



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y
COMPUTACIÓN**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN
& AVIÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN & AVIÓNICA**

**TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSFORMADOR
TRIFÁSICO ELEVADOR DE 220V HASTA 440V, 25 AMPERIOS
PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS”**

AUTOR: PUMA LLIGUIN IRVING MAURICIO

DIRECTOR: ING. CRISTIAN CHUCHICO

LATACUNGA

2017



DEPARTAMENTO DE Y COMPUTACIÓN
CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO ELEVADOR DE 220V HASTA 440V, 25 AMPERIOS PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS”** realizado por el señor **PUMA LLIGUIN IRVING MAURICIO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señorita **PUMA LLIGUIN IRVING MAURICIO** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 24 de Febrero 2017

Sr. ING. CRISTIAN CHUCHICO
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN
CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **PUMA LLIGUIN IRVING MAURICIO**, con cédula de identidad N° 172105025-8 declaro que este trabajo de titulación “**IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO ELEVADOR DE 220V HASTA 440V, 25 AMPERIOS PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

En virtud de esta declaración me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de trabajo de grado en mención.

Latacunga, 24 de Febrero 2017

Puma Lliguin Irving Mauricio

C.I: 1721050258



DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN
CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)

Yo, **PUMA LLIGUIN IRVING MAURICIO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO ELEVADOR DE 220V HASTA 440V, 25 AMPERIOS PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 24 de Febrero 2017

Puma Lliguin Irving Mauricio

C.I: 1721050258

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto principalmente a mis padres que siempre me estuvieron apoyando con gran impute para poder llegar a la culminación de esta etapa de mi vida con sus consejos y vivencias para tomar decisiones difíciles y así lograr alentarme a ser el mejor como persona y académicamente, a mi familia y esposa que confiaron en mi dándome las mejores ideas, a nuestro Dios que con su sabiduría me ha iluminado y su bendición de cada día para poder terminar con afán el proyecto.

AGRADECIMIENTO

A Dios ya que con el nada sería posible, a mis padres y hermanos especialmente a mi madre ya que ella es mi pilar por su paciencia, dedicación y apoyo a lo largo de mi vida.

Mis abuelitos que son casi como mis padres sus consejos y sabiduría aportaron para tomar grandes decisiones.

A mi esposa que con su apoyo día a día me ayudo a seguir adelante y así llegar a ser profesional.

A mis maestros gracias por su paciencia Ingenieros fueron los que ayudaron a formarme como un profesional al explotar mis conocimientos y desempeñarme de la mejor manera en el ámbito laboral

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL).....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Planteamiento del problema	5
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivo Especifico.....	6
1.5 Alcance.....	6
CAPITULO II.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Máquina Eléctrica	7
2.2 Clasificación de las maquinas eléctricas	7
2.2.1 Máquinas Eléctricas Rotativas	8

2.2.2	Máquinas eléctricas estáticas.....	8
2.3	Inducción Electromagnética.....	9
2.4	Autotransformador.....	10
2.4.1	Definición.....	10
2.4.2	Funcionamiento.....	10
2.4.3	Constitución general.....	11
2.4.4	Autotransformador reductor.....	12
2.4.5	Autotransformador elevador.....	13
2.5	Autotransformador trifásico.....	14
2.6	Conexiones trifásicas.....	14
2.6.1	Conexión en estrella de autotransformadores.....	14
2.6.2	Conexión en triángulo de autotransformadores.....	15
2.6.3	Conexión de autotransformador en triángulo abierto.....	16
2.7	Potencia.....	17
2.8	Eficiencia.....	18
2.9	Pérdidas.....	19
2.9.1	Núcleo.....	19
2.9.2	Cobre.....	20
2.10	Nomenclatura.....	21
2.11	Limitaciones.....	21
2.12	Cálculos y construcción de autotransformadores.....	22
2.12.1	Elección del núcleo.....	23
2.12.2	Determinación del número de espiras por cada bobinado.....	24
2.12.3	Tipo de cable para el bobinado.....	26
2.12.4	Determinación de corrientes para cada uno de los bobinados.....	26
2.12.5	Calculo de las potencias del bobinado.....	27
2.12.6	Densidad de la corriente eléctrica.....	27

2.12.7	Determinar la sección transversal para cada uno de los bobinados	28
2.13	Ventajas y desventajas	29
2.13.1	Ventajas	29
2.13.2	Desventajas	30
2.14	Ventajas de los autotransformadores frente al transformador	31
2.15	Aplicaciones	31
CAPÍTULO III.....		32
DESARROLLO DEL TEMA		32
3.1	Preliminares.....	33
3.2	Características del autotransformador	33
3.3	Cálculos para el diseño y la construcción del autotransformador trifásico.....	33
3.3.1	Sección del núcleo:	33
3.3.2	Flujo magnético.....	34
3.3.3	Determinación del número de espiras para cada bobinado	34
3.3.4	Bobinado primario	35
3.3.5	Bobinado Secundario	35
3.3.6	Potencia del autotransformador.....	35
3.3.7	Sección del conductor	36
3.3.8	Tipo de alambre	36
3.4	Elaboración del autotransformador trifásico	36
3.4.1	Elección del núcleo:	37
3.4.2	Contar con una máquina rebobinadora	38
3.4.3	Montar el bobinado primario en el carrete con ayuda de la máquina rebobinadora.	39
3.4.4	Aislamiento del bobinado primario.....	39

