de cd a sus rotores, en tanto que las máquinas de inducción (también llamadas máquinas asíncronas o motor jaula de ardilla) inducen una corriente de campo a sus rotores por medio de una acción transformadora.

Si se suministra un sistema de corrientes trifásico a un sistema de tres bobinas espaciadas 120 grados eléctricos en un estator se producirá un campo magnético giratorio uniforme dentro del estator. La dirección de rotación del campo magnético se puede invertir simplemente conmutando las conexiones de dos de las tres fases. De manera inversa, un campo magnético giratorio producirá un conjunto de voltajes trifásicos dentro del grupo de bobinas.

Los motores de corriente alterna tienen dos partes básicas Rotor y Estator.

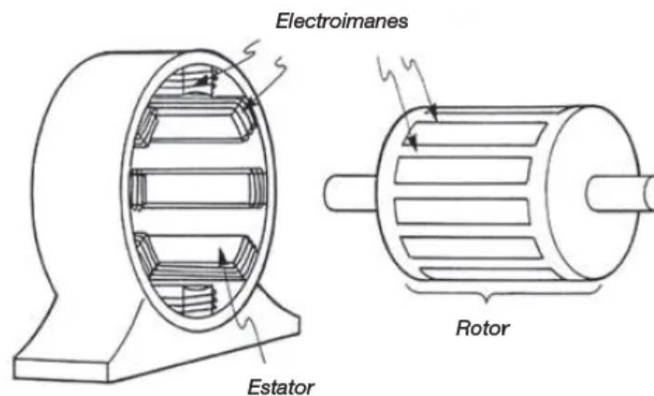


Figura 1.4 Rotor y Estator síncrono



El estator está en la parte fija, y consta de un grupo de electroimanes individuales dispuestos de manera que forman un cilindro hueco con un polo de cada cara de los imanes hacia el centro del grupo. El rotor es la parte que gira y consiste en un grupo de electroimanes dispuestos alrededor de un cilindro. Si cambiamos progresivamente la polaridad de los polos del estator de tal manera que su campo magnético combinado rote, el campo magnético del rotor seguirá al campo magnético giratorio del estator produciéndose así un acoplamiento de los polos. Logrando que los polos magnéticos de estator y rotor quedan bloqueados magnéticamente, con ello se consigue el giro mecánico del rotor. Tenemos un motor síncrono.

En la figura 1.5 puede verse como el rotor tratará de alinearse con el campo magnético del estator, y al ser este un campo magnético giratorio producirá el giro del rotor.

El rotor de los motores síncronos está formado ya sea por imanes permanentes o bien por un rotor bobinado y es alimentado con corriente continua mediante anillos rozantes.

El rotor girará a la misma velocidad que el campo magnético del estator, y que es igual a «60», multiplicado por la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectado el motor dividido por el número de pares de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como «velocidad de sincronismo». Por lo tanto, la velocidad del rotor será la misma que la del campo magnético creado en el estator.

La expresión matemática que relaciona la velocidad de la máquina con los parámetros mencionados es:

$$n = \frac{60 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot f}{p}$$

donde:



f: Frecuencia de la red eléctrica a la que está conectada la máquina (Hz)

P: Número de pares de polos que tiene la máquina

p: Número de polos que tiene la máquina

n: Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto)

Los motores síncronos se usan en máquinas grandes que tienen una carga variable y necesitan una velocidad constante.

1.5 Motor de inducción en máquinas síncronas

Una alternativa es llevar al motor síncrono a la velocidad de sincronismo mediante un motor auxiliar, y una vez alcanzada esa velocidad desacopla el motor auxiliar.

Otra solución más ingeniosa para los motores síncronos con rotor alimentado con corriente continua es insertar un motor de inducción jaula de ardilla en el rotor, similar a la jaula de ardilla del motor asíncrono.

En el arranque el rotor no es alimentado con corriente continua y puesto que dispone de una jaula de ardilla se comportará como un motor asíncrono (también llamado motor de inducción), una vez arranque y se aproxime a la velocidad de sincronismo, (la velocidad siempre será algo menor debido al deslizamiento del motor asíncrono) conectamos la alimentación de corriente continua en el rotor produciéndose así el acoplamiento magnético entre los polos del rotor y el estator, entonces el rotor gira a la velocidad de sincronismo.

Una vez que el rotor alcanza la velocidad de sincronismo, en el motor de inducción se deja de producir corriente eléctrica, ya que las espiras del rotor dejan de ver un campo magnético variable desapareciendo así su efecto en el motor.

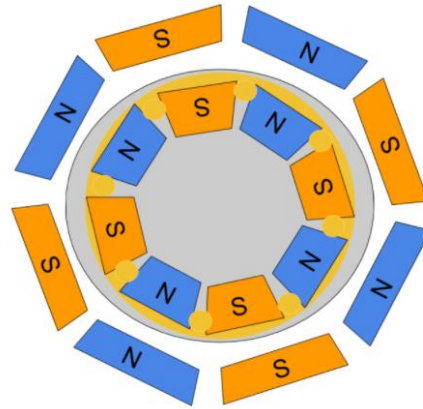


Figura 1.5 Jaula de ardilla en motor síncrono

1.5.1 Características de la máquina síncrona

La potencia nominal de la máquina síncrona se define como la que puede suministrar sin que la temperatura llegue a los límites admitidos por los materiales aislantes empleados. Cuando la máquina síncrona trabaja en esta potencia se dice que está trabajando a plena carga. Cuando una máquina trabaja durante breves instantes, pero a una potencia superior a la nominal se dice que está trabajando en sobrecarga.

1.5.2 Tipos de servicio de la máquina síncrona

Una máquina síncrona puede utilizarse como:

Servicio continuo: Que corresponde a una carga constante durante un tiempo suficientemente largo como para que la temperatura llegue a estabilizarse.

Servicio continuo variable: Se da en máquinas que trabajan constantemente, pero en las que el régimen de carga varía de un momento a otro.



Servicio intermitente: Los tiempos de trabajo están separados por tiempos de reposo. Factor de marcha es la relación entre el tiempo de trabajo y la duración total del ciclo de trabajo.

Servicio unihorario: La máquina está una hora en marcha a un régimen constante superior al continuo, sin alcanzar la temperatura que ponga en peligro los materiales aislantes. La temperatura no llega a estabilizarse.

1.6 Generadores

Los generadores síncronos o alternadores son máquinas síncronas que se utilizan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna, esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator). Si se produce mecánicamente un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generará una fuerza electromotriz (F.E.M.). Este sistema está basado en la ley de Faraday.

Aunque la corriente generada es corriente alterna, puede ser rectificadas para obtener una corriente continua.

En un generador síncrono se produce un campo magnético en el rotor ya sea mediante el diseño de éste como un imán permanente o mediante la aplicación de corriente directa a su devanado para crear un electroimán. En seguida, el rotor del generador gira mediante un motor primario, y produce un campo magnético giratorio dentro de la máquina. Este campo magnético giratorio induce un conjunto de voltajes trifásicos dentro de los devanados del estator del generador.

Dos términos utilizados para describir los devanados de una máquina son devanados de campo y devanados del inducido. El devanado de campo se aplica a los devanados que

producen el campo magnético principal en la máquina, mientras que el devanado inducido se aplica a los devanados donde se induce el voltaje principal. En las máquinas síncronas, los devanados de campo están en el rotor, por lo que los términos devanados del rotor y devanados de campo se utilizan indistintamente. De manera similar, los términos devanados del estator y devanados del inducido se utilizan de manera indistinta.

El rotor de un generador síncrono consta de un electroimán grande. Existen dos tipos de polos magnéticos del rotor, tanto salientes como no salientes. El término saliente quiere decir que está proyectado hacia “afuera” o “prominente” y un polo saliente es un polo magnético proyectado hacia afuera del eje del rotor. Por otro lado, un polo no saliente es un polo magnético construido al mismo nivel de la superficie del rotor.

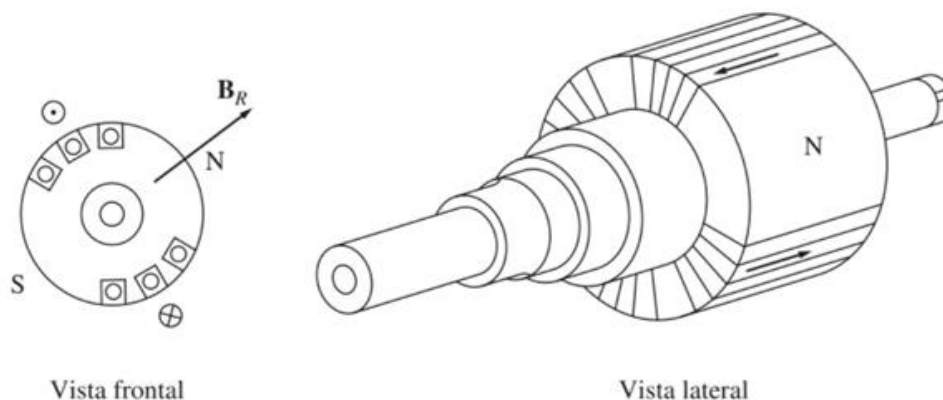


Figura 1.6 Rotor de dos polos no salientes de una máquina síncrona.

Debido a que el rotor está sujeto a campos magnéticos variables, es construido con láminas delgadas para reducir las pérdidas por corrientes parásitas.

Se debe suministrar corriente directa al circuito de campo del rotor. Puesto que éste gira, se requiere de un arreglo especial para que la potencia de cd llegue a los devanados de campo. Existen dos formas comunes de suministrar esta potencia de cd:

1. Suministrar al rotor la potencia de cd desde una fuente externa de cd por medio de anillos rozantes y escobillas.
2. Suministrar la potencia de cd desde una fuente de potencia de cd especial montada directamente en el eje del generador síncrono.

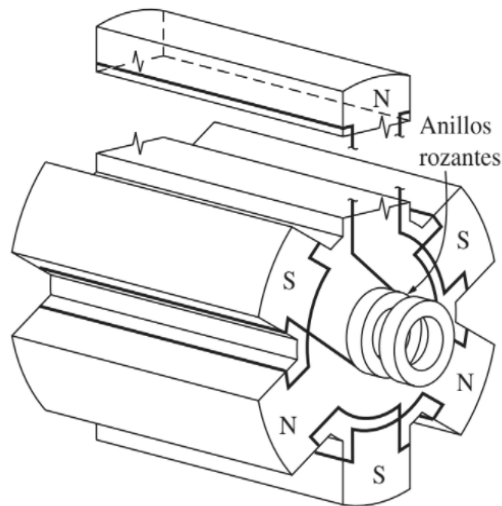


Figura 1.6A Rotor de seis polos salientes de una máquina síncrona.

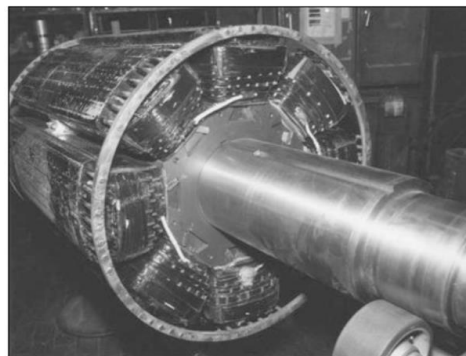


Figura 1.6B Fotografía del rotor de una máquina síncrona con ocho polos salientes que muestra los devanados de los polos del rotor individuales. (Cortesía de General Electric Company.)

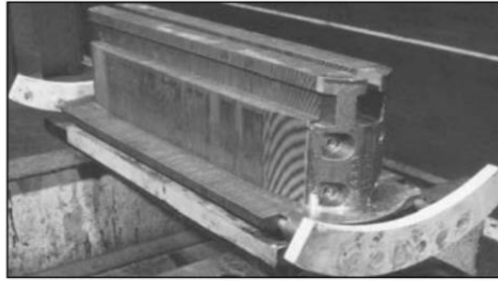


Figura 1.6C Fotografía de un solo polo saliente de un rotor sin los devanados de campo instalados. (Cortesía de General Electric Company.)

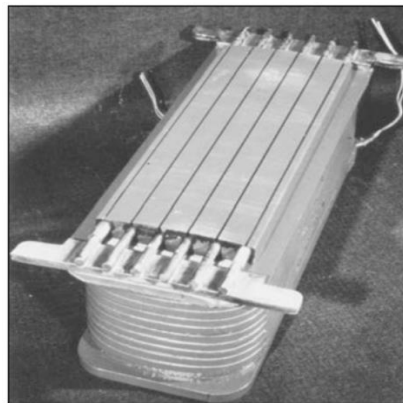


Figura 1.6D Un solo polo saliente después de que se han instalado los devanados de campo, pero antes de que se monte en el rotor. (Cortesía de Westinghouse Company.)

1.6.1 Partes de un generador síncrono

Un generador síncrono está formado por varios elementos, sin embargo, las partes principales son: el estator, la carcasa, el rotor, la caja de conexiones.

Estator

El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente. Existen dos tipos: estator de polos salientes y estator ranurado.



Está constituido principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio (y se les llama “paquete”), mismas que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad; la parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos.

Los polos de un motor siempre son pares (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10, etc.), por ello el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur).

Rotor

El rotor es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete, y pueden ser básicamente de tres tipos:

- a) Rotor ranurado
- b) Rotor de polos salientes
- c) Rotor jaula de ardilla

Carcasa

La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación, la carcasa puede ser:

- a) Totalmente cerrada
- b) Abierta
- c) A prueba de goteo
- d) A prueba de explosiones
- e) De tipo sumergible



Caja de conexiones

En la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones. La caja de conexiones es el elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándose de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.

1.7 Máquinas asíncronas

El motor asíncrono, motor asincrónico o también llamado motor de inducción es un motor eléctrico de corriente alterna la cual puede ser trifásica, bifásica o monofásica. De acuerdo al tipo de alimentación puede variar un poco el diseño, pero el principio de funcionamiento siempre es el mismo, en el cual su rotor gira a una velocidad diferente a la del campo magnético del estator, la parte rotatoria o rotor está constituido por un conjunto de barras conductoras paralelas a la dirección axial y dispuestas en forma cilíndrica alrededor del eje.

Son los más económicos, duraderos y de menor mantenimiento, ya que carecen de carbones, escobillas o colectores en el rotor, que no necesitan conectarse eléctricamente a ninguna fuente de corriente externa.

1.7.1 Funcionamiento del motor jaula de ardilla

El principio de funcionamiento se basa en la generación de un campo magnético rotatorio en el centro del motor, por parte de un bobinado estático en su periferia, el cual se alimenta con corriente alterna.

Dicho campo magnético rotatorio induce corrientes en las barras que conforman la jaula del rotor, y estas corrientes a su vez producen un campo magnético secundario que interactúa con el campo primario, produciendo un torque o momento sobre el rotor.



La clave del funcionamiento está en la producción de un campo magnético rotatorio perpendicular al eje de rotación. Este campo rotatorio ejerce una fuerza magnética de torsión sobre las barras longitudinales de la jaula cuando circula corriente.

Para generar la corriente en las barras conductoras paralelas al eje de rotación de la jaula, no se precisa una fuente de corriente exterior, ya que el propio campo rotatorio, por inducción magnética, es capaz de inducir una corriente sobre las barras de la jaula, siempre y cuando exista una diferencia entre la velocidad de rotación del campo magnético y la velocidad de rotación del rotor.

En todo motor eléctrico se distinguen dos partes:

Estator, la parte periférica del motor que está fija respecto a la carcasa del mismo.

Rotor, parte central rotatoria del motor.

En el estator se encuentra un paquete de láminas ranuradas y esmaltadas (para evitar corrientes parásitas o de Foucault) y de alta permeabilidad magnética.

Por el ranurado pasan los cables cubiertos con barniz aislante que forman, como mínimo, tres arrollamientos o bobinas, desfasadas en 120° . Las tres bobinas se alimentan con corriente alterna trifásica y cada fase adelantada también en 120° respecto de la anterior.

En cada instante la superposición de los campos magnéticos da un campo resultante perpendicular al eje de rotación del motor. A medida que avanza el tiempo, el campo magnético combinado de las tres bobinas mantiene su amplitud, pero su dirección siempre perpendicular al eje de rotación rota con una frecuencia igual al de la corriente alterna, generalmente entre 50 y 60 Hz.



1.7.2 Ventajas

Los motores jaula de ardilla tienen numerosas ventajas respecto a otros tipos de motores eléctricos.

En igualdad de potencia, los motores jaula de ardilla, son más compactos y de menor peso que los motores síncronos, son completamente escalables, es decir se pueden construir desde motores muy pequeños hasta muy grandes, el torque o par de giro de los motores jaula de ardilla es generalmente mayor que el de otro tipo de motores, muy apropiados para el uso pesado.

La eficiencia de los motores trifásicos de jaula de ardilla es superior al 70%. Los motores monofásicos asíncronos tienen un rendimiento menor, pero siempre superior a los motores de corriente continua.

Debido al desarrollo de la electrónica de potencia, es posible controlar la velocidad de dichos motores en forma electrónica, variando la frecuencia de la corriente.

1.7.3 Desventajas

Entre las principales desventajas se pueden citar:

En el momento de arranque los motores de inducción tienen una alta demanda de corriente, por lo que no son indicados para aplicaciones en las que el motor debe arrancar y parar constantemente, ya que supondría una sobrecarga en el sistema eléctrico.

Aun cuando la electrónica de potencia ha avanzado, su velocidad de rotación no es tan controlable como la de los motores de paso.



1.8 Transformadores

El transformador es un dispositivo eléctrico relacionado con las máquinas eléctricas. Su función es cambiar las magnitudes de tensión y de corriente del lado primario al lado secundario. Operan sobre los mismos principios que los motores y los generadores ya que utilizan la acción de un campo magnético para realizar el cambio de nivel de tensión.

Se consideran máquinas estáticas debido a que no poseen partes en movimiento continuamente, ya que por inducción electromagnética transforma la energía eléctrica de uno a más circuitos a la misma frecuencia, generalmente con valores cambiados de tensión y corriente.

Consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas (normalmente) no están conectadas en forma directa. La única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo.

Uno de los devanados del transformador se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna y el segundo (y quizá el tercero) suministra energía eléctrica a las cargas. El devanado del transformador que se conecta a la fuente de potencia se denomina devanado primario o devanado de entrada, y el devanado que se conecta a la carga se denomina devanado secundario o devanado de salida. Si hay un tercer devanado en el transformador, se llama devanado terciario.

1.8.1 Tipos de transformadores

Existen tres tipos de transformadores, dependiendo de la aplicación requerida, es que son seleccionados e instalados.



El transformador se fabrica en materiales que soportan las condiciones de intemperie, así como con características específicas de construcción para el tanque que contiene el líquido aislante.

- **Transformador monofásico**

Un transformador monofásico es aquel que posee dos polos: fase y neutro. Está formado por dos embobinados: uno de alta y otro de baja. Es común utilizar arreglos de transformador usando dos o tres transformadores para formar un sistema bifásico o trifásico.

Algunas de las áreas industriales donde el transformador monofásico tiene incidencia

- Industrias dedicadas a la fabricación de televisores: Es utilizado para regular el voltaje
- En industrias de productos electrónicos: Su participación en este campo está sujeta a su capacidad para facilitar baja tensión
- Fábrica de productos domésticos: Su aplicación está relacionada al aumento de potencia que requieren algunos artefactos para el hogar
- En centros comerciales: Para generar iluminación
- En zonas urbanas: Generan iluminación de menor voltaje

- **Transformador bifásico**

El transformador bifásico cuenta con dos fases y un neutro, por lo que tiene 4 embobinados: dos de alta y dos de baja. Tiene aplicación en instalaciones comerciales o en aplicaciones especiales.

- **Transformador trifásico**



El transformador trifásico tiene tres fases y por lo tanto está formado por 6 embobinados: tres de alta y tres de baja. Maneja conexiones en delta - estrella ó cualquier combinación de ellas.

1.8.2 Transformador de instrumentos

Los transformadores para instrumentos tienen como función principal reducir a valores normales y no peligrosos, las características de tensión y corriente en un sistema eléctrico; la correcta selección de estos transformadores implica una disminución de niveles de aislamiento, capacidad y por lo mismo, del tamaño y costo del equipo, además de ser una pieza clave para garantizar la correcta medición de estos parámetros y la operación óptima de los sistemas de protección en caso de alguna falla en el sistema.

Las tareas principales de los transformadores de instrumentación son las siguientes:

- Transformar las corrientes o las tensiones por lo general de un valor alto a un valor bajo que sea manejable para los equipos de medición y protección.
- Aislar el circuito de medición del sistema de alta tensión primaria.
- Ofrecer posibilidades de estandarización de los instrumentos y relevadores.