3.4.5	Montar el bobinado secundario en el carrete con ayuda de la máquina rebobinadora.	40
3.4.6	Montaje del carrete con los bobinados en el núcleo.	41
3.4.7	Autotransformador terminado.	42
3.5	Elaboración del módulo para el autotransformador.....	43
3.5.1	Material del que constituirá el modulo para el autotransformador 43	
3.5.2	Medidas de los acrílicos para el montaje del módulo.....	43
3.5.3	Caja diseñada	44
3.6	Módulo de 440 V.....	44
3.7	Elaboración de Guías de laboratorio.....	46
3.7.1	Práctica No 1.....	46
3.7.2	Práctica No 2.....	51
CAPÍTULO IV		55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		55
4.1	Conclusiones	55
4.2	Recomendaciones	56
GLOSARIO DE TERMINOS		57
Bibliografía.....		58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Máquina Eléctrica	7
Figura 2 Clasificación de máquinas eléctricas.....	7
Figura 3 Inducción en una bobina.	10
Figura 4 Autotransformador	11
Figura 5 Autotransformador Reductor	13
Figura 6 Autotransformador Elevador	13
Figura 7 Autotransformador con varias salidas para arranque de motores	14
Figura 8 Conexión en estrella de autotransformadores	15
Figura 9 Conexión en triángulo de autotransformadores.....	16
Figura 10 Conexión en triángulo de autotransformadores.....	16
Figura 11 Conexión de autotransformador en triángulo abierto.....	17
Figura 12 Conexión Zig – zag (Z).....	22
Figura 13 Tipo de Autotransformador” Variac “	23
Figura 14 Dimensiones del núcleo	23
Figura 15 Autotransformador de una central eléctrica	30
Figura 16 Autotransformador	32
Figura 17 Máquina Rebobinadora.....	38
Figura 18 Aislamiento del bobinado primario	40
Figura 19 Aislamiento del bobinado secundario.....	41
Figura 20 Armado del autotransformador.....	42
Figura 21 Autotransformador Elevador	42
Figura 22 Acrílico	43
Figura 23 Medidas de los acrílicos	43
Figura 24 Diseño de caja acrílica	44
Figura 25 Seguridades para el módulo de acrílico	44
Figura 26 Diagrama de elementos de 440V	45
Figura 27 Sección de elementos de 440V.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Densidad de corriente.....	28
Tabla 2 Ventajas y desventajas.....	31
Tabla 3 Comparaciones entre transformador y autotransformador.....	31
Tabla 4 Características	33
Tabla 5 Descripción de los cables	46

RESUMEN

El presente proyecto permitirá a los estudiantes de la Unidad de Gestión de Tecnologías ESPE, especialmente a los estudiantes de la carrera de Electrónica mención Instrumentación & Aviónica familiarizarse con el manejo y protecciones para operar voltajes relativamente altos 440V. Para ello el proyecto da sus inicios desde la parte del diseño que se formó su núcleo con chapas metálicas tipo E de acuerdo a sus secciones para la potencia requerida y construcción de un autotransformador levador (220V- 440V) y una corriente nominal de 25 Amperios ya que su bobinado primario posee 114 espiras con alambre de calibre # 5 y el bobinado secundario 229 espiras con alambre # 18 el autotransformador se encuentra configurado en conexión estrella es decir posee un neutro común, ya que posee un solo núcleo para la desventaja que presenta este tipo de maquina eléctrica se implementó la protección en el módulo de 220V que se encuentra en el laboratorio de máquinas eléctricas ahí podemos encontrar un disyuntor trifásico el mismo que protege contra sobrecargas de 25 amperios adicional a esta tipo de protección tenemos un portafusibles de 10 Amperios que ayudara a proteger contra los cortocircuitos ahí podemos encontrar salidas tipo borneras para alimentar maquinas eléctricas o dispositivos con voltaje relativamente altos con ello queda protegido tanto eléctricamente como en su propio modulo del autotransformador que está diseñado con acrílico de 3mm de espesor sujetos a ejes tipo I para su mayor estabilidad y uso

PALABRAS CLAVES:

- **AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO**
- **CONEXIÓN ESTRELLA**
- **ELEVADOR DE 220V -440V**
- **UN SOLO NUCLEO**
- **CORRIENTE MAXIMA 25 AMPERIOS**

ABSTRACT

Avionics career to become familiar with the handling and protections to operate relatively high 440V voltages. To do this, the project starts from the design part that formed its core with metal plates type E according to its sections for the required power and construction of a self-transformer levator (220V-440V) and a nominal current of 25 Amperes already That its primary winding has 114 turns with wire gauge # 5 and the secondary winding 229 turns with wire # 18 the autotransformer is configured in star connection ie it has a common neutral, since it has a single core for the disadvantage that this Type of electrical machine was implemented the protection in the module 220V that is in the laboratory of electrical machines there we can find a three-phase circuit breaker the same that protects against overloads of 25 amps additional to this type of protection we have a gun of 10 Amp Will help protect against short circuits. In this way, we can find terminal outputs to power electric machines or devices with relatively high voltage. It is thus protected both electrically and in its own autotransformer module, which is designed with acrylic of 3mm thickness, subject to type 1 axes. Its greater stability and use

KEYWORDS:

- THREE-PHASE AUTOTRANSFORMER
- STAR CONNECTION
- 220V -440V ELEVATOR
- ONE NUCLEUS
- MAXIMUM 25 AMP CURRENT

CHECKED BY:

Lcda. MARIA ELISA COQUE
ENGLISH TEACHER UGT

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO ELEVADOR DE 220V HASTA 440V, 25 AMPERIOS PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS”

1.1 Antecedentes

La Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE creada para el beneficio de la sociedad así como para el personal militar, dicha institución está ubicada en la provincia de Cotopaxi en la ciudad de Latacunga, en la calle Javier Espinoza y Av. Amazonas. En la actualidad está formado por las carreras de Mecánica en Motores y Aviones, Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica, Logística y Transporte, Ciencias de la Seguridad, Electromecánica, Computación, las cuales se encuentran relacionadas directamente con la aeronáutica. Cada una de las carreras apoyadas en material técnico de sus múltiples laboratorios promoviendo el aprendizaje a través de las prácticas, enfocadas a obtener profesionales aeronáuticos íntegros e innovadores competitivos y entusiastas comprometedores con el desarrollo de la patria.

Es así que uno de los objetivos de la carrera de Electrónica es formar tecnólogos a través de una educación integral en áreas técnicas, científicas y humanísticas, que pongan de manifiesto su interés por la investigación e innovación científica y tecnológica. Además la carrera brinda los conocimientos técnicos como prácticos de la Electrónica para la solución de problemas en el ámbito industrial y aeronáutico.

Las industrias en la actualidad conllevan varios problemas a nivel técnico ya que requieren grandes cantidades de voltajes, para la maquinaria que operan cuidando el consumo energético, debido a este problema la carrera de Electrónica requiere familiarizar a los estudiantes con transformadores trifásicos elevadores o reductores y así se desenvuelvan de una manera exitosa en el campo laboral. Es por ello

que en la institución ya se han desarrollado trabajos de graduación referente al tema como:

- ✓ El proyecto realizado por el Cbos. Tec. Avc. (Muisin, 2010)

Tema: IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO REDUCTOR PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS Y CONTROL INDUSTRIAL DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO, Y ELABORACIÓN DE GUÍAS DE LABORATORIO.

Conclusión

A través de este módulo didáctico se podrá relacionar al estudiante mediante las prácticas de laboratorio con procesos aplicables dentro del campo industrial.

- El proyecto realizado por el CBOS. TEC. AVC (Chacha, 2009)

Tema: IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO ELEVADOR PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS Y CONTROL INDUSTRIAL DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO, Y ELABORACIÓN DE GUÍAS DE LABORATORIO.

Los dos trabajos de graduación antes mencionados se desarrollaron con la implementación de tres transformadores monofásicos reductores y elevadores de 220V a 110V y viceversa, permitiendo realizar diferentes pruebas de polaridad y conexiones: Y, YY, Y Δ , $\Delta\Delta$, Δ . Verificando su correcto funcionamiento.

Por lo que es importante que este trabajo técnico se desarrolle, puesto que en laboratorio de máquinas eléctricas se dispone de varios motores que necesitan una alimentación de 440V es por ello que se ha planteado la implementación de un transformador trifásico elevador de 220V a 440V con una corriente de hasta 25 Amperios.

1.2 Planteamiento del problema

El laboratorio de máquinas eléctricas no posee equipos o dispositivos que permitan manejar tensiones de 440V que permitan el funcionamiento de motores que utilicen este valor de voltaje y su capacidad sea de 4 Hp distribuidos desde un transformador elevador, por lo cual es necesario la implementación de un transformador trifásico elevador de 220V a 440V, 25 Amperios.

Con el análisis previo y consistente de los dispositivos y equipos con los que cuenta el laboratorio de Máquinas Eléctricas de la UGT se determinó que el laboratorio debe estar repotenciado de manera que los estudiantes adquieran nuevos conocimientos y corrijan las falencias que presentan al momento de manejar transformadores y autotransformadores eléctricos de alta potencia.

Debido a la falta de equipos en el laboratorio de máquinas eléctricas el estudiante no estará preparado para controlar, solucionar y demostrar el funcionamiento de motores de alta potencia (440V) y sustentar una comparación de consumo energético del mismo a la vez que no le permitirá desempeñarse de una manera eficaz en el campo laboral.

1.3 Justificación

Se optó por implementación de un autotransformador trifásico elevador de 220V a 440V que proporciona hasta una corriente de 25 Amperios será de gran ayuda para realizar prácticas de motores trifásicos de inducción de 220V a 440V que posteriormente serán manipulados en la asignatura de Control industrial permitiendo a los estudiantes desarrollar habilidades en la operación de máquinas eléctricas como transformadores y motores, primordiales en el ámbito laboral.

Los autotransformadores trifásicos elevadores de baja potencia se los encuentran en el mercado industrial con mayor facilidad en comparación con un transformador por sus cualidades que son mejores que el mismo transformador, el cual no sufre de pérdidas en el núcleo y todas sus

características se mantienen igual al mismo tiempo en la estructura sería más sencilla conservando sus cualidades.

El autotransformador trifásico, con el que se realizara prácticas de laboratorio de Maquinas Eléctricas, es factible pues en la actualidad en el mercado es fácil de encontrar las chapas, el calibre del cable para la elaboración del mismo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Implementar un autotransformador trifásico elevador de 220V a 440V que proporciona hasta 25 Amperios, para el Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

1.4.2 Objetivo Especifico

- ✓ Indagar información teórica referente a autotransformadores trifásicos elevadores apoyado en la bibliografía existente.
- ✓ Diseñar el autotransformador trifásico elevador mediante un solo núcleo.
- ✓ Implementar el autotransformador trifásico en base al dimensionamiento y a los materiales a utilizar.
- ✓ Elaborar guías de laboratorio para verificar y demostrar su correcto funcionamiento.