Los transformadores de Medición y Protección son un tipo especial de transformadores destinados a medir las corrientes y las tensiones del sistema eléctrico. Las leyes comunes para los transformadores de potencia también son válidas para este tipo de transformadores.

1.8.3 Transformador de corriente

El transformador de corriente, conocido como TC, es una máquina estática de corriente alterna diseñado para suministrar la corriente adecuada a los aparatos de medición y/o protección, el cual la corriente secundaria es proporcional a la corriente primaria y desfasada respecto a ella un ángulo cercano a cero, en las condiciones normales de uso.

El primario de dicho transformador está conectado en serie con el circuito que se desea controlar, en tanto que el secundario está conectado a los circuitos de corriente de uno o varios aparatos de medición, relevadores o aparatos análogos, conectados en serie.

Un transformador de corriente puede tener uno o varios devanados secundarios embobinados sobre uno o varios circuitos magnéticos separados.

La principal función de un transformador de corrientes es la de reducir a valores no peligrosos y manejables, las características de corriente en un sistema eléctrico con el fin de permitir el empleo de aparatos de medición normalizados, por consiguiente, más económicos y que pueden manipularse sin peligro. En la siguiente figura se muestran algunos tipos de transformadores de corriente.



Figura 1.8 Tipos de transformadores de corriente

1.8.3.1 Clasificación de los transformadores de corriente

Los transformadores de corriente pueden clasificarse de diversas maneras de acuerdo con sus características principales.

De acuerdo con su construcción, los transformadores de corriente se clasifican como:

a) Tipo devanado primario. Este como su nombre lo indica tiene más de una vuelta en el primario. Los devanados primarios y secundarios están completamente aislados y ensamblados permanentemente a un núcleo laminado. Esta construcción permite mayor precisión para bajas relaciones.

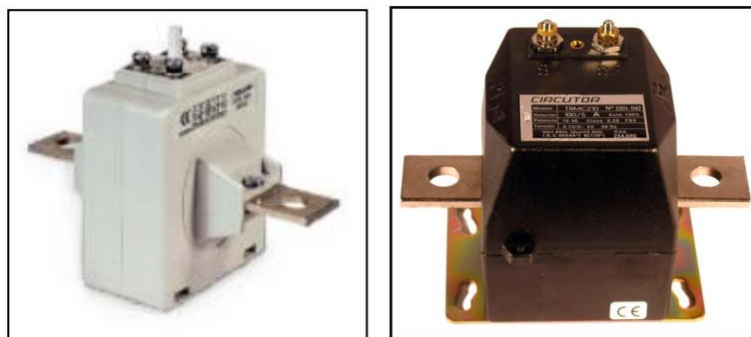


Figura 1.8A Tipo devanado primario

b) Tipo Barra. Los devanados primarios y secundarios están completamente aislados y ensamblados permanentemente a un núcleo laminado. El devanado primario, consiste en un conductor tipo barra que pasa por la ventana de un núcleo.

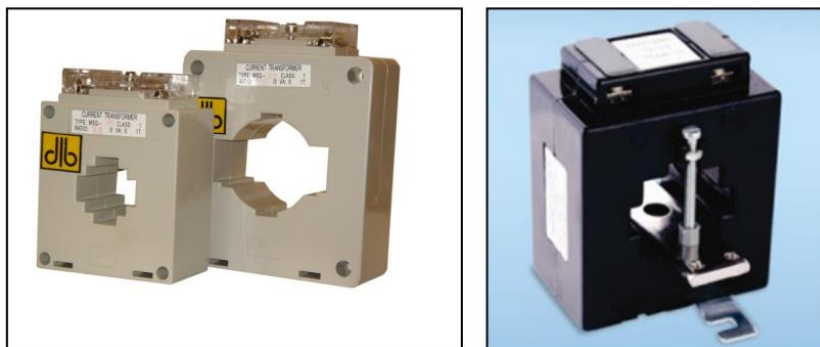


Figura 1.8B Tipo barra

c) Tipo boquilla (Bushing). Está formado por un núcleo toroidal y un devanado secundario ensamblado permanentemente a un núcleo laminado. Estos transformadores utilizan un

conductor totalmente aislado como devanado primario que pasa a través del núcleo, generalmente está contenido en la boquilla de otro equipo.



Figura 1.8C Tipo boquilla (Bushing)

d) Tipo ventana. Tienen un devanado secundario aislado del núcleo y ensamblado permanentemente a él, pero no cuenta con un devanado primario como parte integrada al transformador. Está provisto con aislamiento completo para que un conductor primario pase a través de la ventana.



Figura 1.8D Tipo ventana

1.8.4 Simbología

Las normas establecen una nomenclatura y simbología estándar para los transformadores de corriente. A continuación, se muestran algunos de los símbolos más utilizados para representar un TC en un diagrama eléctrico:


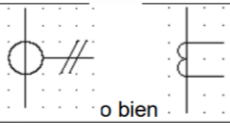
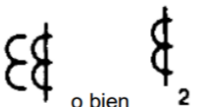

Símbolo	Norma
	NMX-136-ANCE
 o bien	IEC 60617
TC con varios devanados  o bien ₂ Para TC tipo boquilla 	IEEE-315

Figura 1.8E Simbología para Transformadores de corriente

1.8.5 Transformador de potencial “TP”

Un transformador de potencial se define como un transformador de instrumento usado para la transformación de voltaje, de un valor mayor a uno menor. Este reduce el voltaje a un límite seguro, el cual puede ser fácilmente medido por un dispositivo ordinario de bajo voltaje, como un voltímetro.

Este se conecta a través o paralelamente a la línea, la cual se mide para registrar errores de relación o de ángulo. Este tipo especial de transformador permite que un medidor tome lecturas de conexiones de servicio eléctrico con una clasificación de voltaje (potencial) más alta que la que el medidor normalmente es capaz de manejar cuando hablamos de factor de potencia, y sin errores.

En los transformadores de potencial, el voltaje del devanado secundario debe ser proporcional al voltaje del devanado primario, de tal manera que la caída de tensión en los devanados sea pequeña y que la densidad del flujo magnético del núcleo esté por debajo de la saturación, por lo que tienen la siguiente finalidad:

- Aislar el circuito secundario (de baja tensión) del circuito primario (de alta tensión).



- Reproducir lo más fielmente posible en el circuito secundario, los efectos transitorios y de régimen permanente aplicados al circuito primario.

- Los transformadores sostienen una carga de 10 veces su potencial nominal sin exceder los valores críticos de temperatura.

1.8.5.1 Aplicaciones de los transformadores de potencial

Al transformador de potencial se le puede dar los siguientes usos:

- En circuitos de relevadores y medición.
- Para proteger a los alimentadores.
- En circuitos de comunicación que portan línea eléctrica.
- En sistemas de protección eléctrica.
- Para proteger generadores de la impedancia.
- En la sincronización de generadores y alimentadores.
- Como transformadores de voltaje de protección.

1.8.5.2 Ventajas en el uso de un transformador de potencial

- El amperímetro y el voltímetro pueden conectarse, respectivamente, para controlar la alta corriente y el voltaje.
- La operación de estos instrumentos se utiliza para trabajar en muchas formas de dispositivos de protección, como relevadores y luces piloto.
- Un solo transformador de potencial se puede utilizar para controlar varios instrumentos.
- Se emplean, en esencia, para proteger un sistema, ya que los devanados del instrumento no se encuentran conectados directamente a la red, en el caso del alto voltaje. Por esta



razón, es necesario reducir el voltaje de entrada, así como aislar el sistema de protección de la red primaria.

1.8.5.3 Tipos de transformadores de potencial

Existen tres tipos de acuerdo con su función: electromagnético, capacitor y de protección:

- Electromagnético

Es similar al transformador principal, donde los devanados primarios y secundarios están enrollados en un centro magnético. Opera basado en un valor superior o inferior a 130 kV. La sección primaria se determina basándose en la fase, mientras que la secundaria está conectada a tierra. Se emplean en relevadores, mediciones y redes de alto voltaje.

- Capacitor

Las series de capacitores están conectadas al devanado principal o secundario. Mide el voltaje de salida en el devanado secundario. Se utiliza para propósitos de comunicaciones que portan línea eléctrica. Es el más costoso.

- De protección (transformador de voltaje)

Puede ser monofásico o trifásico, y trabaja con la mayor precisión. Se utiliza para realizar y monitorear tareas de medición de instrumentos, relevadores y otros dispositivos. En el presente trabajo, utilizamos transformadores de potencial de protección.

1.8.6 Selección de transformadores como instrumento de medición

En general los equipos eléctricos deben cumplir con una normatividad de construcción con lo que se asegura que el proceso de fabricación, parámetros, pruebas y materiales del equipo están estandarizados y cumplen con lo especificado, los transformadores de corriente y potencial no son la excepción.



El primer paso por seguir para realizar la selección de transformadores de instrumentación es el definir bajo qué normatividad serán especificados y construidos, esto depende de varios factores como son el lugar donde serán instalados, los requerimientos del cliente y los estándares existentes.



CAPÍTULO II

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se analizarán conceptos y definiciones básicas, así como los conceptos de sobre corrientes y sobre voltajes en máquinas eléctricas, específicamente en máquinas síncronas, motores de inducción y transformadores, esto con la finalidad de entender mejor la terminología y comprender los efectos de los experimentos propuestos en la aplicación de los módulos didácticos que se elaboraron para el laboratorio de protección de sistemas eléctricos.

2.1 El resistor

El resistor es un dispositivo eléctrico pasivo que resiste el flujo de corriente eléctrica, es utilizado para controlar o impedir el flujo de la corriente eléctrica en un circuito eléctrico, proporcionando resistencia, desarrollando así una caída de voltaje a través del dispositivo.

Una resistencia R es un dipolo en el que en un instante su tensión u y su corriente i satisfacen una relación definida por una curva en el plano

Esta curva se reconoce como “característica” de la resistencia en el instante. La magnitud R se conoce como resistencia y se mide en ohmios (Ω).

En una resistencia las corrientes y tensiones pueden variar bruscamente.

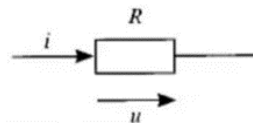


Figura 2.1 El resistor

Un circuito constituido únicamente por resistencias no experimenta ningún tipo de régimen transitorio, y las corrientes y tensiones en esas resistencias siguen instantáneamente las variaciones de la excitación (tensión o corriente).

2.2 El inductor

El inductor es un elemento pasivo capaz de almacenar y entregar cantidades finitas de energía. A diferencia de una fuente ideal, este elemento no puede suministrar una cantidad ilimitada de energía o una potencia promedio finita sobre un intervalo de tiempo de duración infinita. Por definición (Michael Faraday y Joseph Henry), el voltaje en el inductor se define como sigue:

$$v = L \frac{di}{dt}$$

Figura 2.2 Voltaje en el inductor

Donde, v e i son funciones del tiempo y L la inductancia expresada en Henry (H). La ecuación anterior muestra que el voltaje en el inductor es proporcional a la rapidez de cambio (con respecto al tiempo) de la corriente a través de él. También, en un inductor que lleva una corriente constante, el voltaje es cero. De acuerdo a esto, se puede representar a un inductor como un cortocircuito.

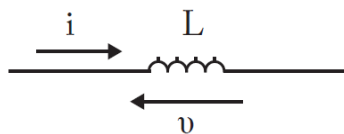


Figura 2.2A El inductor

2.2.1 Características del inductor



- En corriente continua y en estado estable, el inductor se comporta como un cortocircuito, es decir, el voltaje en sus terminales es cero.
- El inductor no permite cambios bruscos de corriente.
- Almacena energía magnética.

2.2.3 Campo magnético

Los campos magnéticos son el mecanismo fundamental para convertir la energía de una forma a otra en motores, generadores y transformadores. Existen cuatro principios básicos que describen cómo se utilizan los campos magnéticos en estos aparatos:

- Un conductor que porta corriente produce un campo magnético a su alrededor.
- Un campo magnético variable en el tiempo induce un voltaje en una bobina de alambre si pasa a través de ella (este principio es la base del funcionamiento del transformador).
- Un conductor que porta corriente en presencia de un campo magnético experimenta una fuerza inducida sobre él (ésta es la base del funcionamiento del motor).
- Un conductor eléctrico que se mueva en presencia de un campo magnético tendrá un voltaje inducido en él (ésta es la base del funcionamiento del generador).

2.3 El capacitor

El capacitor es un elemento pasivo capaz de almacenar y entregar cantidades finitas de energía. A diferencia de una fuente ideal, este elemento no puede suministrar una cantidad ilimitada de energía o una potencia promedio finita sobre un intervalo de tiempo de duración infinita. Por definición, la corriente en el capacitor se define como sigue:

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

Figura 2.3 Corriente en el capacitor

Donde V e i son funciones del tiempo y C , la capacitancia expresada en faradios (F). La ecuación anterior muestra que la corriente en el capacitor es proporcional a la rapidez de cambio (con respecto al tiempo) del voltaje a través de él. En un capacitor que lleva un voltaje constante, la corriente es cero. De acuerdo a esto, se puede representar a un capacitor como un circuito abierto.

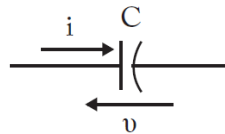


Figura 2.3A El capacitor con su polarización de corriente y voltaje

2.3.1 Características del capacitor

- En corriente continua y en estado estable, el capacitor se comporta como un circuito abierto, es decir, la corriente en el capacitor es cero.
- El capacitor no permite cambios bruscos de voltaje.
- Almacena energía eléctrica.

Representación gráfica	Relación funcional
	Resistencia $v_R(t) = Ri_R(t)$ $p_R(t) = v_R(t)i_R(t)$
	Inductancia $v_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$ $p_L(t) = v_L(t)i_L(t)$
	Capacitancia $i_C(t) = C \frac{dv_C(t)}{dt}$ $p_C(t) = v_C(t)i_C(t)$

Figura 2.3.1 Elementos pasivos en régimen transitorio.

2.4 Respuesta transitoria en circuitos básicos.

Los circuitos básicos están conformados por diferentes combinaciones de dos o tres elementos pasivos; resistencia (R), inductancia (L), capacitancia (C).

Existen tres tipos de circuitos simples:

1. Circuito con una resistencia y un condensador (circuito R-C)
2. Circuito con una resistencia y una bobina (circuito R-L)
3. Circuito con una resistencia, una bobina y un condensador (circuito R-L-C)

Estos circuitos hallan continuas aplicaciones en electrónica, eléctrica, comunicaciones y sistemas de control. Se analizarán los circuitos RC y RL aplicando las leyes de Kirchhoff



produciendo ecuaciones diferenciales de primer orden, motivo por el cual a estos circuitos se les conoce de manera genérica como circuitos de primer orden.

Además de haber dos tipos de circuitos de primer orden (RC y RL), hay dos maneras de excitarlos.

- 1) Mediante las condiciones iniciales de los elementos de almacenamiento de los circuitos. En estos circuitos conocidos como circuitos sin fuente, la energía se almacena inicialmente en el elemento capacitivo o inductivo. La energía causa que fluya corriente en el circuito y se disipa gradualmente en los resistores. Aunque los circuitos sin fuente están por definición libres de fuentes independientes, pueden tener fuentes dependientes.
- 2) Mediante fuentes independientes (fuentes de corriente directa). Los dos tipos de circuitos de primer orden y las dos maneras de excitarse producen cuatro aplicaciones usuales de circuitos RC y RL: circuitos de retraso y relevador, una unidad de flash fotográfico y un circuito de encendido de automóviles.

La modelación de sistemas dinámicos es el punto de partida para el diseño y análisis de sistemas de control en ingeniería; específicamente el análisis de circuitos complejos RLC que contienen elementos de almacenamiento de energía, tales como inductores y capacitores, son bastante útiles en la modelación de diversos dispositivos de uso cotidiano en situaciones prácticas sencillas, como son controladores de temperatura, osciladores y filtros de frecuencia, o mucho más complejas como el análisis de la respuesta de un avión a cambios en las posiciones de los elevadores y los alerones, o como en el caso que nos interesa en el presente trabajo, para el análisis de la respuesta transitoria en máquinas eléctricas y transformadores.



2.5 Respuesta de estado estable y transitorio (dinámica) de un sistema.

La respuesta en el tiempo de un sistema consta de dos partes: la respuesta o régimen transitorios y la respuesta en estado estable o régimen permanente.

2.5.1 Régimen transitorio

Cuando se produce un cambio en las magnitudes de un circuito, tensión o corriente, el circuito se encuentra en régimen transitorio. Al cambiar las condiciones de un elemento de un circuito se pierde el régimen permanente, y tras sucederse los cambios de tensión/ corriente se vuelve de nuevo al equilibrio en otro régimen permanente. Al intervalo entre los dos regímenes permanentes se le denomina régimen transitorio.

Los fenómenos transitorios constituyen más del 80 % de los regímenes de operación de cualquier red eléctrica. La simple conexión o desconexión de los equipos, la variación de las magnitudes de alimentación de una red o de los parámetros que caracterizan sus componentes; además de las fallas producidas, ya sea por factores tecnológicos o medioambientales, provocan condiciones anormales en las redes eléctricas con el consiguiente estrés en los equipos: calentamiento, vibraciones, etc., lo que puede provocar averías y disminuir el tiempo de vida útil de los mismos. El estudio de los procesos transitorios permite predecir qué tanto y por qué tiempo, puede soportar una red los efectos de estos fenómenos; además, suministran datos útiles para el diseño de equipos que actúan como protección, adecuando los circuitos en concordancia con el tipo y la dimensión de los transitorios que más frecuentemente se producen en su entorno. De manera que resulta de gran interés para los ingenieros del perfil eléctrico electrónico adquirir habilidades para calcular, medir y analizar las magnitudes y parámetros que caracterizan a estos procesos.

Aunque generalmente los transitorios son de corta duración, pueden producir problemas serios en el funcionamiento de los circuitos y se ve condicionado por los componentes que almacenan energía: bobinas y condensadores.

El análisis se realiza resolviendo las ecuaciones diferenciales que resultan de aplicar las leyes de Kirchhoff y determinando las constantes de integración que resultan de las condiciones iniciales del circuito. Este método es sencillo de aplicar en circuitos simples, 1er orden y 2º orden, pero es complicado para circuitos de orden superior (Transformada de Laplace).

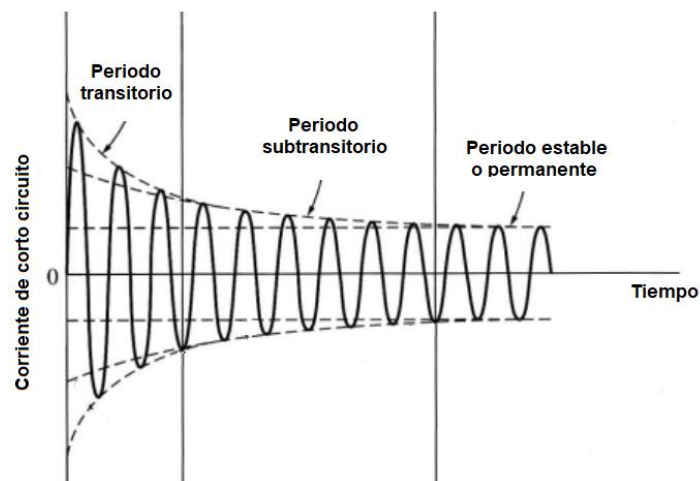


Figura 2.5.1 Corriente de cortocircuito

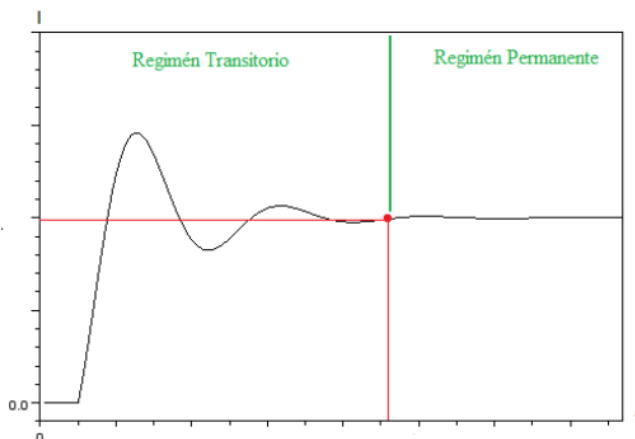


Figura 2.5.1A Régimen transitorio y permanente

2.5.2 Régimen permanente

Se define como régimen permanente a aquel que se caracteriza principalmente por lo siguiente:

- Las excitaciones (fuentes) llevan mucho tiempo aplicadas.
- Las características de las fuentes no cambian con el tiempo.