1.5 Alcance

Este proyecto está dirigido a la carrera de Electrónica mención Instrumentación y Aviónica de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, para el laboratorio de Maquinas Eléctricas el cual proporciona el desarrollo tanto práctico como teórico de los estudiantes que hagan uso del laboratorio por lo cual se ha visto la necesidad primordial elaborar un autotransformador trifásico de 220V-440V 25A que servirá para conectar trifásicos a 440V.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Máquina Eléctrica

Una Máquina Eléctrica es un dispositivo que puede convertir energía mecánica en energía eléctrica o viceversa. Una máquina eléctrica puede utilizarse como generador o como motor. (J. Chapman, 2000)

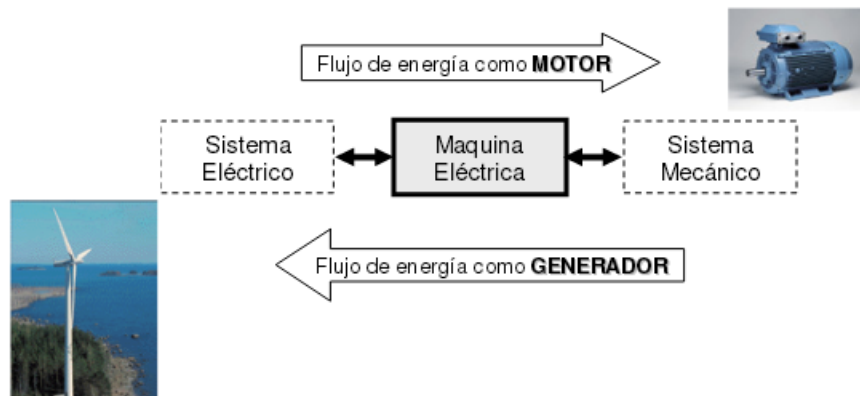


Figura 1 Máquina Eléctrica

Fuente: (Jiménez, 2014)

2.2 Clasificación de las maquinas eléctricas

Las maquinas eléctricas se clasifican de la siguiente manera:

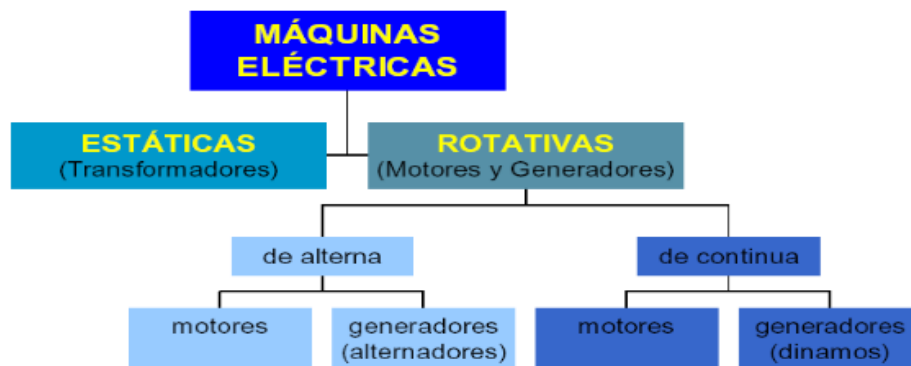


Figura 2 Clasificación de máquinas eléctricas

Fuente: (Jiménez, 2014)

2.2.1 Máquinas Eléctricas Rotativas

De acuerdo a (Tiravanti, 2012) las máquinas eléctricas rotativas:

Son aquellas que para su funcionamiento están provistas de partes giratorias dependiendo de las funciones que realicen. Forman parte de esta clasificación muchos de los dispositivos que pueden convertir energía eléctrica a mecánica y viceversa. Algunos dispositivos son usados para conversión continua de energía, y son conocidos como motores y generadores.

Se clasifican en las siguientes:

- ✓ **Generadores.-** Transforman la energía mecánica en eléctrica. Se instalan en las centrales eléctricas (CC.EE.) y en los diferentes equipos de transporte como autos, aviones, barcos, etc. En las CC.EE. los generadores son accionados mecánicamente mediante turbinas que pueden ser a vapor o hidráulicas; en los equipos de transporte mediante motores de combustión interna o turbinas a vapor. En una serie de casos los generadores se usan como fuente de energía para equipos de comunicaciones, dispositivos automáticos, de medición, etc.
- ✓ **Motores.-** Son equipos eléctricos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica; sirven para accionar diferentes máquinas, mecanismos y dispositivos que son usados en la industria, agricultura, comunicaciones, y en los artefactos electrodomésticos. En los sistemas modernos de control los motores se usan en calidad de dispositivos gobernadores, de control, como reguladores y/o programables.

2.2.2 Máquinas eléctricas estáticas

“Son aquellas que para su funcionamiento no disponen de partes móviles, como los transformadores.” (Tiravanti, 2012)

2.2.2.1 Transformador

De acuerdo a (Tiravanti, 2012) el transformador es:

Una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc.

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Las bobinas o devanados se denominan primarios y secundarios según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente.

2.3 Inducción Electromagnética

De acuerdo a (Álvarez, 2015) el transformador es:

El fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida. Este fenómeno fue descubierto por Michael Faraday quién lo expresó indicando que la magnitud del voltaje inducido es proporcional a la variación del flujo magnético (Ley de Faraday).

Se puede expresar matemáticamente así:

$$E = \frac{d\Phi}{dt}$$

Donde:

E= Fuerza electromotriz en voltios

Φ = Flujo magnético en weber

t = Tiempo en segundos

El signo – es debido a la Ley de Lenz.

La inducción electromagnética es el principio fundamental sobre el cual operan transformadores, generadores, motores eléctricos, la

vitrocerámica de inducción y la mayoría de las demás máquinas eléctricas.