Es decir, la respuesta del circuito (corrientes y tensiones) son de la misma naturaleza que las excitaciones aplicadas. En general, en los circuitos que funcionan en tal régimen (circuitos de continua DC), los únicos elementos relevantes son fuentes continuas y resistencias.

Las condiciones de estudio se enmarcan en dos vías:

- Régimen permanente continuo.
- Régimen permanente sinusoidal (excitación de tipo sinusoidal).



$$\text{Respuesta completa} = \underset{\text{energía almacenada}}{\text{respuesta natural}} + \underset{\text{fuente independiente}}{\text{respuesta forzada}}$$

$$\text{Respuesta completa} = \underset{\text{parte temporal}}{\text{respuesta transitoria}} + \underset{\text{parte permanente}}{\text{respuesta en estado estable}}$$

La respuesta transitoria v_t es temporal; es la porción de la respuesta completa que decrece a cero conforme el tiempo tiende al infinito. En consecuencia, la respuesta transitoria es la respuesta temporal del circuito, la cual se extinguirá con el tiempo.

La respuesta en estado estable v_{ss} Es la porción de la respuesta completa que permanece después de que la respuesta transitoria se haya extinguido. Así, la primera descomposición de la respuesta completa es en términos de la fuente de las respuestas, mientras que la segunda descomposición es en términos de la permanencia de las respuestas. En ciertas condiciones, la respuesta natural y la respuesta transitoria son lo mismo. Esto también puede decirse de la respuesta forzada y la respuesta en estado estable.

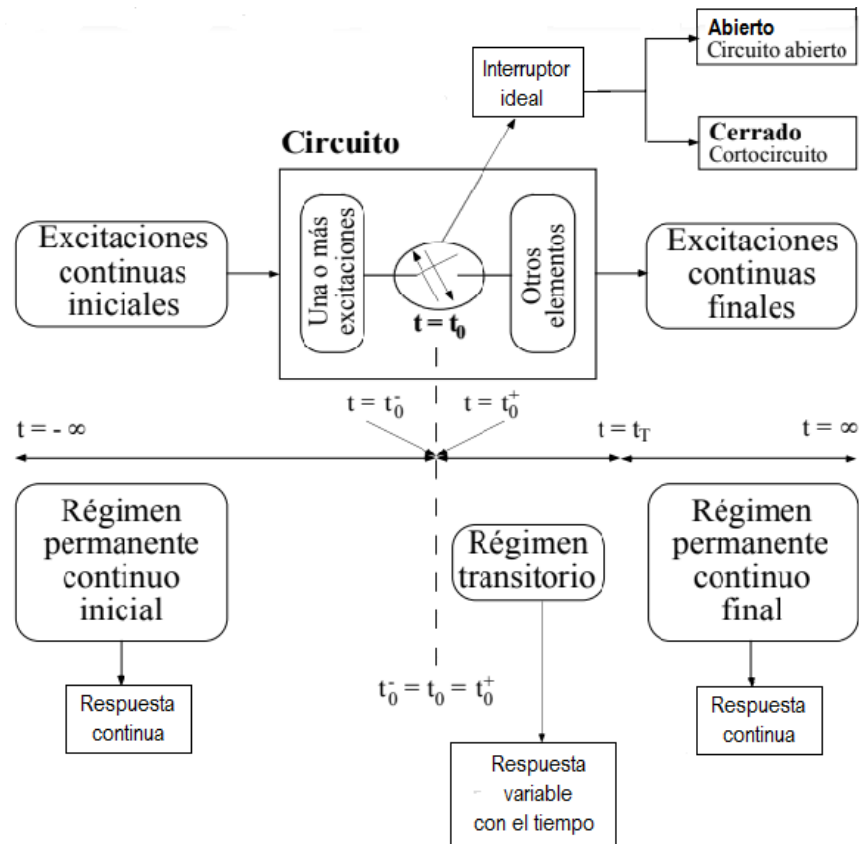


Figura 2.5.2 Notación del régimen transitorio

$t = t_0^-$: final del régimen permanente continuo inicial

$t = t_0^+$: inicio del régimen transitorio

$t = t_T$: final del régimen transitorio; comienzo del permanente continuo final

$t = \infty$: final del régimen permanente continuo final

Salvo que se indique explícitamente lo contrario, se supondrá $t_0 = 0$ s.



2.6 Transitorios en máquinas eléctricas

El motor eléctrico consta de dos comportamientos distintos: En el Arranque (Transitorio) y en el Estado Estable (Permanente).

Las características en ambos son diferentes. Se debe tener claro que la energía total del sistema motor máquina no puede variar bruscamente, ni es posible pasar de una forma de energía a otra instantáneamente. De esta forma, se define un transitorio eléctrico en un convertidor electromecánico cuando la energía varía rápida y temporalmente, y es sólo almacenada en sus campos magnéticos y eléctricos, conservando constante la energía cinética (reflejada en la velocidad). Por otro lado, si la variación de energía incluye también una modificación temporal o permanente de la energía cinética se definirá entonces el fenómeno como de tipo electrodinámico, o más brevemente como un Transitorio Dinámico.

2.6.1 Corriente de arranque en motores de inducción (Inrush current)

El proceso de poner en marcha el motor se conoce como arranque y para que esto sea posible, es necesario que el par de arranque sea superior al par resistente de la carga, de esta forma el motor acelera hasta la condición permanente. El tiempo que demora este proceso varía desde los milisegundos hasta los minutos, esto depende de la dinámica de la carga. Por ejemplo, hay máquinas centrífugas que tardan hasta 10-15 minutos en alcanzar la velocidad nominal. El proceso de arranque se acompaña de un consumo de corriente muy elevado, que es el mayor durante la operación del motor. Lo anterior se debe a que, en el momento del arranque, el campo magnético rotatorio del motor empieza a girar a la velocidad sincrónica, y el rotor aún está detenido, y es el momento de mayor tensión inducida en las barras del rotor. Además, la resistencia de carga es el valor más bajo, prácticamente es un corto circuito, ya

que el deslizamiento tiene un valor de 1. Con estas dos condiciones se produce la corriente elevada de arranque. La siguiente figura muestra el comportamiento típico de la corriente en un motor.

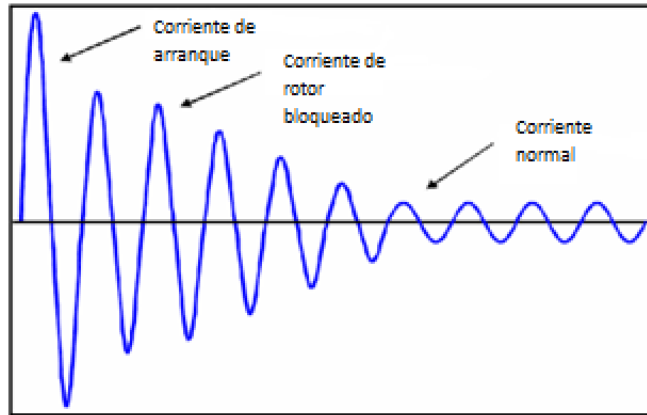


Figura 2.6.1 Comportamiento de la corriente de un motor.

En la figura se aprecian tres momentos desde el proceso de arranque, hasta llegar al valor normal de funcionamiento, estos son:

- 1) **Corriente de Arranque** (Inrush current en inglés), que es la corriente de arranque transitoria e instantánea, y fluye al menos durante un medio ciclo de la onda, puede alcanzar valores desde 10 hasta 20 veces la corriente nominal del motor (FLA por las siglas en inglés de Full Load Ampere).
- 2) **Corriente de Rotor Bloqueado** (LRA por las siglas en inglés de Locked Rotor Ampere). Es la corriente que toma el motor cuando se encuentra detenido y se le aplica su voltaje nominal. La corriente típica de rotor bloqueado para los motores está en el rango entre 6 y 10 veces la corriente nominal del motor. En el primer ciclo del voltaje aplicado se desarrolla la corriente transitoria de arranque que es mayor a la corriente de rotor bloqueado.



- 3) **La Corriente Normal** se define como la corriente de consumo cuando el motor terminó su arranque, y esta varía según el nivel de carga del motor.

2.6.2 Corriente de rotor bloqueado

La corriente de arranque (Inrush) no está definida en las normas de fabricación, depende del diseño de cada fabricante. La que sí aparece en la normativa que guía la construcción de motores eléctricos es la de Rotor Bloqueado. En el caso de motores NEMA (National Electrical Manufacturer Association) Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos con sede en Virginia EUA, el aspecto que aparece en la placa, y que define la corriente de rotor bloqueado con una letra mayúscula, es la Letra de Código (Code Letter en inglés), definida como la corriente consumida a plena tensión con el rotor trabado, sin que este tenga posibilidad de giro. Es una condición estable, no transitoria.

Las normas NEMA han establecido la letra de código para los motores tipo jaula de ardilla, la cual representa las condiciones de partida en KVA por cada HP, cuando el motor parte a plena tensión, por lo que nos entrega información respecto a las corrientes de arranque. Los valores de la letra de código se resumen en la siguiente tabla:

Letra de código	KVAp/HP	Letra de código	KVAp/HP	Letra de código	KVAp/HP
A	0.1-3.14	G	5.6-6.29	N	11.2-12.49
B	3.15-3.54	H	6.3-7.09	P	12.5-13.99
C	3.55-3.99	J	7.1-7.99	R	14.0-15.99
D	4.00-4.49	K	8.0-8.99	S	16.0-17.99
E	4.50-4.99	L	9.0-9.99	T	18.0-19.99
F	5.00-5.99	M	10.0-11.19	U	20.0 y más

Tabla 1. Letra de código para los motores tipo jaula de ardilla

En el caso de motores construidos bajo normas IEC, el dato se expresa directamente como I_a/I_n , esto es la relación de la corriente de arranque a la nominal. Por ejemplo, un motor IEC con indicación $I_a/I_n=8$, significa que la corriente de rotor bloqueado es 8 veces la nominal.

2.7 Transitorios en los transformadores

Cuando un transformador se switchea tiende a extraer una corriente transitoria de alta magnitud, la cual puede ser típicamente de 7-10 veces la corriente nominal del transformador, esta corriente puede causar estos disparos innecesarios en la protección de sobre corriente de entrada del transformador. Aunque se ha encontrado que la corriente es de 10-20 veces la corriente nominal ya que depende de las características propias del diseño del transformador y otros aspectos.

Esta corriente crece abruptamente en la mitad del primer semiciclo a su máximo valor y después decae exponencialmente hasta alcanzar su condición de estado estable de la corriente de magnetización, usualmente en 100ms.

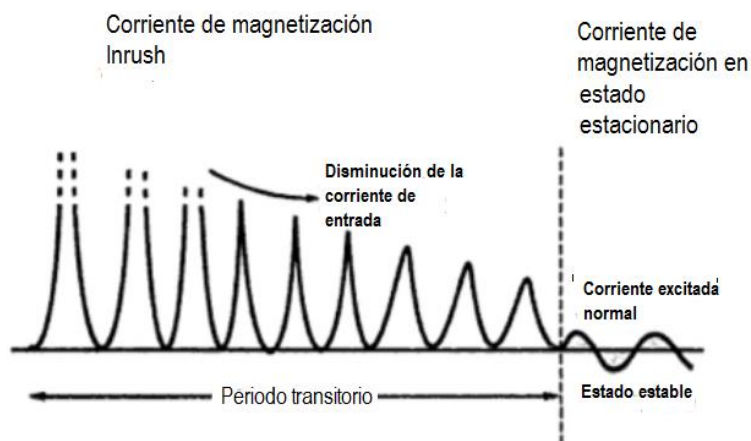


Figura 2.7 Corriente de magnetización Inrush

Es importante saber que este fenómeno no está limitado solamente a transformadores eléctricos sino también a otras cargas como motores eléctricos en corriente alterna.



2.7.1 Switcheo por maniobra en transformadores

Al energizar y desenergizar un transformador la corriente tiene una condición transitoria la cual es muy elevada en un periodo de tiempo muy corto. Aunque esta corriente es de corta duración, este aumento puede crear problemas ya que puede acortar la vida del sistema eléctrico. Este fenómeno es probablemente el proceso transitorio más común asociado a la explosion o daño severo de los transformadores debido a la habitual realización de maniobras de conexión y desconexión. Los elevados valores de esta corriente pueden causar también una serie de efectos nocivos a los sistemas eléctricos, tales como caídas momentáneas de tensión, sobretensiones armónicas temporales, estrés electromecánico en los devanados, deterioro del aislamiento, etc.

Debido a lo mencionado anteriormente, la medición precisa de la corriente de entrada es un elemento crítico de la instalación de un sistema eléctrico.

Como se mencionó anteriormente, existen otras causas que podrían producir este tipo de corriente. La corriente que se produce cuando el transformador es energizado, aunque también, como durante el restablecimiento de la tensión tras un cortocircuito. En esta situación un alto nivel de corriente se presenta en el devanado primario del transformador, mientras que el secundario no se ve afectado. Este fenómeno puede producir un valor suficientemente alto de corriente diferencial como para disparar la protección ya que la corriente fluye solamente en uno de los bobinados del transformador. Sin embargo, estos casos no son condiciones de falla y los relés de protección deben discriminar correctamente el fenómeno de energización de un evento de falla interna.



2.7.2 Características de la corriente por switcheo de maniobra.

Cuando se energiza un transformador, genera la operación indebida de los sistemas de protección asociados al transformador (fusibles y relé de sobrecorriente) perjudica la calidad y la confiabilidad de la energía entregada al consumidor generando efectos como:

- Elevado calentamiento en los bobinados provocando daños de aislamiento.
- Producción excesiva de tensiones mecánicas debido a las fuerzas magnéticas inducidas.
- Huecos de tensión temporarios en el SEP.
- Radio-interferencias con líneas de comunicación próximas.
- Sobretensiones debido a fenómenos de resonancia armónica en sistemas con filtros eléctricos.

2.8 Transitorios de sobrevoltajes por switcheo de maniobra.

2.8.1 Sobrevoltaje

Es el incremento de voltaje por encima de un valor establecido como máximo, entre dos puntos de un sistema, puede ser entre línea a línea o de línea a tierra, ocasionando fallas de aislamiento en los equipos y sistemas.

Un sobrevoltaje es un incremento en el valor eficaz del voltaje en corriente alterna mayor del 110% a la frecuencia del sistema con una duración mayor de un minuto, siendo un voltaje anormal entre dos puntos de un sistema, siendo este voltaje más grande que el mayor voltaje de estos dos puntos, bajo condiciones normales de servicio.

Los sobrevoltajes son usualmente el resultado de switcheo de cargas (por ejemplo, desconexión de cargas grandes) o variaciones de la compensación reactiva de un sistema (por ejemplo, conexión de banco de capacitores). Son el resultado de que el sistema sea pobre en regulación de voltaje deseado o el control de voltaje es inadecuado.



Se originan por diferentes causas las cuales ocurren durante la operación normal del sistema por lo cual se requiere un medio de protección seguro para evitar daños a causa de una falla. Estos sobrevoltajes pueden ser del tipo de baja frecuencia, temporal y transitorio (alta frecuencia). La mayoría de los sobrevoltajes son transitorios durando unos cuantos ciclos en microsegundos.

Los transitorios originados por switcheos en los sistemas de potencia emanan de la energía atrapada en cargas que serán desconectadas o de eventos que toman lugar en el interruptor al momento de abrir o cerrar. En general los transitorios aparecen cuando un cambio tiene lugar en el sistema. El cierre o apertura de un interruptor es un cambio abrupto. Durante el cierre de los elementos mecánicos del interruptor, los contactos de este pueden rebotar, o un pre-encendido puede ocurrir antes del cierre de los contactos. El más simple de los transitorios debidos al switcheo es típicamente limitado a dos veces el valor de pico del voltaje normal, pero en algunas condiciones puede llegar a ser hasta tres veces el valor pico del voltaje.

2.8.2 Efectos en los equipos debido a los sobrevoltajes

Los sobrevoltajes pueden causar fallos en los equipos. Los dispositivos electrónicos pueden experimentar falla inmediata durante las condiciones de sobrevoltaje, sin embargo, transformadores, barras de switcheo, TC's, TP's y máquinas rotatorias generalmente no muestran falla inmediata. El sobrevoltaje sostenido en los equipos anteriores, pueden resultar en pérdida de vida útil para el equipo. Una condición de sobrevoltaje en algunos relevadores de protección puede dar como resultado operaciones no deseadas, mientras otros no se afectarán.

2.9 Cortocircuito en la máquina síncrona.

2.9.1 Cortocircuito permanente trifásico en bornes del inducido

Se produce un cortocircuito trifásico en bornes de una máquina síncrona cuando los tres conductores de fase se ponen simultáneamente en contacto, justo en bornes del inducido de la máquina. Este cortocircuito es simétrico y, por consiguiente, bastará con analizar lo que sucede en una de las fases. La corriente de cortocircuito que se produce en cada fase del inducido pasará por un período transitorio y, posteriormente, alcanzará un régimen permanente.

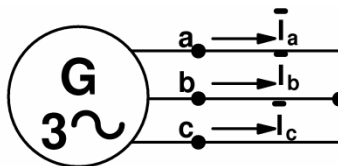


Figura 2.9.1 Cortocircuito trifásico en bornes de una máquina síncrona

En la siguiente figura, se muestra un ejemplo de la evolución de las corrientes de las tres fases del inducido de una máquina síncrona durante un cortocircuito trifásico brusco.

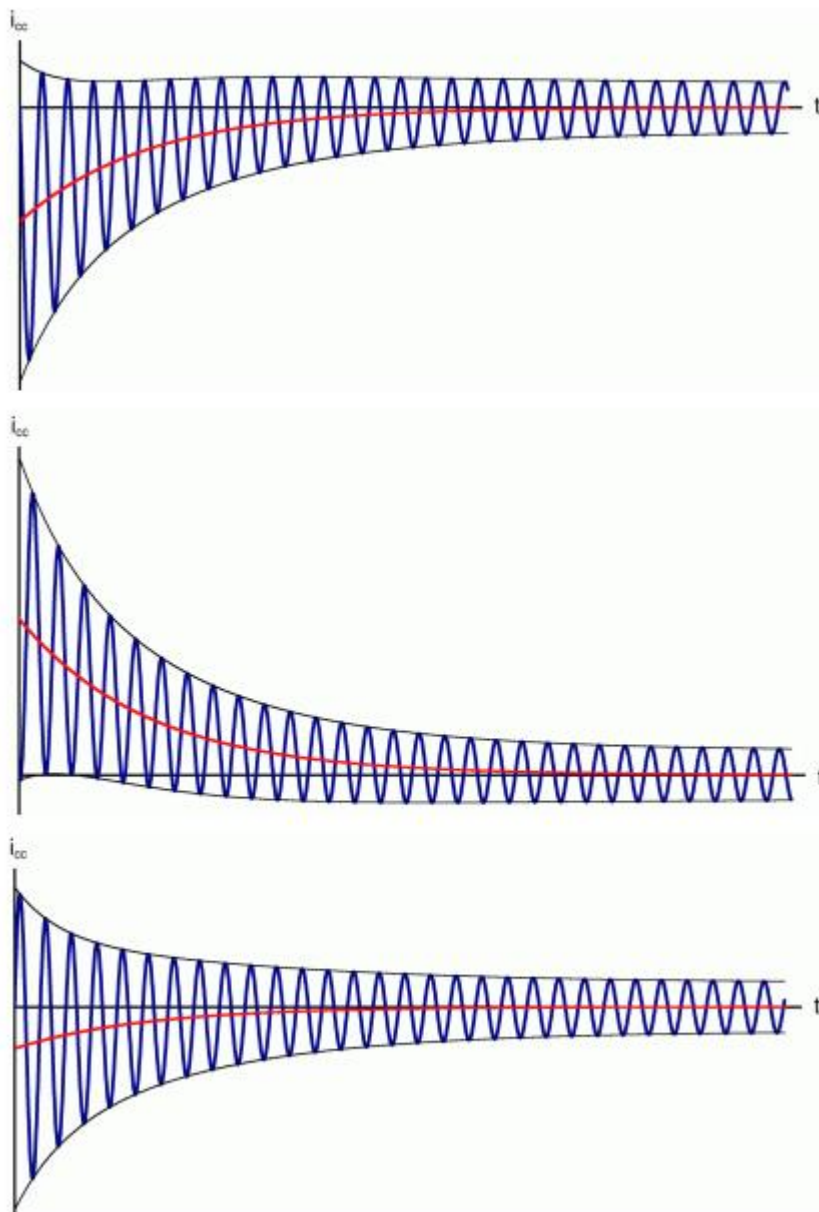


Figura 2.9.1A Corrientes de cortocircuito brusco en las tres fases del inducido de una máquina síncrona

2.9.2 Cortocircuitos asimétricos bruscos

Si se produce un cortocircuito asimétrico habrá un régimen transitorio en las corrientes del inducido hasta alcanzar sus valores de régimen permanente. Las corrientes en las fases

del inducido durante estos cortocircuitos, al igual cuando el cortocircuito es trifásico, constarán de una componente unidireccional y de una alterna simétrica; la cual, a su vez, es igual a la suma de las componentes permanente, transitoria y subtransitoria. Sus constantes de tiempo son diferentes a las del cortocircuito trifásico. En los cortocircuitos asimétricos, cada una de las componentes de la corriente tiene diferentes amplitudes en las tres fases. Para cada fase se pueden definir los valores eficaces de la corriente permanente, la corriente transitoria, y la corriente subtransitoria.