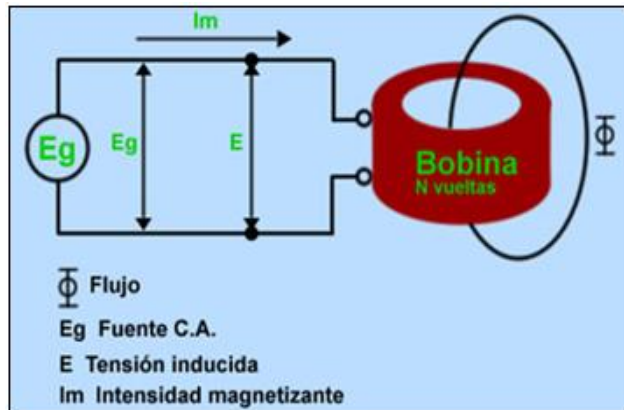


Figura 3 Inducción en una bobina.

Fuente: (Tiravanti, 2012)

2.4 Autotransformador

2.4.1 Definición

De acuerdo a Pilco 2015, se define que:

El autotransformador es una máquina que funciona como un transformador común, pero con algunas diferencias en su construcción ya que este tiene un solo bobinado y se caracteriza por tener una alta gama de ventajas. (Pilco, 2015)

2.4.2 Funcionamiento

De acuerdo a (Sinnha, 2016), se define que:

En esencia se caracteriza el autotransformador por poseer un solo circuito eléctrico, del cual parten cuatro salidas, dos primarias A y B y dos secundarias C y B (Ilustración 4). Entre las bornes A y B, el bobinado tiene N_1 espiras, cuyo número corresponde a la alta tensión.

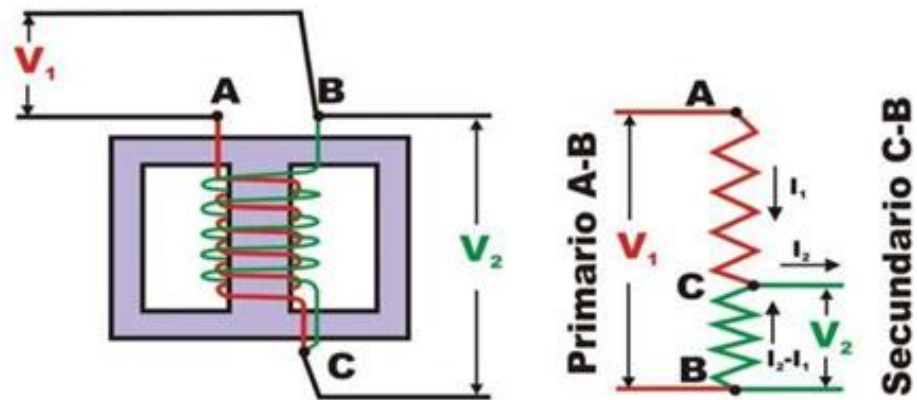


Figura 4 Autotransformador

Fuente: (Medina, 2013)

En este bobinado se ha efectuado una derivación en el punto C distante, N_2 espiras del extremo B, de forma que el trozo BC corresponde a la baja tensión. Así pues, en este bobinado se distinguen dos partes distintas, una CB común a los circuitos de alta y baja tensión y otra AC conectada en serie con la anterior, que pertenece sólo a la alta tensión.

2.4.3 Constitución general

De acuerdo a (Medina, 2013), se define que:

La construcción de un autotransformador es similar a la de un transformador, pero entre ambas clases de máquinas existe una diferencia esencial derivada de que en el transformador cada fase tiene dos bobinados independientes, uno de alta tensión y otro de baja, mientras que en el autotransformador cada fase dispone de un solo bobinado con tres bornes de salida.

Aparentemente es difícil apreciar esta diferencia, ya que incluso cada fase del autotransformador está constituida por las dos bobinas independientes que se indican a continuación:

2.4.3.1 Bobina común

Formada por un elevado número de espiras, ya que debe estar calculado para la tensión secundaria,

El conductor de la bobina común es de poca sección, sólo la necesaria para permitir el paso de una corriente, cuya intensidad es igual a la diferencia entre las corrientes secundaria y primaria.

2.4.3.2 Bobina serie

Formada por un número de espiras N_1 pequeño, ya que ha de estar prevista para una tensión diferente de las tensiones primaria y secundaria

La sección de conductor de la bobina serie ha de ser grande, ya que queda recorrida por la corriente total absorbida por el autotransformador de la línea de alimentación. Las dos bobinas, común y serie, van dispuestas concéntricamente en una misma columna, al igual que sí fueran los dos bobinados de un transformador normal (grafico 4). Se acostumbra a colocar en el interior la bobina serie y al exterior la bobina común, debido a que ésta es más propensa a averías. Las dos bobinas quedan conectadas directamente mediante un puente de conexión C que une los dos extremos inferiores de las bobinas. Del conjunto se sacan tres salida, dos de ellas A y B en los extremos libres de las bobinas y la tercera C del puente de conexión.

2.4.4 Autotransformador reductor

De acuerdo a unicrom.com, 2017, se define que:

Si se aplica una tensión alterna entre los puntos A y B, y se mide la tensión de salida entre los puntos C y D, se dice que el autotransformador es reductor de tensión.