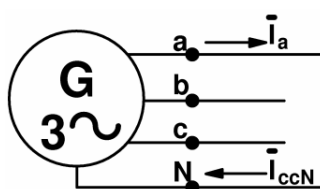


Figura 2.9.2A Cortocircuito fase-neutro

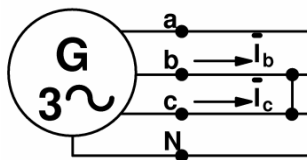


Figura 2.9.2B Cortocircuito fase-fase

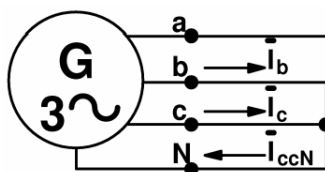


Figura 2.9.2C Cortocircuito fase-fase-neutro



2.10 Switcheo de bancos de capacitores.

Los bancos de capacitores son equipos que regularmente se instalan en los sistemas eléctricos, tanto en baja como en mediana y alta tensión, ya que son de utilidad para corregir el factor de potencia y evitar las penalizaciones que la empresa suministradora impone, mejorar el perfil de voltaje, principalmente durante condiciones de arranque de motores o conexión de cargas de gran magnitud.

La corrección del factor de potencia tiene beneficios técnicos y económicos muy altos:

- Eliminación de los cargos por bajo factor de potencia.
- Posibilidad de bonificación si el factor de potencia es mayor a 0.90.
- Si se instalan correctamente se pueden tener ahorros del 3 al 6%.
- Mejor regulación de voltaje si las unidades de capacitores son apropiadamente switcheadas.
- Liberación de capacidad en el sistema.
- Incremento en el nivel de voltaje en el punto de aplicación
- Disminución de pérdidas en el sistema de potencia por medio de la reducción en corriente reactiva y total, y por el efecto Joule (calentamiento)
- Reducción en demanda de kVA donde la potencia es adquirida
- Disminución de inversión en recursos de la suministradora por kilowatt de carga suministrada.

Actualmente existe una gran cantidad de instalaciones cuya demanda de energía varía en un rango muy amplio y por lo tanto sus requerimientos de potencia reactiva también son sumamente variables.



2.10.1 Efectos en los equipos debido a los transitorios

Los voltajes transitorios son causados por maniobras de switcheo, pueden resultar en degradación o falla inmediata del dieléctrico en toda clase de equipo. Una alta magnitud y un tiempo rápido de elevación contribuyen a una descarga disruptiva en equipo eléctrico como máquinas rotativas, transformadores, capacitores, cables, TC 's, TP's y equipo de switcheo.

Una aplicación de magnitud más baja repetida de transitorios a este tipo de equipos causa lentas degradaciones y falla ocasional del aislamiento, disminuyendo en el equipo el tiempo medio entre fallas.

El switcheo de capacitores es una operación común y normal en los sistemas de distribución, que puede causar sobrevoltajes transitorios que pueden alterar la maquinaria de manufactura. Otro ejemplo es la falla momentánea en otra parte del sistema que causa una disminución de voltaje breve (sag) en el usuario en cuestión. Esto puede causar que un control de velocidad variable de motor falle, sin que el suministro tenga alguna indicación de que algo anda mal, a menos que se tenga un medidor de calidad de la potencia eléctrica.



CAPÍTULO III



CAPÍTULO III: DESARROLLO DE PROYECTO.

Durante el proceso para llevar a cabo este proyecto se vieron involucrados aspectos teóricos y prácticos labores que fueron enseñados y utilizados durante la carrera, fue importante retomarlos y comprenderlos para involucrar todo ese conocimiento en el desarrollo de este proyecto, tanto en el trabajo escrito como en el trabajo práctico.

Al llevar a cabo el proyecto surgió la necesidad de adquirir nuevos conocimientos y habilidades que se encuentran fuera del plan de estudios de la carrera, mismos que me permitieron realizar y culminar los módulos que he trabajado en el área de pailería, soldadura, hojalatería y pintura, con asesorías recibidas por parte del equipo que forma parte del Laboratorio de diseño y manufactura (L-1), como lo son la jefa de laboratorio, profesores, técnicos académicos, almacenistas y por un compañero que se encuentra trabajando en el L3, con los cuales estoy muy agradecida ya que en todo momento me apoyaron y tuvieron la mejor disposición para que el proyecto fuera por buen camino.

Para que se llevara a cabo una correcta maniobra de las herramientas y equipos de trabajo, durante la asesoría y orientación se abarcaron las áreas de soldadora de punto, soldadora de microalambre, dobladora, guillotina de 90°, taladro, banco de mesa, esmeril, cizalla eléctrica, sierra de calar o caladora, sierra, sierra de piso, etc. El contar con estos conocimientos mencionados considero que es de suma importancia adquirirlos ya que enriquecen y complementan mi desempeño ahora como estudiante y que en algún momento van a ser parte de mi desarrollo tanto profesional como personal.



3.1 Descripción general de los módulos de transformadores con salida electrónica TP y TC

Los módulos han sido diseñados y elaborados con base en los ya existentes en el Laboratorio Eléctrica Electrónica L-3. Su objetivo es el de soportar cada uno de los componentes que integre el proyecto final con el fin de llevar a cabo las prácticas de laboratorio.

3.2 Características físicas del módulo.

Los módulos fueron creados mediante lámina galvanizada calibre 14, de color gris, estructurado con las siguientes dimensiones; profundidad 40.5 cm, altura: 14.5 cm, anchura: 28.5 cm.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL MÓDULO.

<i>COMPONENTE</i>	<i>MATERIAL</i>	<i>DIMENSIONES</i>	<i>CALIBRE</i>	<i>COLOR</i>	<i>CANTIDAD</i>
<i>Módulo</i>	<i>Lámina galvanizada.</i>	<i>Alto: 14.5 cm. Profundidad: 40.5 cm. Ancho: 28.5 cm.</i>	<i>4</i>	<i>Negro</i>	<i>2</i>

Tabla 3.2 Características físicas del módulo

Nota: En la tabla se muestran las características físicas propias del módulo de acuerdo a su composición.

Posteriormente se le aplicó una base de pintura negra en aerosol, previo a esto ha sido necesario poner una capa de sellador “primer” la cual brinda una capa de protección y permite que la pintura se adhiera mejor.

Además, se le realizaron orificios que facilitan el montaje de cada uno de los elementos que serán fijados al mismo. como se muestra en las siguientes imágenes:

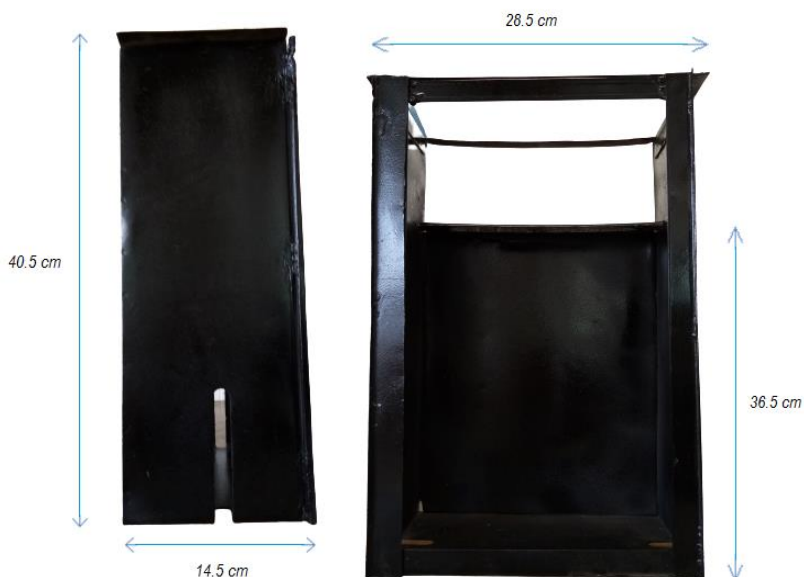


Figura 3.2A Representación y dimensiones físicas de los módulos.

Nota: En ella se muestran las dimensiones de la estructura de los módulos sobre los cuales irán montados los transformadores de corrientes y de potencial con salida electrónica.

3.3 Proceso de elaboración.

El material con el que fue diseñado es adquirido del almacén del Laboratorio Eléctrica Electrónica L-3 y a partir de ahí se comienza con las modificaciones necesarias para la conformación de los módulos.

La consulta fue con el Ing. Víctor Manuel González Mondragón y la elección fue con base en el tipo y calidad del material propio de la lámina galvanizada calibre 14, tono gris; la cual debe de contar con un grosor ideal para soportar las posibles afectaciones que quizá de manera accidental se pudieran realizar por parte de los alumnos al momento de interactuar con los equipos en la realización de las prácticas, pero evitando también a su vez que el grosor sea tal que dificulte el diseño de los módulos.



Figura 3.3 Trazo de las medidas que se utilizarán para la elaboración de 2 módulos idénticos.

Nota: Con un rallador, se trazan las medidas necesarias sobre la lámina, haciendo uso de una regla metálica de 1 metro o de un flexómetro, a fin de obtener cada una de las piezas para la formación del módulo.



Figura 3.3A Corte de lámina para obtener las piezas que le darán forma al módulo.

Nota: Una vez que se han trazado las medidas necesarias, se procede a hacer el corte para obtener del tramo lámina, dos piezas idénticas para los dos módulos correspondientes.



Figura 3.3B Perforado de lámina para crear los orificios propios del diseño del módulo.

Nota: Utilizando el taladro, se realizan perforaciones seguidas con un largo de 12.5 cm en total, de tal manera que resulte más sencillo y práctico terminar de darle la forma deseada utilizando el disco de corte en el esmeril a modo de eliminar los bordes puntiagudos.



Figura 3.3C Proceso de lijar

Nota: Utilizando una lija bastarda plana y una lija bastarda redonda, se afina cualquier imperfección que haya quedado al utilizar el disco de corte en el esmeril.



Figura 3.3D Proceso de lijar las láminas.

Nota: Con ayuda de un esmeril y un disco multi lija, se procede a lijar las láminas con la finalidad de retirar el óxido que hay en ellas.



Figura 3.3E Se perfora la base

Nota: Se procede a realizar tres perforaciones en cada base, con ayuda de un taladro, sujetando la lámina a la mesa de trabajo con una prensa en C de 4 pulgadas.



Figura 3.3F Proceso de dar la forma final a la pieza frontal del módulo

Nota: Sujetando la lámina con la prensa de banco, se procede a doblar los dos lados laterales utilizando un mazo de goma, con el objetivo de que las piezas finalmente se embonen unas con otras.

Se han logrado obtener las tres piezas principales (la base, la pieza frontal y la lámina en forma de U que le da la forma al módulo) para ser unidas mediante soldadura de punto. Es importante recalcar que, durante todo el proceso, tal y como se muestra en las imágenes, es fundamental contar con equipo de seguridad como lo son los guantes de carnaza, botas tipo industrial, careta, careta electrónica, bata de algodón para trabajo industrial, en el caso de las mujeres se debe tener el cabello recogido. Todas estas medidas son requisitos indispensables para poder trabajar dentro de las instalaciones del L-1.



Figura 3.3G Unir las partes con soldadura de punto.

Nota: Indispensable es que las partes que van a ser unidas se encuentren fijas y evitar que durante el proceso de soldar se muevan de lugar, mediante el uso de una prensa en C de 4 pulgadas se ha logrado fijar cada una de las partes para una correcta unión. Basta con una presión de aproximadamente 2 o 3 segundos en cada punto de soldadura.



Figura 3.3H Manipulación del ángulo

Nota: Se da la forma correcta al ángulo de $\frac{1}{2}$ pulgada, utilizando el esmeril de banco para lograr la medida precisa y proceder a soldar al módulo.



Figura 3.3I Proceso de soporte al módulo

Nota: Utilizando un ángulo de $\frac{1}{2}$ pulgada con un largo de 25.5 cm, se procede a soldar con la pieza frontal para dar soporte firme al momento de manipular el mismo.



Figura 3.3J Reforzando la soldadura en el ángulo

Nota: Una vez que el ángulo se ha unido mediante soldadura de punto, es necesario reforzarlo con soldadura por arco eléctrico para asegurar la correcta y permanente fijación al término del proceso.

El armado del módulo terminó, ahora el siguiente paso involucra todo aquel procedimiento previo que se necesita para posteriormente darle la presentación estética y pintarlo.



Figura 3.3K Proceso de lijado final

Nota: Utilizando una lija de agua grado 600 y un poco de agua, removemos el óxido que pueda llegar a tener el módulo, de tal manera que no se ralle y tenga un acabado estético al momento de pintar.



3.4 Aplicación de pintura al módulo.

El proceso de pintura se realiza dentro de las instalaciones del Laboratorio L-1 “Diseño y Manufactura”, bajo la supervisión del personal correspondiente.

La primera etapa consiste en remover los residuos superficiales que hay en la lámina como lo son polvo, tierra y demás, a partir de la remoción con un trapo o escobilla.

La segunda etapa de limpieza consiste en eliminar todo aquel residuo que se encuentre adherido a la lámina, como lo es el óxido; que tiende a desarrollarse en la misma debido al paso del tiempo, y esto es un factor que sucede aún así se mantengan cuidados extremos, para ello es necesario la aplicación de un proceso de lijado, este último con una lija de agua grano 600, agua y estopa para limpiar la superficie.

En el momento en el que la lámina está libre de óxido y de cualquier otro agente externo como polvo, etc., se da lugar al paso siguiente que es la aplicación del sellador “primer”

Consultando al personal del laboratorio L-1 se determinó que la relación de disolución aplicada es de 1: ½ de thinner o aguarrás, que es el material requerido para disolver el “primer” de relleno.

La capa de “primer” se realiza con la finalidad de rellenar todas aquellas imperfecciones que existen en la lámina, tales como rayaduras, porosidades y hundimientos, marcas de soldadura, entre otros desperfectos que necesitan reparación, y que el primer de relleno cubre perfectamente para dar un aspecto liso y con tono uniforme.

Se aplican dos capas de la solución previamente diluida con thinner a todas las partes del módulo, tanto en la parte frontal, como en el interior y posterior con el objetivo de que la estructura se conserve lo mejor posible la mayor cantidad del tiempo pese al uso.

Se utiliza una compresora con manguera neumática y pistola de aire para la aplicación de la solución.

Las capas son aplicadas de manera uniforme evitando escurrimientos y porosidades.

CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES REQUERIDOS PARA EL PROCESO DE PINTADO.

COMPONENTE	COLOR	CANTIDAD	RELACIÓN DE DISOLUCIÓN
Pintura	Negro	½ Litro	1: ½
Primer	Gris	½ Litro	1: ½

Tabla 3.4 Características de materiales requeridos para el proceso de pintado.

Nota: En ella se muestran las características de los materiales requeridos para el proceso de pintado de los módulos.



Figura 3.4A Proceso previo a pintar los módulos

Nota: Se cubren los módulos tanto en la parte interna como externa con primer alquidalico utilizando una manguera neumática y pistola de aire con la finalidad de que al aplicar la pintura, ésta se adhiera bien a la lámina y tenga un acabado más estético y duradero.

Al terminar de aplicar las dos capas de “primer” antes mencionadas, se dejaron secar los módulos durante toda la noche. Una vez ya secos, se encuentran listos para el siguiente paso del proceso que consiste en la aplicación de la pintura negra.

De manera similar a la aplicación del “primer”, se aplicará la pintura negra con ayuda de una manguera neumática con pistola de aire, tomando en consideración que ésta es la parte final del proceso de pintado se tomaron las precauciones necesarias que nos permitieran aplicar las capas de pintura de una manera uniforme, evitando escurrimientos, y espacios sin cubrir, con el fin de lograr en los módulos una presentación estética.

Se aplicaron dos capas de pintura para asegurar una mejor presentación y durabilidad.

Para el desarrollo del proceso las condiciones ambientales fueron adecuadas, dentro de las instalaciones del Laboratorio L-1 “Diseño y Manufactura”, en todo momento se evitó la humedad y las corrientes de aire que pudieran afectar el resultado y calidad del proceso deseado.



Figura 3.4B Proceso de pintado

Nota: Una vez que se haya secado el primer, se procede finalmente a pintar el exterior e interior del módulo.

3.5 Cortes y dimensiones específicas de las láminas de policarbonato requeridas para los paneles en cada uno de los módulos.

La medida y tipo de corte del policarbonato es definido por la distribución previa de las medidas frontales del módulo, mismas que permitieron un correcto montaje de cada uno de los mismos a lo largo de la carátula principal.

Su ubicación se encuentra en la parte frontal exterior de cada módulo. El componente fue donado como material de trabajo por parte del laboratorio L-3.

Los cortes fueron realizados dentro de las instalaciones del laboratorio de Diseño y Manufactura L-1, dentro del cual siempre se contó con apoyo para la realización del proyecto.

El corte de dichas carátulas fue realizado con la herramienta de sierra de piso en el área de maderas.

3.5.1 Especificaciones de las carátulas frontales

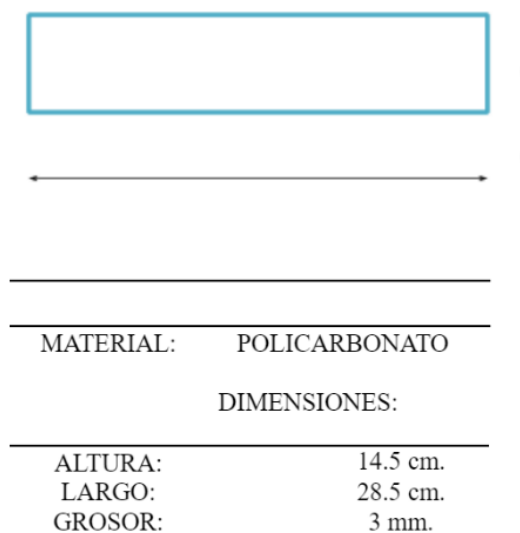


Figura 3.5.1 Especificaciones de las carátulas frontales

3.6 Especificaciones técnicas referidas al montaje de plugs sobre los paneles de policarbonato.

Desde el proceso de adquisición, hasta el momento justo de obtenerlos y montarlos. Este proceso estaba considerado desde el principio, desde la etapa de diseño de los paneles dentro de la interfaz de Adobe Illustrator.

Un proceso largo y complicado que inició desde el momento justo de la elección de estos, ya que estos deberían de adecuarse perfectamente a las condiciones previamente establecidas de diseño, espacio, cantidad y dimensiones de los paneles; sin importar la cantidad de plugs o la diferencia de alturas entre un diseño y otro todos ellos deben encajar perfectamente.



Figura 3.6 Conector banana hembra 4mm.

Nota: En ella se muestra el diseño elegido y composición de los conectores requeridos para ser montados sobre los paneles de policarbonato.



3.6.1 Características de conectores requeridos para el montaje.

COMPONENTE.	MATERIAL.	DIMENSIONES.	COLOR.	CANTIDAD.
Conector tipo banana	Acero y plástico.	Alto: 207 cm.	Negro	10
hembra		Base: 59 cm.	Rojo.	10
		grosor:0.2 cm.	Verde	10

Tabla 3.6.1 Características de conectores requeridos para el montaje

NOTA: En ella se muestran las características físicas de los conectores requeridos para el montaje en los paneles de policarbonato.

3.7 Montaje de los transformadores de corriente y de potencial en los módulos.

Una vez que se concluyó con la construcción de los módulos, se procede a montar los transformadores de potencial y los transformadores de corriente, colocando plugs en las terminales de entrada y salida en los paneles, mismos que se mandaron a serigrafiar en un taller alterno a la facultad.