En este caso la relación de vueltas del autotransformador es: $N_s / N_p < 1$

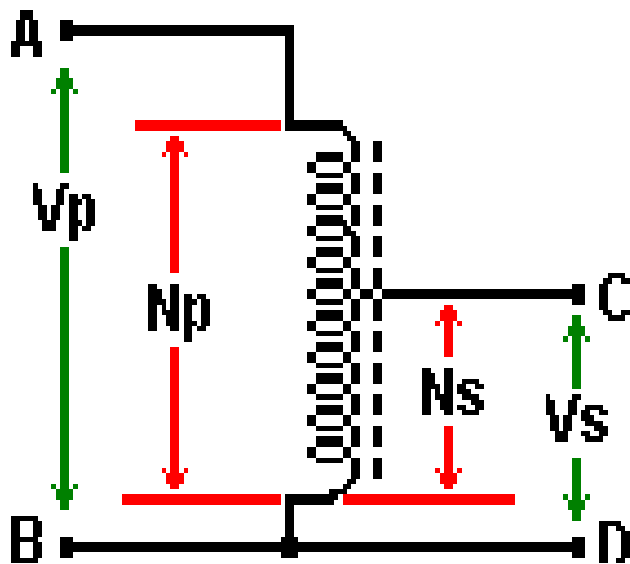


Figura 5 Autotransformador Reductor

Fuente: (unicrom.com, 2017)

2.4.5 Autotransformador elevador

Si se aplica una tensión alterna entre los puntos C y D, y se mide la tensión de salida entre los puntos A y B, se dice que el autotransformador es elevador de tensión.

En este caso la relación de vueltas del autotransformador es: $N_s / N_p > 1$

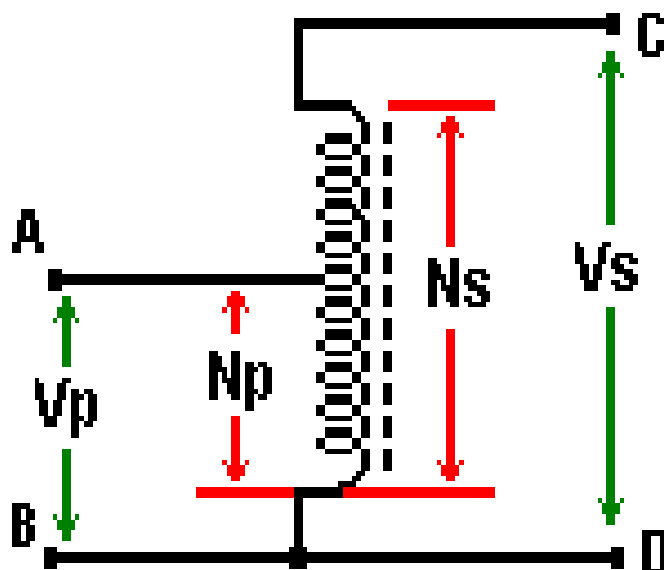


Figura 6 Autotransformador Elevador

Fuente: (unicrom.com, 2017)

2.5 Autotransformador trifásico

De acuerdo a (ww2.educarchile.cl, 2009), se define que:

En un autotransformador trifásico cada fase está constituida por un bobinado ejecutado como el que se ha expuesto para el autotransformador monofásico.

Las tres fases de un autotransformador trifásico son unidas en estrella, para lo cual se unen los extremos libres de las bobinas comunes (Ilustración 7). Las bornes de alta tensión, son los extremos libres de las bobinas serie, mientras que las bornes de baja tensión salen de los puentes de conexión de las bobinas serie y común. En un autotransformador trifásico se puede disponer de conductor neutro si fuera necesario.

La teoría y reglas expuestas para los autotransformadores monofásicos son aplicables a los trifásicos sin más que tener en cuenta que en éstos la tensión por fase es $\frac{1}{3}$ veces más pequeña que la tensión de línea.

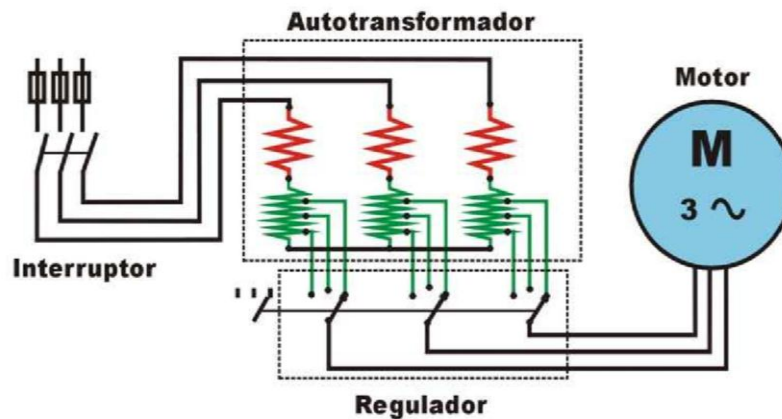


Figura 7 Autotransformador con varias salidas para arranque de motores

Fuente: (ww2.educarchile.cl, 2009)

2.6 Conexiones trifásicas

2.6.1 Conexión en estrella de autotransformadores

De acuerdo a (Francisco L. Singer), se define que:

Tres autotransformadores monofásicos pueden conectarse en estrella, como se indica en la (Ilustración 8). En estas condiciones, el comportamiento del banco es análogo, en muchos aspectos, al de un banco de tres transformadores de dos circuitos conectados en estrella – estrella. Si el neutro está aislado, como en la (Ilustración 8), las tensiones respecto al neutro están desequilibradas a menos que los transformadores tengan características de excitación exactamente iguales. Además, las tensiones entre línea y neutro contienen terceros armónicos relativamente grandes originados por la supresión de los terceros armónicos de las corrientes de excitación

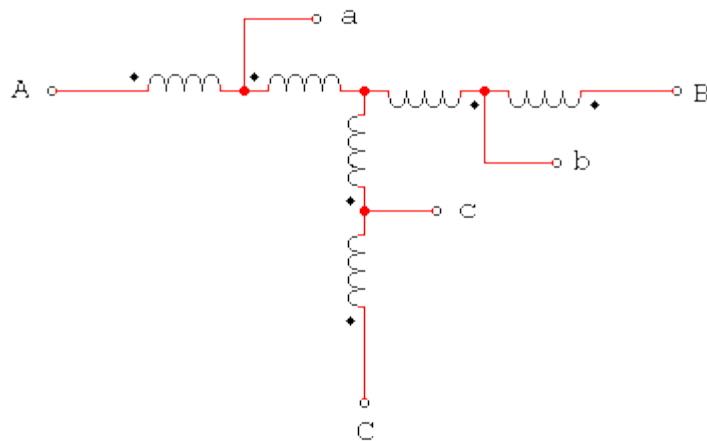


Figura 8 Conexión en estrella de autotransformadores

Fuente: (Francisco L. Singer)

2.6.2 Conexión en triángulo de autotransformadores

De acuerdo a (Francisco L. Singer), se define que:

Tres autotransformadores pueden conectarse en triángulo en la forma indicada en la (Ilustración 9). Un posible inconveniente de esta conexión es que las tensiones de línea de los secundarios no están en concordancia de fase con las tensiones de línea de los primarios. Además, la mayor razón de transformación que puede obtenerse es 2 : 1 . Como en la conexión triángulo – triángulo de transformadores de dos circuitos, los terceros armónicos de las corrientes de excitación circulan por el triángulo, pero no aparecen en las corrientes de línea.

Los autotransformadores también pueden conectarse en triángulo como se indica en la (Ilustración 10).. En la cual los devanados serie se conectan en serie con las líneas de alta tensión y los devanados comunes se conectan en triángulo. Al igual que la conexión triángulo de la (Ilustración 9) las tensiones de línea del primario y secundario no están en fase.

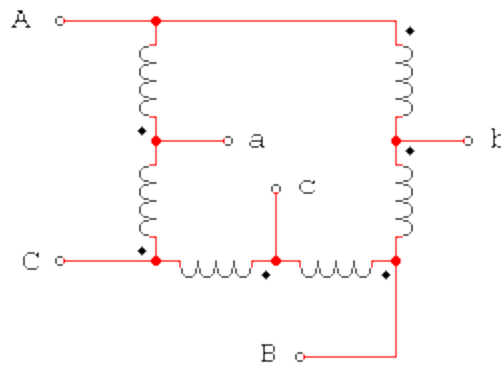


Figura 9 Conexión en triángulo de autotransformadores

Fuente: (Francisco L. Singer)

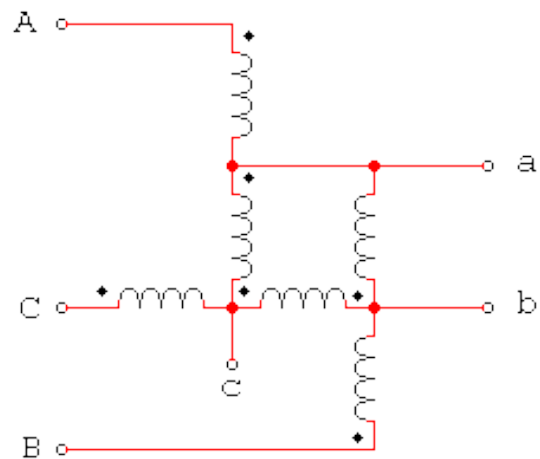


Figura 10 Conexión en triángulo de autotransformadores

Fuente: (Francisco L. Singer)

2.6.3 Conexión de autotransformador en triángulo abierto

De acuerdo a (Francisco L. Singer), se define que:

A diferencia de la conexión en triángulo, la conexión en triángulo abierto de autotransformadores, indicada en la (Ilustración 9) no está restringida a razones de transformación inferiores a la 2 : 1. Además, si se prescinde de las caídas de tensión debidas a las impedancias de fuga, las tensiones de línea del primario y secundario están en concordancia de fase.

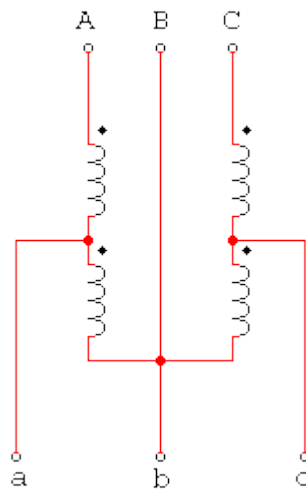


Figura 11 Conexión de autotransformador en triángulo abierto

Fuente: (Francisco L. Singer)

Luego, si se conectan ambos lados del primario y secundario de un banco de autotransformadores conectados en triángulo abierto a circuitos conectados en estrella, sólo podrá conectarse a tierra el neutro de uno de los lados del banco, ya que existe una diferencia de tensión entre los neutros de los circuitos primarios y secundarios.

2.7 Potencia

De acuerdo a (Tiravanti, 2012), se define que:

La potencia en corriente alterna monofásica está dada como el producto de la tensión por la corriente y por el factor de potencia, de acuerdo a la expresión.

$$P = V \times I \times \cos \theta$$

Esta fórmula expresa la “potencia real” que se mide en watts, el producto del voltaje (solo) por la corriente da la denominada potencia aparente.

$$P = V \times I$$

Las normas para transformadores cuando hablan de potencia nominal, se refieren a una potencia que es el producto de la corriente por el voltaje en vacío. La potencia nominal es por lo tanto una “potencia aparente” que es la misma, ya sea que se considere el devanado primario o el devanado secundario. La razón de esta definición que es sólo convencional, se debe al hecho de que se caracteriza a la máquina desde el punto de vista del dimensionamiento. Las prestaciones de una máquina eléctrica están limitadas por el calentamiento de sus componentes, las cuales está causadas por las pérdidas que tiene. En un transformador se tienen las pérdidas en el núcleo y las pérdidas en los devanados.