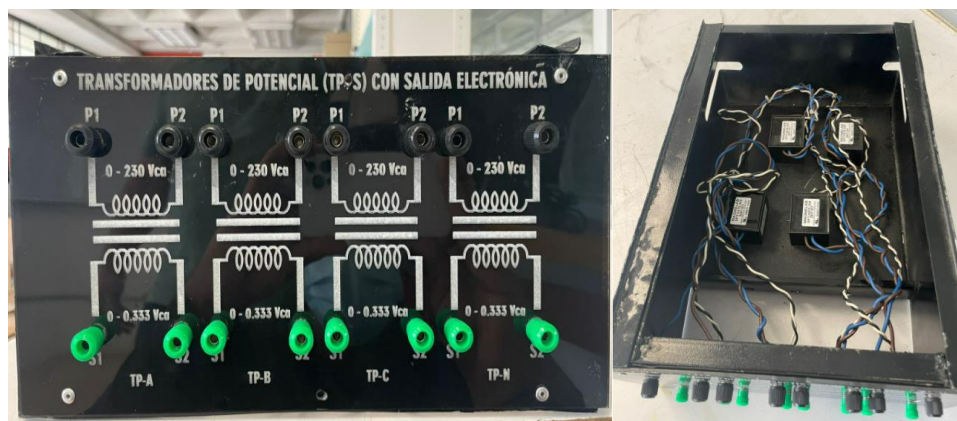


Figura 3.7 Transformadores de potencial (TP'S) con salida electrónica



Figura 3.7A Transformadores de corriente (TC'S) con salida electrónica

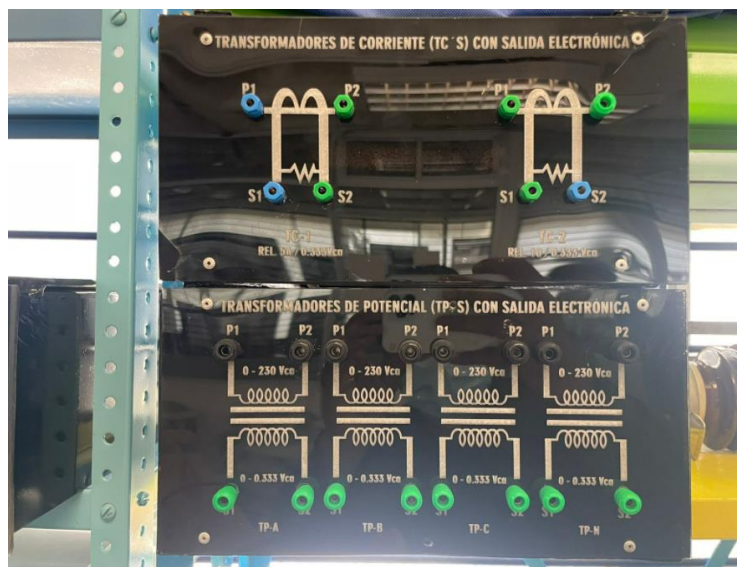


Figura 3.7B Módulos didácticos para la medición de transitorios en máquinas eléctricas y transformadores

3.8 Propuesta de prácticas para el laboratorio de protección de sistemas eléctricos.

Una vez que se elaboraron los módulos didácticos, se proponen las siguientes prácticas para el laboratorio de protección de sistemas eléctricos con la finalidad de probar su funcionamiento y darles aplicación.



PRÁCTICA 1:

MÓDULO DE

TRANSFORMADORES DE

CORRIENTE (TC'S) CON

SALIDA ELECTRÓNICA



U.N.A.M.	Ingeniería Eléctrica Electrónica
F.E.S. Aragón	
Laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos	

PRÁCTICA 1

CORRIENTE DE ARRANQUE EN UN MOTOR DE INDUCCIÓN

1. OBJETIVOS

Al término de la práctica el alumno:

Conocerá las reglas básicas de seguridad y el equipo de laboratorio, según las recomendaciones del instructor, para comprender el peligro al que uno se expone al no seguir dichas reglas.

Identificará los interruptores, controles, instrumentos de medición y terminales de salida del panel de la fuente de energía.

2. INTRODUCCIÓN

El uso generalizado de componentes electrónicos en todo lo que nos rodea, desde equipos electrónicos para el hogar hasta el control de procesos industriales masivos y costosos, ha hecho que se tome más conciencia sobre la calidad del suministro. La calidad del suministro se define en general, como cualquier cambio en la tensión o voltaje, corriente o frecuencia que interfiere con el funcionamiento normal del equipo eléctrico.



Las perturbaciones, transitorios o sobretensiones en el suministro eléctrico siempre han existido por causas naturales, como por las descargas eléctricas que provienen de la atmósfera como rayos, tormentas eléctricas o relámpagos, también debido a alguna falla en la instalación eléctrica y sus conexiones como los falsos contactos; por la falta del cable de tierra física en los equipos electrodomésticos, o bien, debido a la sobrecarga de la red de CFE en horas pico.

¿Qué es un transitorio eléctrico?

Un transitorio es una sobretensión, es decir, un aumento de voltaje y/o corriente, de muy corta duración, medido entre dos conductores de alimentación (de fase a fase), o entre conductor de línea y tierra.

Dicho aumento de voltaje puede deberse a descargas eléctricas atmosféricas (rayos) o a procesos de conmutación o de averías (contacto a tierra o cortocircuito). Ocurre cuando hay una variación repentina en las condiciones de estado estable de un sistema eléctrico, como la apertura o cierre de un interruptor, o la ocurrencia de una falla en cualquier punto de ese sistema.

Los transitorios electromecánicos, son una rama muy importante de los sistemas eléctricos de potencia, ya que, dentro de dicha rama, se involucran todos los eventos en los que se ven implicadas las partes mecánicas del sistema, por ejemplo, el rotor de una máquina síncrona. LA máquina síncrona, se ve directamente afectada por los disturbios, porque cuando funciona como generador, el rotor se conecta a una fuente de energía mecánica que lo hace girar y a la salida nos entrega la energía eléctrica a determinado nivel de voltaje y frecuencia.

La energía mecánica consumida por el rotor y la energía eléctrica entregada, deben estar balanceadas, es decir, deben tener la misma magnitud, entonces, cuando en el sistema ocurre un evento (fallas, conexión/desconexión de cargas) provoca el desbalance de energías



cambiando la velocidad de giro del rotor y afectando directamente en los niveles de frecuencia y voltaje.

Con el análisis de transitorios electromecánicos, se busca reducir el impacto de estas descompensaciones, y entregar así al consumidor, una energía de calidad.

¿Qué es cortocircuito?

El corto circuito es la falla más crítica en las instalaciones eléctricas. Una forma sencilla de explicar un cortocircuito en corriente alterna, es cuando dos líneas de una instalación eléctrica se juntan o se pegan por alguna falla eléctrica, alcanzando temperaturas muy elevadas provocando que los cables se quemen inmediatamente, claro esto es dependiendo si en el circuito, existe o no una protección adecuada que evite los cortocircuitos. Se puede dar en un sistema monofásico o polifásico, con neutro o sin neutro, mejor dicho, se puede dar entre una fase y neutro o entre dos fases. También se da en los sistemas de corriente continua cuando se junta el polo positivo y negativo.

Existen muchos factores presentes a la hora de generarse un cortocircuito, entre las causantes más importantes y comunes: Sobrecargas, sobrecalentamientos, fugas de corriente, deterioro del aislante en los conductores, conductores de mala calidad, instalaciones eléctricas antiguas, instalaciones eléctricas hechas por inexpertos, falla en los artefactos eléctricos o electrodomésticos, cortocircuitos provocados por el hombre, aumentos de voltaje, etc.

También pueden ser causados por errores humanos cuando no se toman medidas necesarias de protección a la hora de hacer mantenimientos o conexiones eléctricas, provocando choques de cables energizados dando lugar a peligrosos cortocircuitos y electrocuciones.



Al producirse un cortocircuito, existen diversos riesgos, pero los más importantes y peligrosos son los incendios. Un cortocircuito puede provocar incendios logrando quemar todo lo que encuentre a su paso, se produce una contaminación por los materiales tóxicos inflamables y la humareda que se produce por ende se pueden perder cosas materiales y la vida.

3. CUESTIONARIO PREVIO

- 1) ¿Qué es y para qué sirve un transformador de potencial?
- 2) ¿En qué casos se usa el transformador de potencial?
- 3) ¿Qué es un transitorio eléctrico?
- 5) Investigue qué ocurriría si no se contara con un TC como instrumento de medición, en un sistema de potencia.
- 6) ¿Qué provocan los transitorios en el sistema eléctrico de potencia?
- 7) ¿Cómo se define un cortocircuito e investigue los tipos de fallas que existen?

4. MATERIAL

- | | |
|---|----------|
| - Módulo de fuente de alimentación. (3 ϕ , 0-208 V _{CA}) | EMS 8821 |
| - Módulo de medición de CA. (2.5/25 A) | EMS 8425 |
| - Módulo de medición de CA. (250/250/250 V) | EMS 8426 |

- Módulo de transformadores de corriente (TC'S) con salida electrónica
- Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla. EMS 8221
- Osciloscopio y punta atenuadora
- Cables de conexión. EMS 8941

5. DESARROLLO

5.1 EXPERIMENTO 1 – “Corriente de arranque en un motor de inducción trifásico”.

1.- Conecte el circuito de la figura 5.1

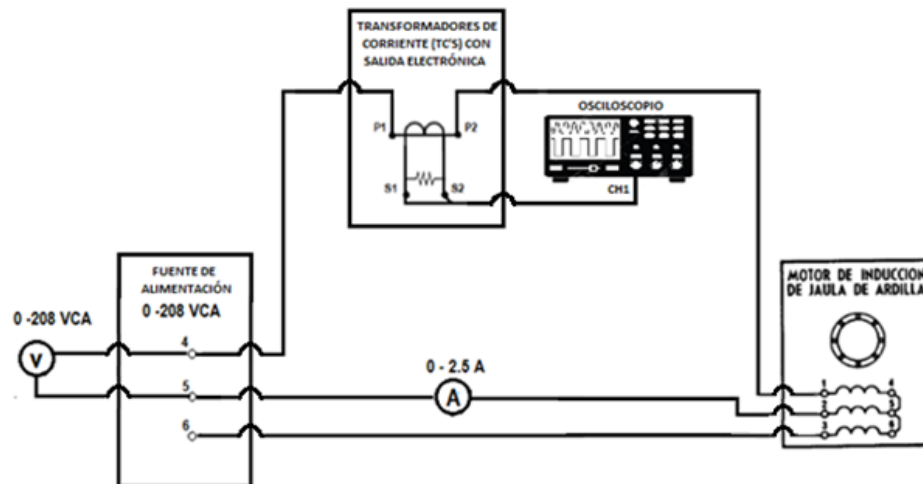


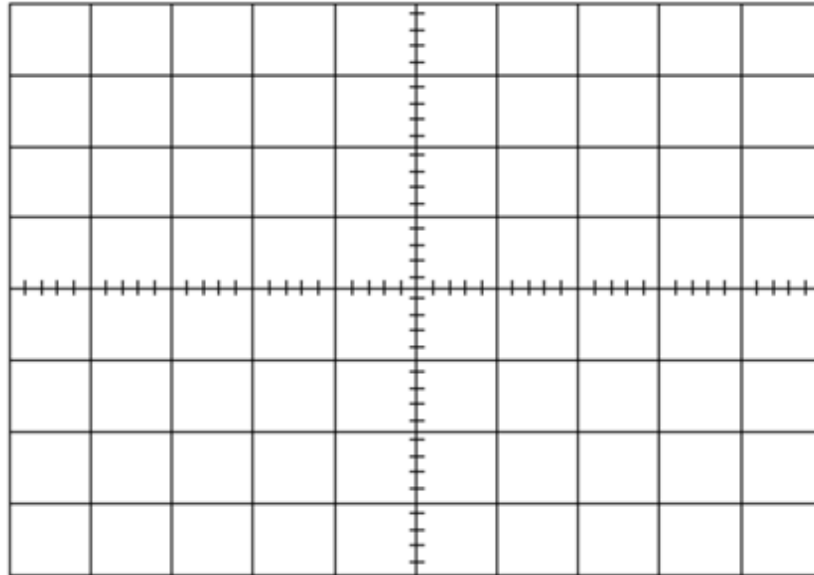
Figura 5.1

Para continuar:

- Asegúrese que la perilla de control de voltaje variable en la fuente de alimentación esté en posición cero.
- Energice la fuente de alimentación



- c) Ajuste la fuente de alimentación hasta que el medidor de c-a indique 208 V_{CA}, el motor comenzará a girar
- d) En el osciloscopio presione Autoset
- e) Observe la señal en el osciloscopio y gráfíquela
- f) Gire la perilla "LEVEL" en el modo de disparo único "TRIGGER" y posicionarla en la parte más alta de la señal
- g) Presione run/stop
- h) Sin mover ninguna conexión, desenergice la fuente y espere a que el motor se detenga
- i) Presione single (modo disparo único)
- j) Energice la fuente de alimentación.
- k) Observe la señal en el osciloscopio y gráfíquela



1 Period
 1 Peak-Peak

1 RMS
 1

5.2 EXPERIMENTO 2 “TC” – “Corto circuito en máquina síncrona”

1.- Conecte el circuito de la figura 5.2

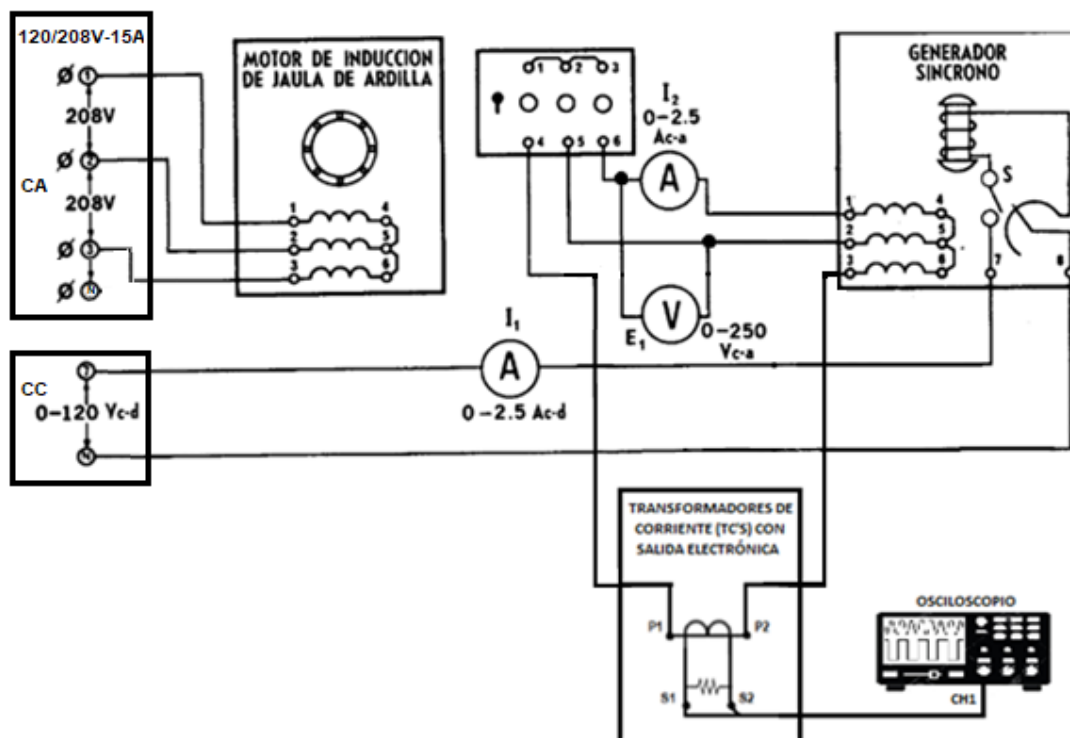


Figura 5.2

1.- A continuación.

- a) En la máquina síncrona. Asegúrese de que el interruptor “S” esté abierto (posición abajo).
- b) Conecte la fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de salida variable hasta que el medidor indique 120 V_{CA}. El motor debe empezar a girar.



c) Cierre el interruptor “S” En la máquina síncrona al llegar a este paso, las tres lámparas del módulo de sincronización deben estar prendidas.

En el osciloscopio:

- a) Presione el botón Autoset y observe la señal.
- b) Ajuste la perilla “LEVEL” (modo de disparo único) “TRIGGER” y posicónela en la parte más alta de la señal.
- c) Presione el botón single (modo de disparo único), el botón debe de estar en color verde.

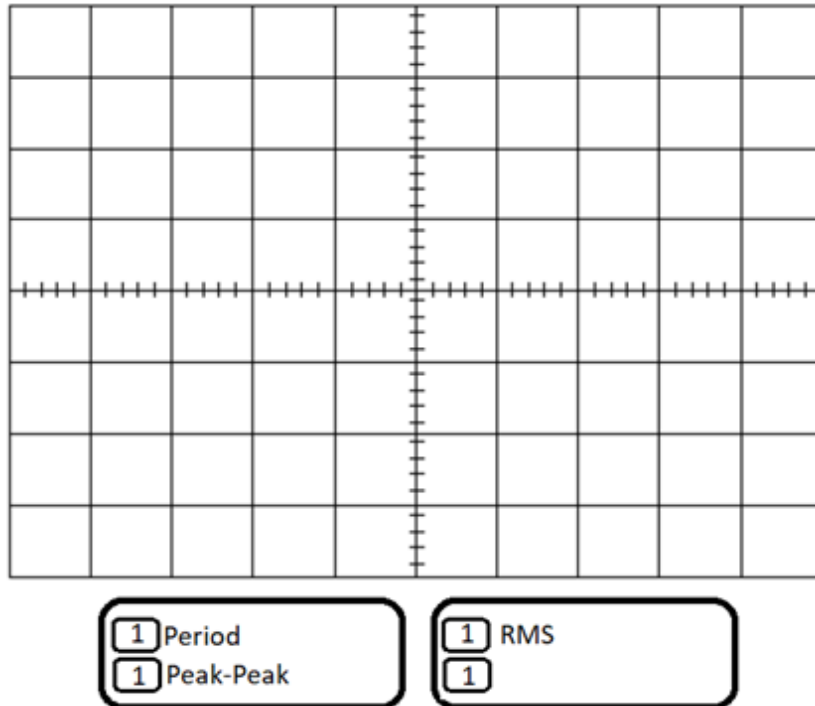
Para continuar

d) Cierre el interruptor en el módulo de sincronización tan rápido como sea posible (máximo dos segundos), observe los módulos de medición de corriente y voltaje. Anote sus observaciones.

e) Observe el comportamiento de la corriente en I2. ¿Hasta qué valor máximo (aproximadamente) aumentó?

I2 = _____ A_{CA}

f) Grafique la señal en estado transitorio, subtransitorio y de estado permanente e identifique el Voltaje RMS y Vpico-pico.



g) Calcule la corriente final de estado transitorio = _____ A_{CA}

Recuerde que el módulo de transformador de corriente (TC's) con salida electrónica tiene una relación de $5A/0.333 V_{CA}$

h) ¿Cuántas veces incrementó la corriente nominal durante el cortocircuito?

i) Reduzca el voltaje a cero y desconecte la fuente de alimentación.

6. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN

- 1.- Explique para qué sirven los transformadores de corriente.
- 2.- Investigue cómo se define la precisión en un transformador de corriente.
- 3.- Explique con sus propias palabras el principio de operación de un transformador de corriente.

5.3 EXPERIMENTO 3 “TC” – “Transitorio al energizar un transformador monofásico”

1.- Conecte el circuito de la figura 5.3

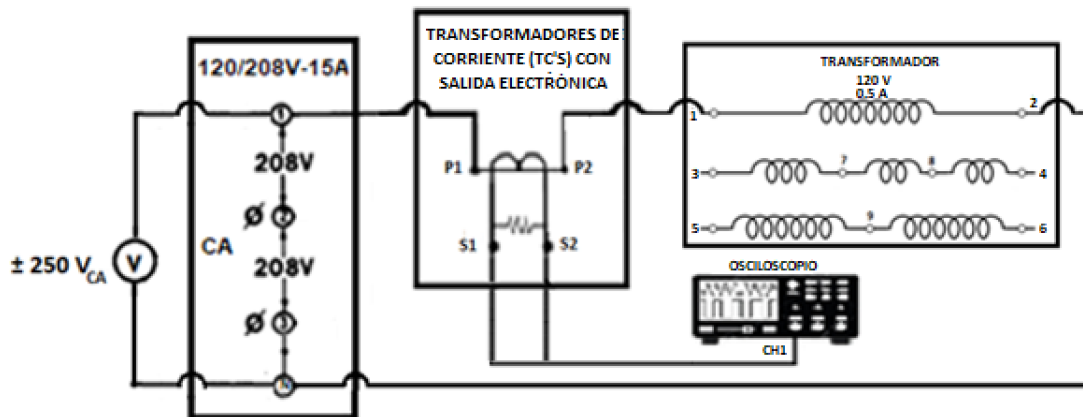


Figura 5.3

Para continuar

a) Energice la fuente de alimentación hasta que el medidor indique $208 V_{CA}$

En el osciloscopio:

b) Presione “Autoset” y observe la señal. Gire la perilla “LEVEL” y posicione en la parte más alta de la señal.

c) Presione el botón “RUN/STOP” desenergice la fuente de alimentación

d) Presione el botón “SINGLE” (modo disparo único), energice la fuente de alimentación y observe cómo se deforma la señal.

Recordará que esta deformación se produce por la apertura y cierre (switchero por maniobra de interruptores) ocasionando transitorios de sobretensión en un instante muy breve de tiempo.



8. BIBLIOGRAFÍA

<https://www.tuxtla.tecnm.mx/conferencia-la-utilidad-del-analisis-de-transitorios-electromecanicos-en-los-sistemas-electricos-de-potencia/>

<https://www.luminotecnia.com.py/blog/43/Que-es-un-cortocircuito-electrico>

MÁQUINAS ELÉCTRICAS.

STEPHEN J. CHAPMAN.



PRÁCTICA 2:

MÓDULO DE

TRANSFORMADORES DE

POTENCIAL (TP'S) CON

SALIDA ELECTRÓNICA



U.N.A.M.	Ingeniería Eléctrica Electrónica
F.E.S. Aragón	
Laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos	

PRÁCTICA 2

TRANSITORIO POR MANIOBRA EN INTERRUPTORES

1. OBJETIVOS

Al término de la práctica el alumno:

Conocerá las reglas básicas de seguridad y el equipo de laboratorio, según las recomendaciones del instructor, para comprender el peligro al que uno se expone al no seguir dichas reglas.

Identificará los interruptores, controles, instrumentos de medición y terminales de salida del panel de la fuente de energía. Conocerá la finalidad y aplicación de los transformadores de potencial.

1. INTRODUCCIÓN.

¿Qué es un transformador de potencial?

Un transformador de potencial está diseñado para reducir el voltaje de un circuito y se define como un transformador de instrumento o de medida usado para la transformación de voltaje, de un valor mayor a uno menor. Este reduce el voltaje a un límite seguro, el cual puede ser fácilmente medido por un dispositivo ordinario de bajo voltaje, como un voltímetro.

Este se conecta a través o paralelamente a la línea, la cual se mide para registrar errores de relación o de ángulo.

El transformador está diseñado para monitorear los voltajes de cambio monofásicos y los terminales trifásicos. Tiene un devanado principal, y también uno primario y otro más secundario de alto voltaje.

Este tipo especial de transformador permite que un medidor tome lecturas de conexiones de servicio eléctrico con una clasificación de voltaje (potencial) más alta que la que el medidor normalmente es capaz de manejar cuando hablamos de factor de potencia, y sin errores.





3. CUESTIONARIO PREVIO

- 1) ¿Qué es un transformador de potencial?
- 2) ¿Qué aplicaciones tienen el transformador de potencial?
- 3) ¿En dónde se utilizan los transformadores de potencial?
- 4) ¿Cuáles serían las consecuencias de no utilizar transformadores de potencial?

4. MATERIAL

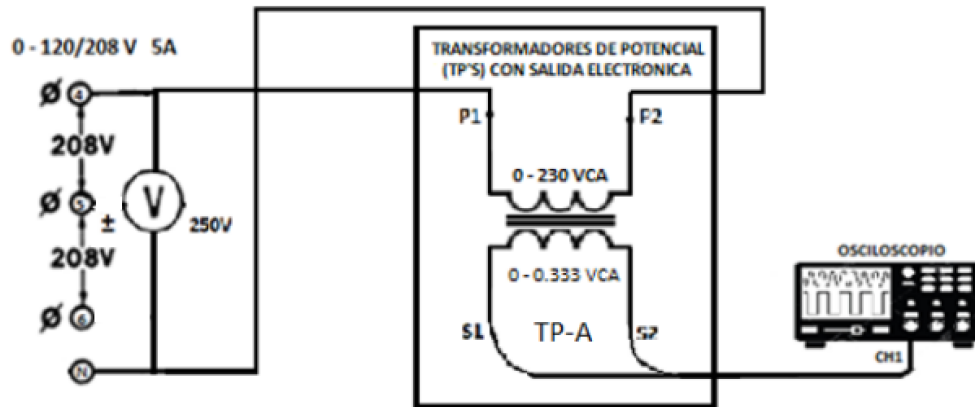
- Módulo de fuente de alimentación. (120/208 V, 3 ϕ , 0-120 V_{CD}) EMS 8821
- Cables de conexión. EMS 8941
- Módulo de transformadores de potencial (TP'S) con salida electrónica
- Osciloscopio y puntas atenuadoras.

5. DESARROLLO

EXPERIMENTO 1: PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO: CALIBRACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DEL MÓDULO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL (TP's) CON SALIDA ELECTRÓNICA.

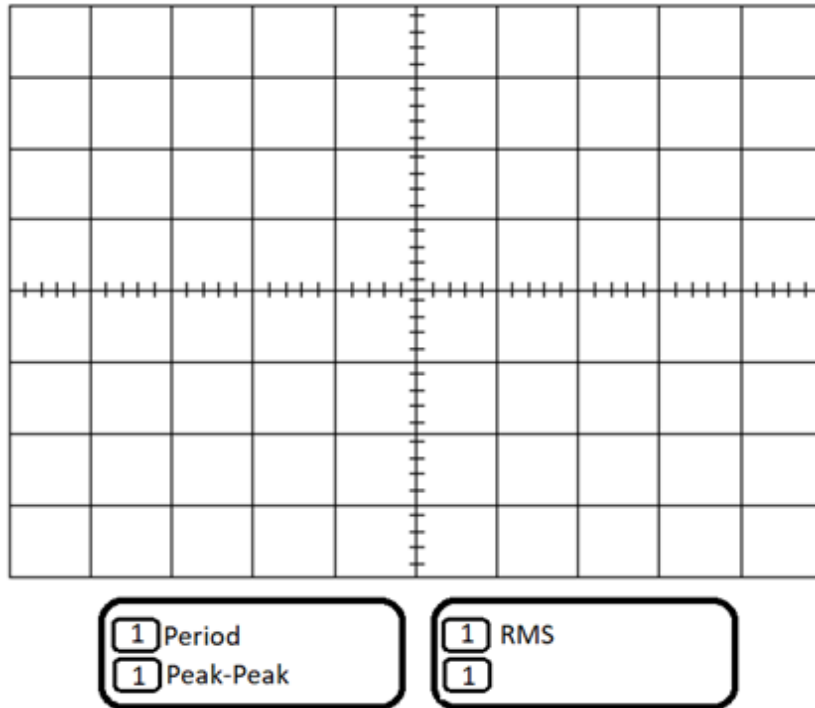


1) Conecte el siguiente circuito:



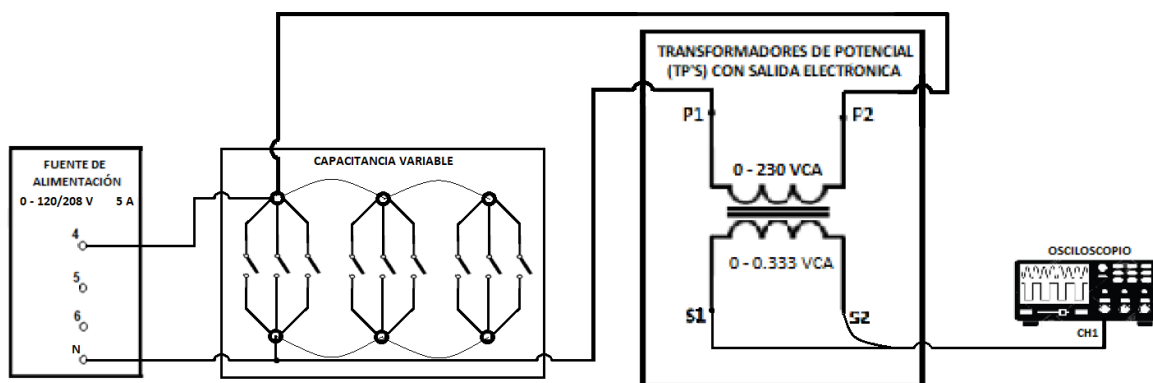
2) A continuación

- Asegúrese que la perilla de control de la fuente de alimentación de salida variable esté en cero.
- Energice la fuente de alimentación
- Ajuste la fuente de alimentación hasta que el medidor de CA indique 120 V_{CA}.
- Grafique la señal.
- Mida con el osciloscopio el voltaje de salida. _____V
- Dichos pasos son para TPA, repita el procedimiento para TPB, TPC Y TPN, y compárelos con el valor medido con el osciloscopio.



EXPERIMENTO 2: TRANSITORIO EN MÓDULOS DE CAPACITORES.

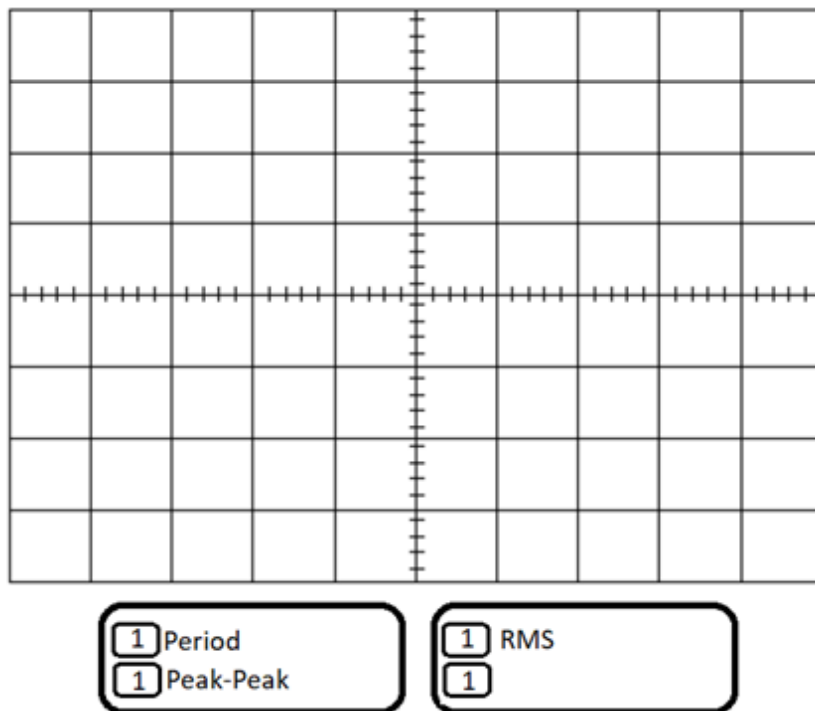
- 1) Conecte el siguiente circuito utilizando un módulo de capacitancia variable



- 2) A continuación



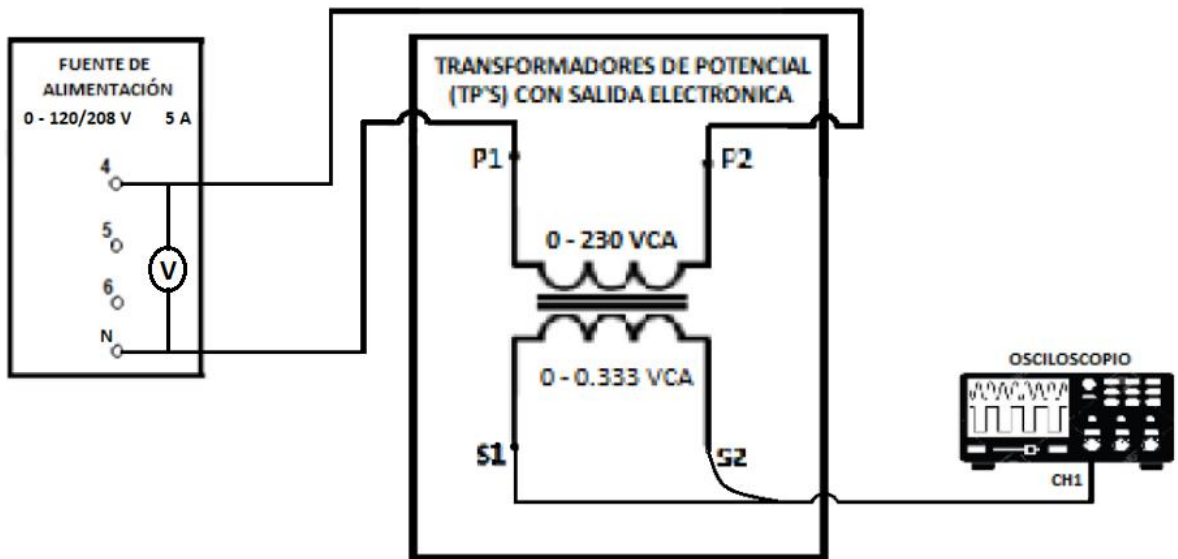
- a) Asegúrese que la perilla de control de la fuente de alimentación de salida esté en cero.
 - b) Energice la fuente de alimentación
 - c) Ajuste la fuente de alimentación hasta que el medidor de CA indique $120 V_{CA}$.
- 3) En seguida
- a) Gire la perilla de nivel "level", en el osciloscopio, posicione en la parte más alta de la señal.
 - b) Presione (single) "modo disparo único" en el osciloscopio.
 - c) Switchee los tres módulos de capacitancia en paralelo al mismo tiempo.
 - d) Observe la señal y gráfiquela.



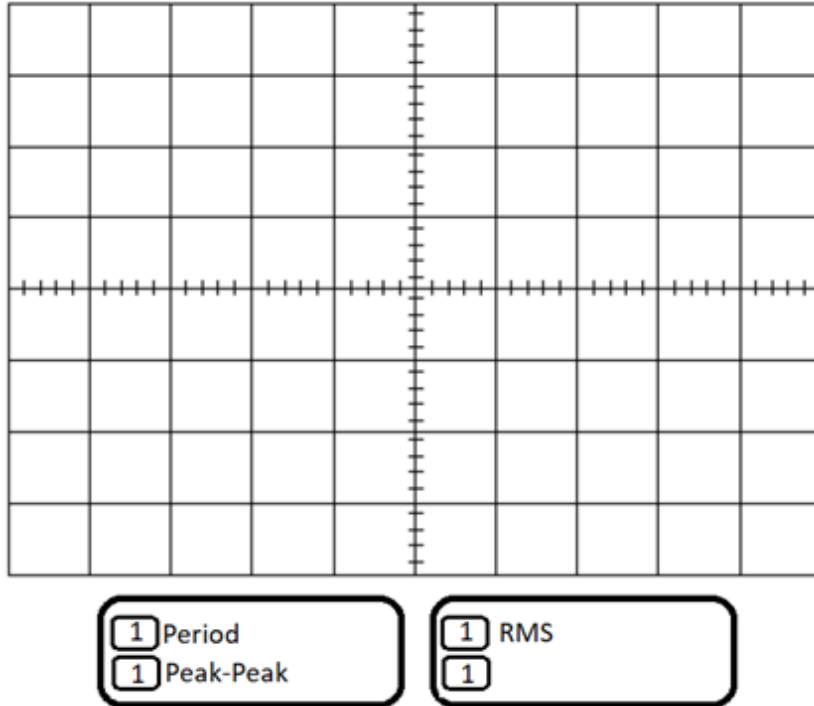
EXPERIMENTO 3 "TP"

"TRANSITORIO EN FUENTE DE ALIMENTACIÓN, ENERGIZACIÓN Y DESENERGIZACIÓN"

1) Conecte el siguiente circuito



- Conecte la entrada P1 del transformador de potencial con salida electrónica a la terminal 4 de la fuente variable de alimentación.
- Conecte la entrada P2 del transformador de potencial con salida electrónica a la terminal del neutro de la fuente variable de alimentación.
- En el osciloscopio, conecte la punta atenuadora en el canal 1 y las terminales S1 y S2 al módulo de transformador de potencial TP'S con salida electrónica en TPA.
- Energice la fuente de alimentación hasta que el medidor registre 120 V.
- En el osciloscopio presione AUTOSET (autoescala)
- Gire la perilla "level" (nivel) en el osciloscopio y posicónela en la parte más alta de la señal.
- Presione single (modo disparo único).
- Desenergice.
- Presione single (modo disparo único).
- Espere tres segundos y vuelva a energizar.
- Observe la señal y gráfíquela, ¿Qué nivel de tensión resultó al desenergizar? _____ V



6. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN

- 1.- Explique para qué sirven los transformadores de potencial.
- 2.- Investigue cómo se define la precisión en un transformador de potencial.
- 3.- Explique con sus propias palabras el principio de operación de un transformador de potencial.

7. CONCLUSIONES



MANUAL DE INSTRUCTOR

En este apartado se encuentran los resultados, mediciones y oscilogramas de los experimentos propuestos para los experimentos de laboratorio.

PRÁCTICA 1: MÓDULO DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE (TC'S) CON SALIDA ELECTRÓNICA



U.N.A.M.	Ingeniería Eléctrica Electrónica
F.E.S. Aragón	
Laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos	

PRÁCTICA 1

CORRIENTE DE ARRANQUE EN UN MOTOR DE INDUCCIÓN

1. OBJETIVOS

Al término de la práctica el alumno:

Conocerá las reglas básicas de seguridad y el equipo de laboratorio, según las recomendaciones del instructor, para comprender el peligro al que uno se expone al no seguir dichas reglas.

Identificará los interruptores, controles, instrumentos de medición y terminales de salida del panel de la fuente de energía.

2. INTRODUCCIÓN.

El uso generalizado de componentes electrónicos en todo lo que nos rodea, desde equipos electrónicos para el hogar hasta el control de procesos industriales masivos y costosos, ha hecho que se tome más conciencia sobre la calidad del suministro. La calidad del suministro



se define en general, como cualquier cambio en la tensión o voltaje, corriente o frecuencia que interfiere con el funcionamiento normal del equipo eléctrico.

Las perturbaciones, transitorios o sobretensiones en el suministro eléctrico siempre han existido por causas naturales, como por las descargas eléctricas que provienen de la atmósfera como rayos, tormentas eléctricas o relámpagos, también debido a alguna falla en la instalación eléctrica y sus conexiones como los falsos contactos; por la falta del cable de tierra física en los equipos electrodomésticos, o bien, debido a la sobrecarga de la red de CFE en horas pico.

¿Qué es un transitorio eléctrico?

Un transitorio es una sobretensión, es decir, un aumento de voltaje y/o corriente, de muy corta duración, medido entre dos conductores de alimentación (de fase a fase), o entre conductor de línea y tierra.

Dicho aumento de voltaje puede deberse a descargas eléctricas atmosféricas (rayos) o a procesos de conmutación o de averías (contacto a tierra o cortocircuito). Ocurre cuando hay una variación repentina en las condiciones de estado estable de un sistema eléctrico, como la apertura o cierre de un interruptor, o la ocurrencia de una falla en cualquier punto de ese sistema.

Los transitorios electromecánicos, son una rama muy importante de los sistemas eléctricos de potencia, ya que, dentro de dicha rama, se involucran todos los eventos en los que se ven implicadas las partes mecánicas del sistema, por ejemplo, el rotor de una máquina síncrona. LA máquina síncrona, se ve directamente afectada por los disturbios, porque cuando funciona como generador, el rotor se conecta a una fuente de energía mecánica que lo hace girar y a la salida nos entrega la energía eléctrica a determinado nivel de voltaje y frecuencia.



La energía mecánica consumida por el rotor y la energía eléctrica entregada, deben estar balanceadas, es decir, deben tener la misma magnitud, entonces, cuando en el sistema ocurre un evento (fallas, conexión/desconexión de cargas) provoca el desbalance de energías cambiando la velocidad de giro del rotor y afectando directamente en los niveles de frecuencia y voltaje.

Con el análisis de transitorios electromecánicos, se busca reducir el impacto de estas descompensaciones, y entregar así al consumidor, una energía de calidad.

¿Qué es cortocircuito?

El corto circuito es la falla más crítica en las instalaciones eléctricas. Una forma sencilla de explicar un cortocircuito en corriente alterna, es cuando dos líneas de una instalación eléctrica se juntan o se pegan por alguna falla eléctrica, alcanzando temperaturas muy elevadas provocando que los cables se quemen inmediatamente, claro esto es dependiendo si en el circuito, existe o no una protección adecuada que evite los cortocircuitos. Se puede dar en un sistema monofásico o polifásico, con neutro o sin neutro, mejor dicho, se puede dar entre una fase y neutro o entre dos fases. También se da en los sistemas de corriente continua cuando se junta el polo positivo y negativo.

Existen muchos factores presentes a la hora de generarse un cortocircuito, entre las causantes más importantes y comunes: Sobrecargas, sobrecalentamientos, fugas de corriente, deterioro del aislante en los conductores, conductores de mala calidad, instalaciones eléctricas antiguas, instalaciones eléctricas hechas por inexpertos, falla en los artefactos eléctricos o electrodomésticos, cortocircuitos provocados por el hombre, aumentos de voltaje, etc.

También pueden ser causados por errores humanos cuando no se toman medidas necesarias de protección a la hora de hacer mantenimientos o conexiones eléctricas,



provocando choques de cables energizados dando lugar a peligrosos cortocircuitos y electrocuciones.

Al producirse un cortocircuito, existen diversos riesgos, pero los más importantes y peligrosos son los incendios. Un cortocircuito puede provocar incendios logrando quemar todo lo que encuentre a su paso, se produce una contaminación por los materiales tóxicos inflamables y la humareda que se produce por ende se pueden perder cosas materiales y la vida.

3. CUESTIONARIO PREVIO

- 1) ¿Qué es y para qué sirve un transformador de potencial?
- 2) ¿En qué casos se usa el transformador de potencial?
- 3) ¿Qué es un transitorio eléctrico?
- 5) Investigue qué ocurriría si no se contara con un TC como instrumento de medición, en un sistema de potencia.
- 6) ¿Qué provocan los transitorios en el sistema eléctrico de potencia?
- 7) ¿Cómo se define un cortocircuito e investigue los tipos de fallas que existen?

4. MATERIAL

- Módulo de fuente de alimentación. (3 ϕ , 0-208 V_{CA}) EMS 8821
- Módulo de medición de CA. (2.5/25 A) EMS 8425

- Módulo de medición de CA. (250/250/250 V) EMS 8426
- Módulo de transformadores de corriente (TC'S) con salida electrónica
- Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla. EMS 8221
- Osciloscopio y punta atenuadora
- Cables de conexión. EMS 8941

5. DESARROLLO

5.1 EXPERIMENTO 1 – “Corriente de arranque en un motor de inducción trifásico”.

1.- Conecte el circuito de la figura 5.1

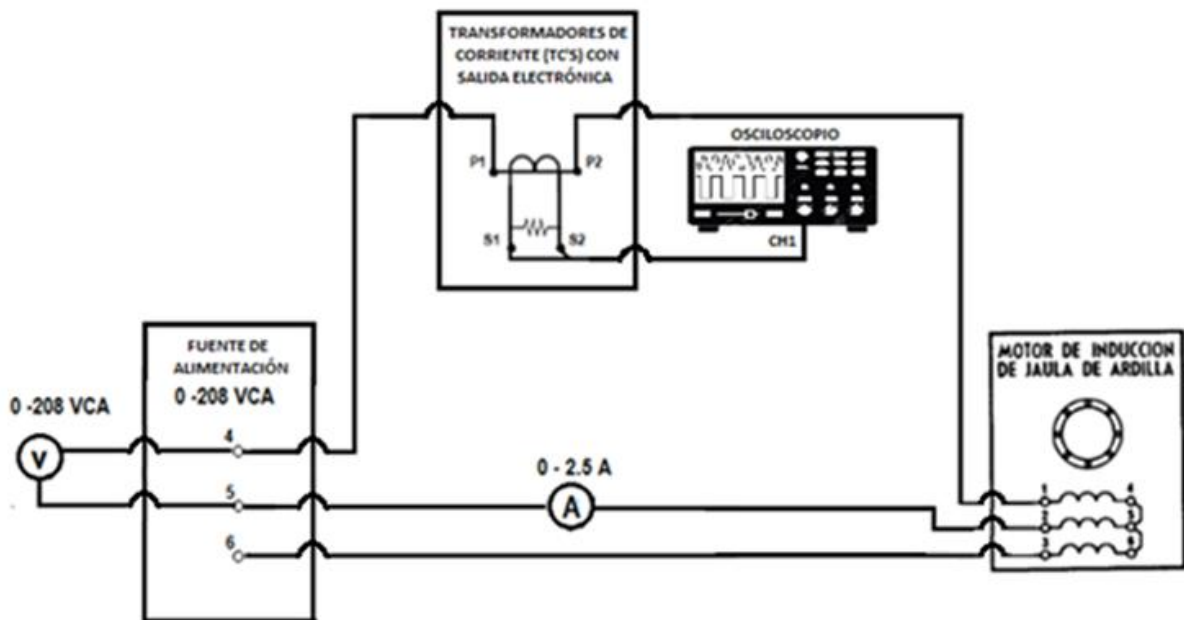
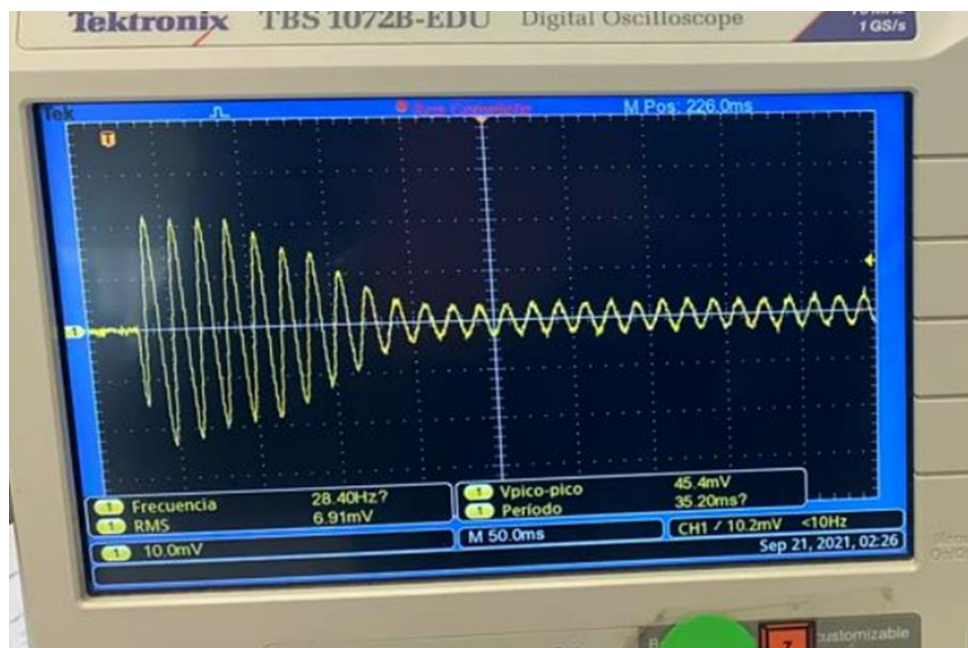
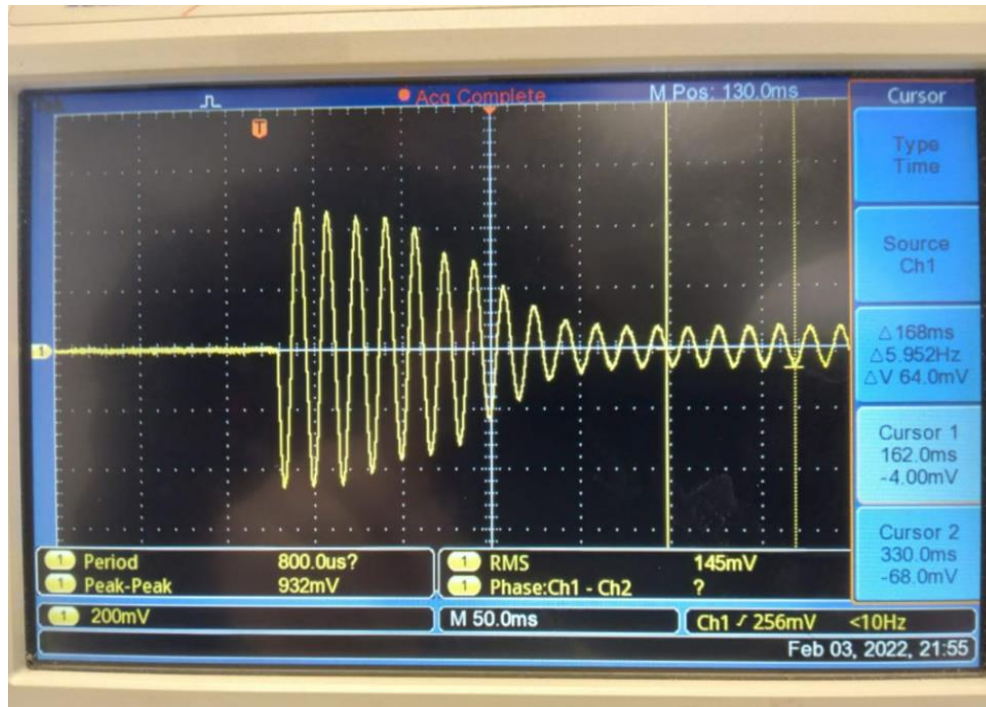


Figura 5.1



Para continuar:

- a) Asegúrese que la perilla de control de voltaje variable en la fuente de alimentación esté en posición cero.
- b) Energice la fuente de alimentación
- c) Ajuste la fuente de alimentación hasta que el medidor de c-a indique 208 V_{CA}, el motor comenzará a girar
- d) En el osciloscopio presione Autoset
- e) Observe la señal en el osciloscopio y gráfíquela
- f) Gire la perilla "LEVEL" en el modo de disparo único "TRIGGER" y posicionarla en la parte más alta de la señal
- g) Presione run/stop
- h) Sin mover ninguna conexión, desenergice la fuente y espere a que el motor se detenga
- i) Presione single (modo disparo único)
- j) Energice la fuente de alimentación.
- k) Observe la señal en el osciloscopio y gráfíquela



5.2 EXPERIMENTO 2 “TC” – “Corto circuito en máquina síncrona”

1.- Conecte el circuito de la figura 5.2

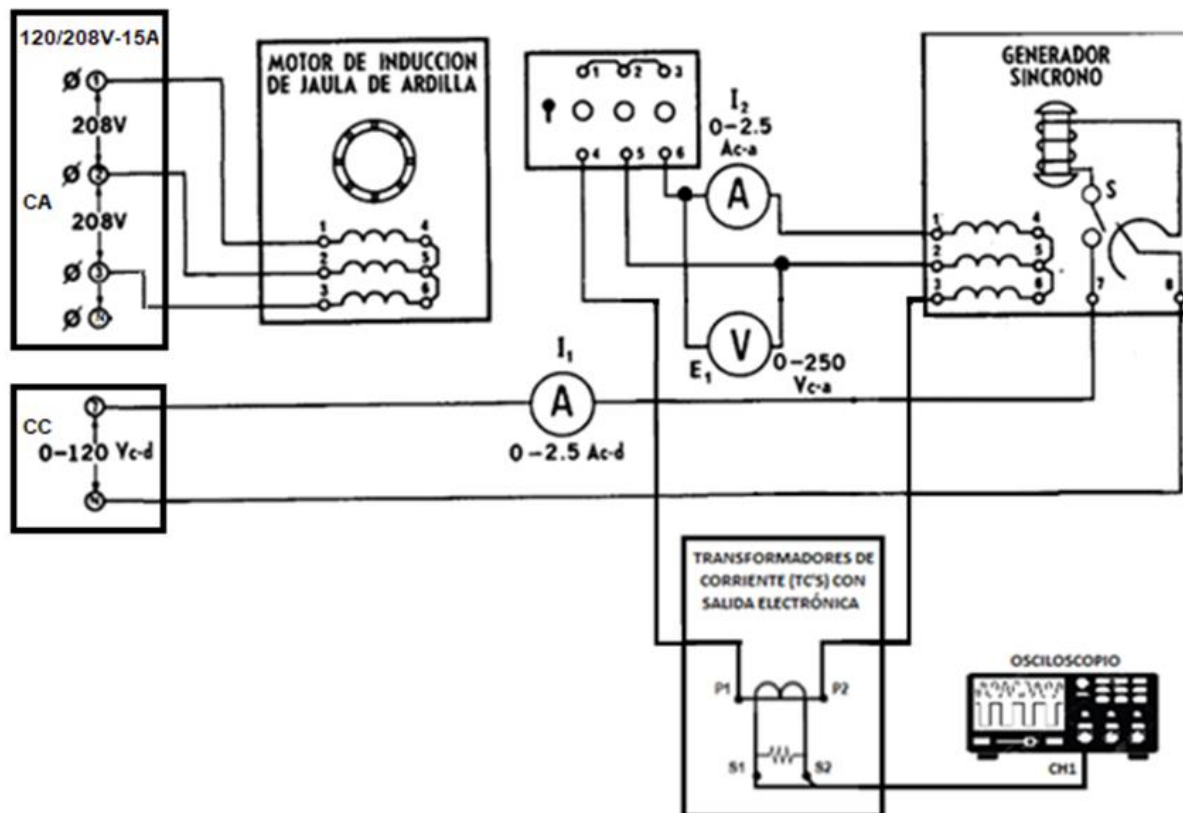


Figura 5.2

1.- A continuación.

a) En la máquina síncrona. Asegúrese de que el interruptor “S” esté abierto (posición abajo).



b) Conecte la fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de salida variable hasta que el medidor indique $120 V_{CA}$. El motor debe empezar a girar.

c) Cierre el interruptor "S" En la máquina síncrona al llegar a este paso, las tres lámparas del módulo de sincronización deben estar prendidas.

En el osciloscopio:

a) Presione el botón Autoset y observe la señal.

b) Ajuste la perilla "LEVEL" (modo de disparo único) "TRIGGER" y posicónela en la parte más alta de la señal.

c) Presione el botón single (modo de disparo único), el botón debe de estar en color verde.

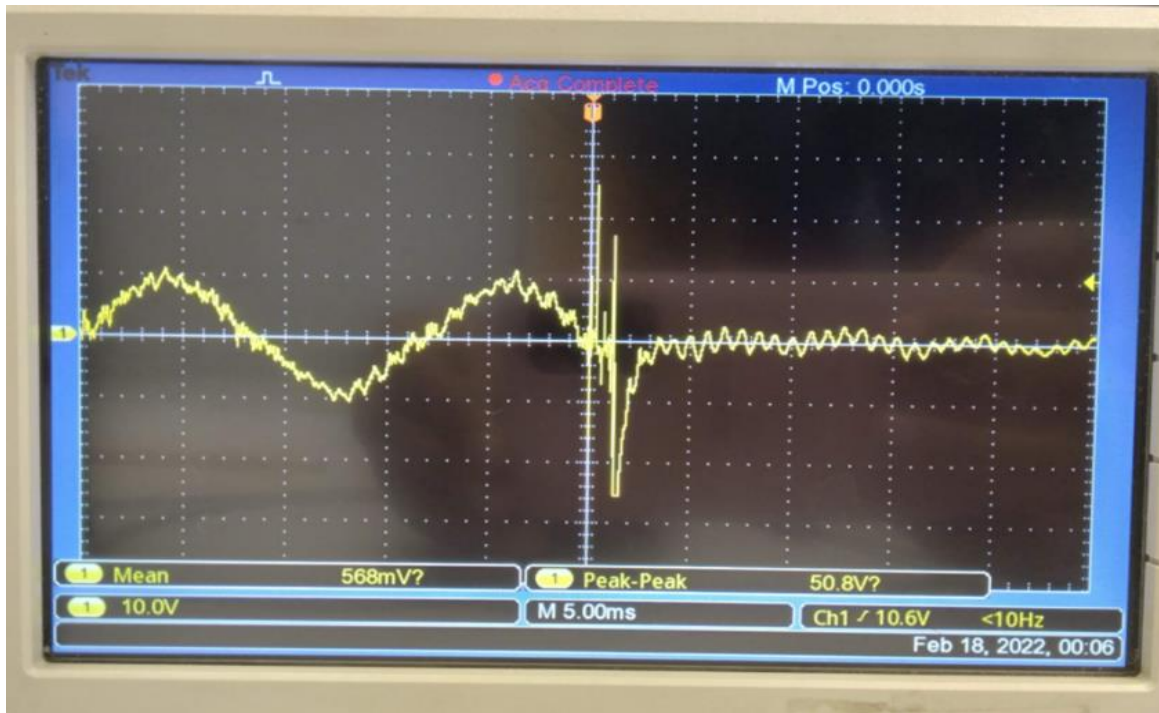
Para continuar

d) Cierre el interruptor en el módulo de sincronización tan rápido como sea posible (máximo dos segundos), observe los módulos de medición de corriente y voltaje. Anote sus observaciones.

e) Observe el comportamiento de la corriente en I2. ¿Hasta qué valor máximo (aproximadamente) aumentó?

$$I_2 = 8 A_{CA}$$

f) Grafique la señal en estado transitorio, subtransitorio y de estado permanente e identifique el Voltaje RMS y $V_{pico-pico}$.



g) Calcule la corriente final de estado transitorio = **2.1771** ACA

Recuerde que el módulo de transformador de corriente (TC's) con salida electrónica tiene una relación de $5A/0.333 V_{CA}$

h) ¿Cuántas veces incrementó la corriente nominal durante el cortocircuito?

Se procede a realizar una regla de tres, tomando en cuenta la relación del modulo de transformador de corriente (TC's):

$$5A - 0.333 V$$

$$x - 0.0145 V$$

$$\therefore x = .2177$$

Multiplicamos el valor resultante por diez, que es la relación de la punta atenuadora:

$$x = .2177(10)$$

$$x = 2.1771$$

Por lo tanto la corriente de cortocircuito es de 2.1771 A

El transitorio es en la máquina síncrona, no en el motor jaula de ardilla ni en la máquina de corriente directa.

Continuamos realizando el cociente de la corriente de cortocircuito entre 0.33 (relación de transformación del generador)



$$I_n = (2.1771 \text{ A}) / (0.33 \text{ A})$$

$I_n = 6.5972 \text{ A}$, que es la cantidad de veces que incrementó la corriente nominal durante el cortocircuito.

i) Reduzca el voltaje a cero y desconecte la fuente de alimentación.

6. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN

- 1.- Explique para qué sirven los transformadores de corriente.
- 2.- Investigue cómo se define la precisión en un transformador de corriente.
- 3.- Explique con sus propias palabras el principio de operación de un transformador de corriente.

5.3 EXPERIMENTO 3 “TC” – “Transitorio al energizar un transformador monofásico”

- 1.- Conecte el circuito de la figura 5.3

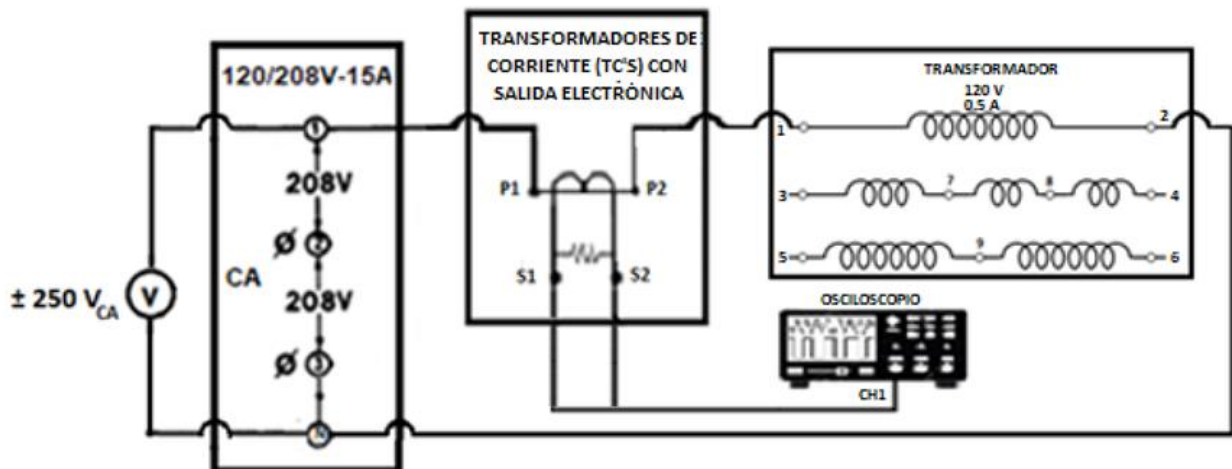


Figura 5.3

Para continuar

- a) Energice la fuente de alimentación hasta que el medidor indique $208 V_{CA}$

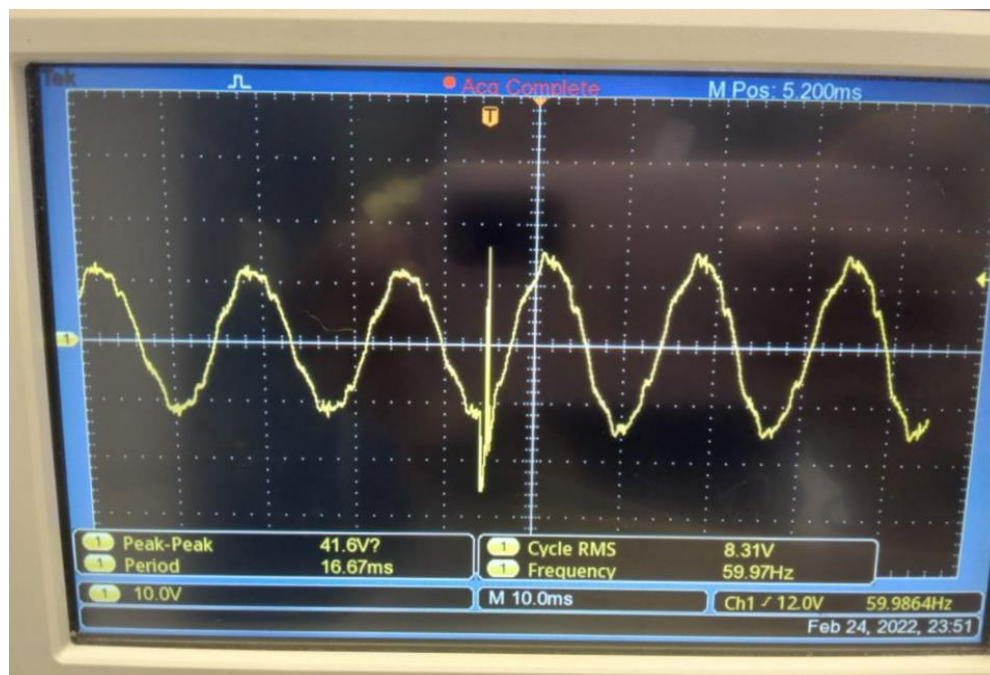
En el osciloscopio:



- b) Presione “Autoset” y observe la señal. Gire la perilla “LEVEL” y posicione en la parte más alta de la señal.
- c) Presione el botón “RUN/STOP” desenergice la fuente de alimentación
- e) Presione el botón “SINGLE” (modo disparo único), energice la fuente de alimentación y observe cómo se deforma la señal.

Recordará que esta deformación se produce por la apertura y cierre (switchero por maniobra de interruptores) ocasionando transitorios de sobretensión en un instante muy breve de tiempo.

- f) Grafique la señal en estado transitorio e identifique el Voltaje RMS y Vpico-pico.





PRÁCTICA 2:

MÓDULO DE

TRANSFORMADORES DE

POTENCIAL (TP'S) CON

SALIDA ELECTRÓNICA



U.N.A.M.	Ingeniería Eléctrica Electrónica
F.E.S. Aragón	
Laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos	

PRÁCTICA 2

TRANSITORIO POR MANIOBRA EN INTERRUPTORES

1. OBJETIVOS

Al término de la práctica el alumno:

Conocerá las reglas básicas de seguridad y el equipo de laboratorio, según las recomendaciones del instructor, para comprender el peligro al que uno se expone al no seguir dichas reglas.

Identificará los interruptores, controles, instrumentos de medición y terminales de salida del panel de la fuente de energía. Conocerá la finalidad y aplicación de los transformadores de potencial.

1. INTRODUCCIÓN

¿Qué es un transformador de potencial?

Un transformador de potencial está diseñado para reducir el voltaje de un circuito y se define como un transformador de instrumento o de medida usado para la transformación de voltaje, de un valor mayor a uno menor. Este reduce el voltaje a un límite seguro, el cual puede ser fácilmente medido por un dispositivo ordinario de bajo voltaje, como un voltímetro.

Este se conecta a través o paralelamente a la línea, la cual se mide para registrar errores de relación o de ángulo.

El transformador está diseñado para monitorear los voltajes de cambio monofásicos y los terminales trifásicos. Tiene un devanado principal, y también uno primario y otro más secundario de alto voltaje.

Este tipo especial de transformador permite que un medidor tome lecturas de conexiones de servicio eléctrico con una clasificación de voltaje (potencial) más alta que la que el medidor normalmente es capaz de manejar cuando hablamos de factor de potencia, y sin errores.



3. CUESTIONARIO PREVIO

1. ¿Qué es un transformador de potencial?
2. ¿Qué aplicaciones tienen el transformador de potencial?



3. ¿En dónde se utilizan los transformadores de potencial?
4. ¿Cuáles serían las consecuencias de no utilizar transformadores de potencial?

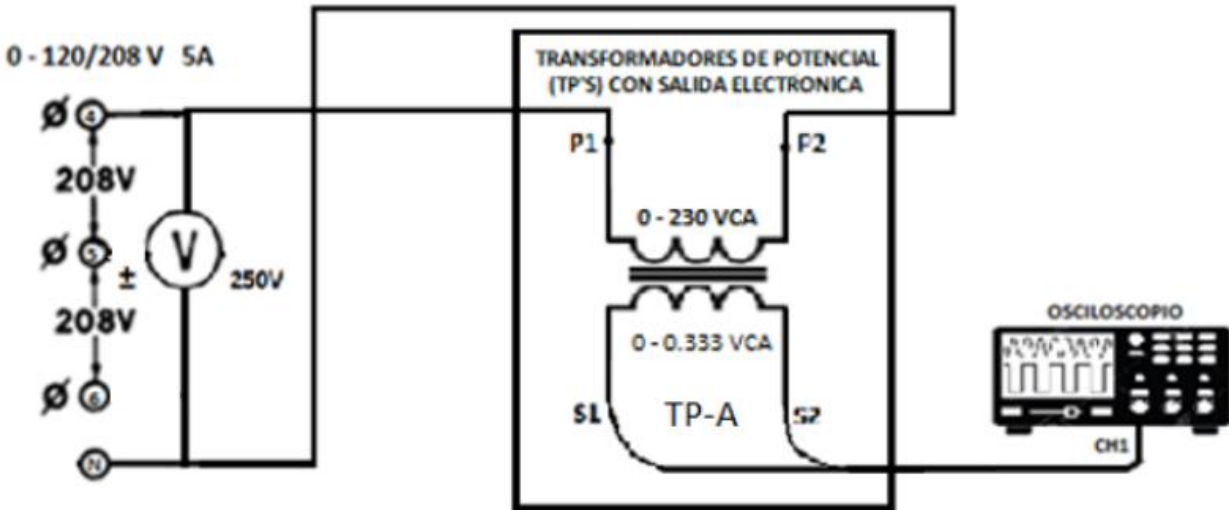
4. MATERIAL

- Módulo de fuente de alimentación. (120/208 V, 3 ϕ , 0-120 V_{CD}) EMS 8821
- Cables de conexión. EMS 8941
- Módulo de transformadores de potencial (TP'S) con salida electrónica
- Osciloscopio y puntas atenuadoras.

5. DESARROLLO

EXPERIMENTO 1: PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO: CALIBRACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DEL MÓDULO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL (TP's) CON SALIDA ELECTRÓNICA.

1. Conecte el siguiente circuito:



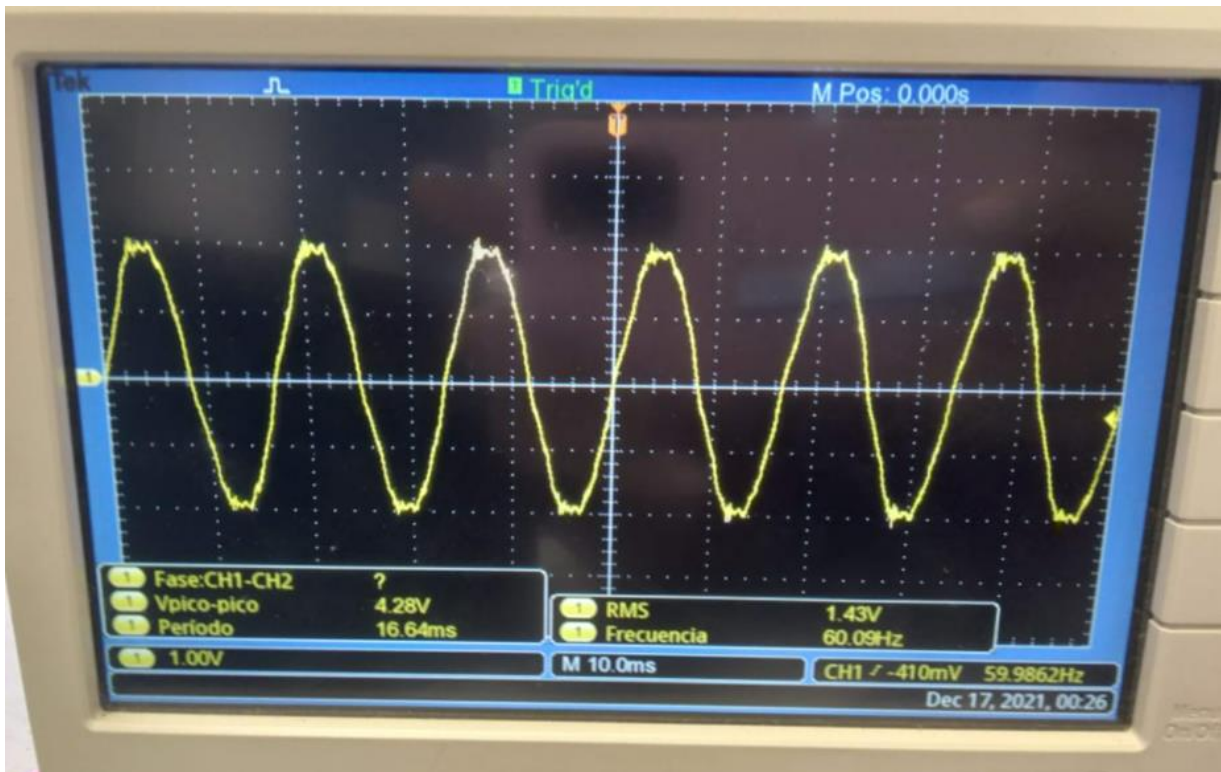
1. A continuación

- a) Asegúrese que la perilla de control de la fuente de alimentación de salida variable esté en cero.
- b) Energice la fuente de alimentación
- c) Ajuste la fuente de alimentación hasta que el medidor de CA indique 120 V_{CA}.
- d) Grafique la señal.
- e) Mida con el osciloscopio el voltaje de salida. **1.51** V_{rms}
- f) Dichos pasos son para TPA, repita el procedimiento para TPB, TPC Y TPN, y compárelos con el valor medido con el osciloscopio, los valores deben ser similares.

$$V_{rms} = (V_{pp}) / (2\sqrt{2})$$

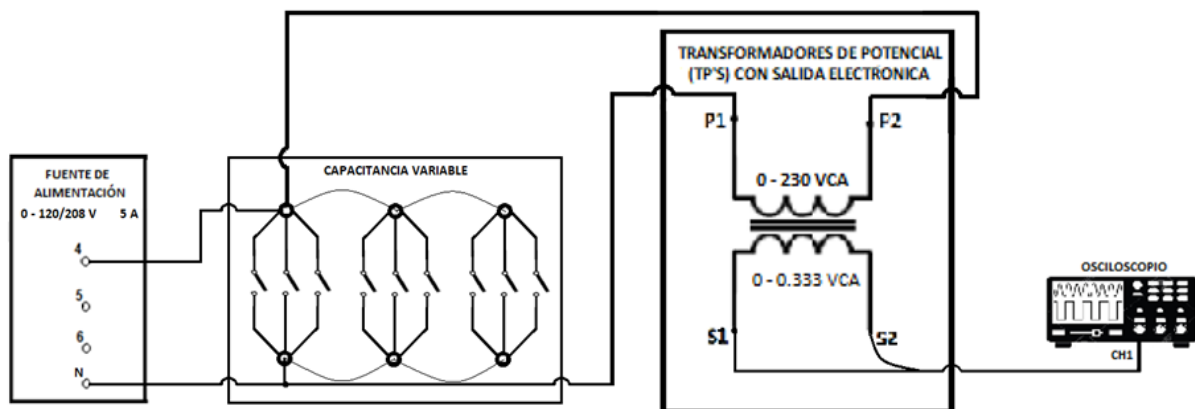
$$V_{rms} = (4.28) / (2\sqrt{2})$$

Vrms= 1.51 V



EXPERIMENTO 2: TRANSITORIO EN MÓDULOS DE CAPACITORES.

1. Conecte el siguiente circuito utilizando un módulo de capacitancia variable





2. A continuación

- a) Asegúrese que la perilla de control de la fuente de alimentación de salida esté en cero.
- b) Energice la fuente de alimentación
- c) Ajuste la fuente de alimentación hasta que el medidor de CA indique 120 VCA.

3. En seguida

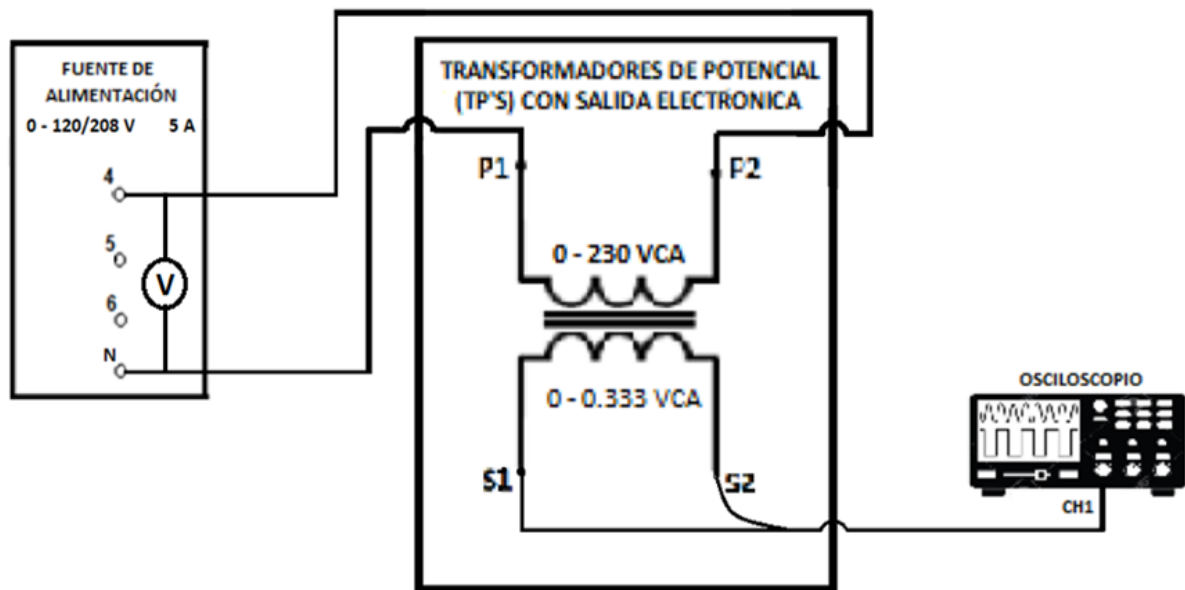
- a) Presionando el botón de level, en el osciloscopio, posicione en la parte más alta de la señal
- b) Presione (single) en el osciloscopio
- c) Switchee los tres módulos de capacitancia en paralelo al mismo tiempo.
- d) Observe la señal y gráfíquela.



EXPERIMENTO 3 "TP"

"TRANSITORIO EN FUENTE DE ALIMENTACIÓN, ENERGIZACIÓN Y DESENERGIZACIÓN"

1. Conecte el siguiente circuito



- Conecte la entrada P1 del transformador de potencial con salida electrónica a la terminal 4 de la fuente variable de alimentación.
- Conecte la entrada P2 del transformador de potencial con salida electrónica a la terminal del neutro de la fuente variable de alimentación.
- En el osciloscopio, conecte la punta atenuadora en el canal 1 y las terminales S1 y S2 al módulo de transformador de potencial TP'S con salida electrónica en TPA.
- Energice la fuente de alimentación hasta que el medidor registre 120 V.
- En el osciloscopio presione AUTOSET (autoescala)
- Gire la perilla "level" (nivel) en el osciloscopio y posicónela en la parte más alta de la señal.



- g) Presione single (modo disparo único).
- h) Desenergice.
- i) Presione single (modo disparo único).
- j) Espere tres segundos y vuelva a energizar.
- k) Observe la señal y gráfiquela, ¿Qué nivel de tensión resultó al desenergizar? **125 V**

Nota: A los 120 V que suministra la fuente de alimentación, se le suma el V_{pp} obtenido en el osciloscopio.

$$120 \text{ V} + 4.92 \text{ V} = 124.92 \text{ V}$$

Por lo tanto la tensión del transitorio fue **124.92 V**.





8. BIBLIOGRAFÍA

Transformadores. Enrique Ras. Marcombo. 1994.

Medidas eléctricas. Enciclopedia CEAC.

Diseño de subestaciones eléctricas. José Raúl Martín. Edit. Mc Graw – Hill.



CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

Las máquinas eléctricas como motores, generadores y transformadores son y seguirán siendo de suma importancia para el avance tecnológico de la humanidad ya que se encuentran en todos los ámbitos de la vida cotidiana moderna. Estos equipos los podemos encontrar en nuestros hogares, en talleres e industrias. Por esta razón es importante estudiar sus características eléctricas, su funcionamiento y los fenómenos transitorios electromagnéticos, los cuales pueden ser ocasionados por defecto de fabricación de los equipos o por error humano.

En ese sentido, este proyecto está enfocado en el diseño y construcción de dos módulos; uno de Transformadores de Potencial y otro de Transformadores de Corriente ambos con salida electrónica, los cuales a través de experimentos en el laboratorio pudimos estudiar las características y comportamiento de los fenómenos transitorios electromagnéticos con la finalidad de analizar las sobretensiones y las sobreintensidades para una correcta selección y coordinación en las protecciones.

En una opinión personal, el presente trabajo que con mucho esfuerzo y dedicación pero sobre todo con el gusto de llevarlo a cabo, me ayudó a reafirmar conocimientos tanto teóricos como prácticos, al diseñar y fabricar desde cero los módulos en el taller de pailería, mismo lugar donde aprendí a soldar, y a usar las diversas herramientas para la elaboración de los mismos, puse en práctica aspectos teóricos vistos en clase al ver el comportamiento real de los transitorios en el osciloscopio para la implementación de prácticas destinadas al laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cortés Cherta, Manuel. "Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas. Tomo IV: Máquinas síncronas y motores de c.a. de colector". Editores técnicos asociados. Barcelona. 1977.
- [2] Fraile Mora, Jesús. "Máquinas eléctricas". McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. Madrid. 2003.
- [3] Kostenko, M. P.; Piotrovski, L. M. "Máquinas eléctricas. Tomo II". Editorial Mir. Moscú. 1976.
- [4] IEEE Std 1110-2002. "IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Applications in Power System Stability Analyses". IEEE Power Engineering Society. Nueva York. 2003.
- [5] Sanz Feito, Javier. "Máquinas eléctricas". Pearson Educación. Madrid. 2002.
- [6] S. Sarma, Mulukutla. "Synchronous machines". Gordon and Breach Science Publishers. Nueva York. 1979.
- [7] . National Electrical Manufacturers Association, Motors and Generators, Publicación núm. MG1-2006, NEMA, Washington, D.C., 2006.
- [8] McPherson, George, An Introduction to Electrical Machines and Transformers, Wiley, Nueva York, 1981.
- [9] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generator, IEEE Standard 112-1996, Nueva York: IEEE, 1996,



- [10] Alger, Phillip, Induction Machines, 2a. ed., Gordon and Breach, Nueva York, 1970.
- [11] M. G. Macri, «Transformador de Potencia,» de Apunte de cátedra - Máquinas Eléctricas 1 - Departamento de Ingeniería Eléctrica - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, 2014.
- [12] S. J. Chapman, «Máquinas Eléctricas (Tercera Edición),» McGraw-Hill.
- [13] http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1815-59012014000300014
- [14] http://repositorio.innovacionumh.es/proyectos/p_19/tema_2/umh_02.htm
- [15] https://ocw.ehu.eus/file.php/85/materiales_de_estudio/tema-10-regimen-transitorio.pdf
- [16] <https://www.uv.es/masefor/paginas/especificacionesdelsistema.html>
- [17] https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/523/tesis_jgmo.pdf?sequence=1&isallowed=y
- [18] <https://rte.mx/maquina-sincronica#:~:text=%C3%89stos%20se%20hallan%20formados%20por,el%20estator%20y%20el%20rotor>
- [19] https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/transformador_monofasico#:~:text=El%20transformador%20monof%C3%A1sico%20es%20un,la%20potencia%20de%20dichos%20sistemas.
- [20] <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/motores/motores-sincronos/>



[21] <https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico/2-3-base>

[22] FUNDAMENTALS OF ELECTRIC CIRCUITS, THIRD EDITION Copyright © MMVI by The McGraw-Hill Companies, Inc.