2.8 Eficiencia

De acuerdo a (Tiravanti, 2012), se define que:

En general, la eficiencia de cualquier máquina eléctrica, se calcula como:

Eficiente:

$$\frac{\text{Pot. Salida}}{\text{Pot. Entrada}} = \frac{\text{Pot. Salida}}{\text{Pot. Salida} + \text{Pérdidas}}$$

En virtud de que la capacidad de un transformador está basada en su potencia de salida, esta ecuación se puede escribir como:

$$\text{Eficiente} = \frac{\text{KVA salida} \times \text{FP}}{\text{KVA salida por FP} + \text{Perd. Núcleo} + \text{perd. devanados}}$$

2.9 Pérdidas

2.9.1 Núcleo

De acuerdo a (Tiravanti, 2012), se define que:

Las corrientes armónicas de frecuencias más altas provocan pérdidas de núcleo incrementadas en proporción al cuadrado de la corriente de carga **rms** (eficaz) y en proporción al cuadrado de frecuencia debido al efecto pelicular.

Las pérdidas en el núcleo se evidencian por los siguientes parámetros:

2.9.1.1 Las pérdidas por corrientes parásitas.

De acuerdo a (Tiravanti, 2012), se define que:

Se deben a que el flujo alterno, además de inducir una F.E.M en los devanados del transformador, induce también en el núcleo de acero una F.E.M, la que produce una circulación de pequeñas corrientes que actúan sobre una superficie del núcleo y producen calentamiento del mismo. Si el núcleo fuese de acero macizo, las corrientes de Foucault producidas originarían pérdidas intolerables. Por tal motivo. Los núcleos de los transformadores se construyen en láminas delgadas de acero al silicio que ofrece gran resistencia a las corrientes parásitas, inducidas en el núcleo. Las laminaciones son destempladas en un horno eléctrico y son recubiertas por una delgada capa de barniz que aumenta la resistencia a las corrientes parásitas.

2.9.1.2 Las pérdidas por histéresis.

De acuerdo a (Tiravanti, 2012), se define que:

Debido a que el flujo magnético se invierte varias veces por segundo, según la frecuencia produciendo así pérdidas de potencia debido a la fricción de millones de moléculas que cambian de orientación varias veces.

2.9.2 Cobre

De acuerdo a (Rosario), se define que:

“El incremento en las pérdidas de cobre se debe a la circulación de corrientes armónicas de secuencia positiva y negativa transportadas en los conductores de fase provenientes de cargas generadoras de armónicos monofásicas y trifásicas, y a la circulación de las corrientes armónicas triples de secuencia cero que son transportadas en los conductores neutros desde las cargas mono lineales generadoras de armónicos.”

Para un mejor entendimiento las pérdidas en el cobre o en los bobinados del transformador, se deben a la disipación de calor que se producen en los devanados. Estas pérdidas son proporcionales a las resistencias de cada bobinado, y a través de la corriente que circula en ellos.

Las pérdidas en el cobre se pueden calcular por las siguientes fórmulas:

2.9.2.1 Pérdidas en el devanado primario

$$\text{Perd} = I_p^2 \times R_p \text{ (W)}$$

I_p: corriente en el devanado primario.

R_p: resistencia efectiva del devanado primario.

2.9.2.2 Pérdidas en el devanado secundario

$$\text{Perd} = I_s^2 \times R_s \text{ (W)}$$

I_s: corriente en el devanado secundario.

R_s: resistencia efectiva del devanado secundario.

2.9.2.3 Pérdidas totales

$$\text{Perd. T} = I_p^2 R_p + I_s^2 R_s \text{ (W)}$$

2.10 Nomenclatura

Las letras que se utilizan como estándar para las entradas a la bobina primaria del transformador son las siguientes:

Para el transformador monofásico: **H1, H2.**

- ✓ Para el transformador trifásico: **H1, H2, H3.**
- ✓ Por otra parte para las salidas de la bobina secundaria se establece la siguiente nomenclatura:
- ✓ Para el transformador monofásico: **X1, X2.**
- ✓ Para el transformador trifásico: **X1, X2, X3.**

2.11 Limitaciones

De acuerdo a (Pilco, 2015), se define que:

Dentro de los autotransformadores existen limitaciones de funcionamiento los mismos que se explican a continuación:

- ✓ Una falla en el aislamiento de los devanados de un autotransformador puede producir que la carga quede expuesta a recibir plena tensión (la de la fuente). Se debe tener en cuenta esta situación al decidir utilizar un autotransformador para una determinada aplicación.
- ✓ Las ventajas en ahorro de material tienen una limitación física, que en la práctica es una relación de voltajes de 3:1. Para relaciones de tensión mayores a ésta, o bien el transformador convencional de dos devanados es más compacto y económico, o bien resulta imposible construir el autotransformador.
- ✓ En sistemas de transmisión de energía eléctrica, los autotransformadores tienen la desventaja de no filtrar el contenido armónico de las corrientes y de actuar como otra fuente de corrientes de falla a tierra.
- ✓ Existe una conexión especial -llamada "conexión en "ZIG-ZAG" gráfico 9 que se emplea en sistemas trifásicos para abrir un camino

de retorno a la corriente de tierra que de otra manera no sería posible lograr, manteniendo la referencia de tierra del sistema.

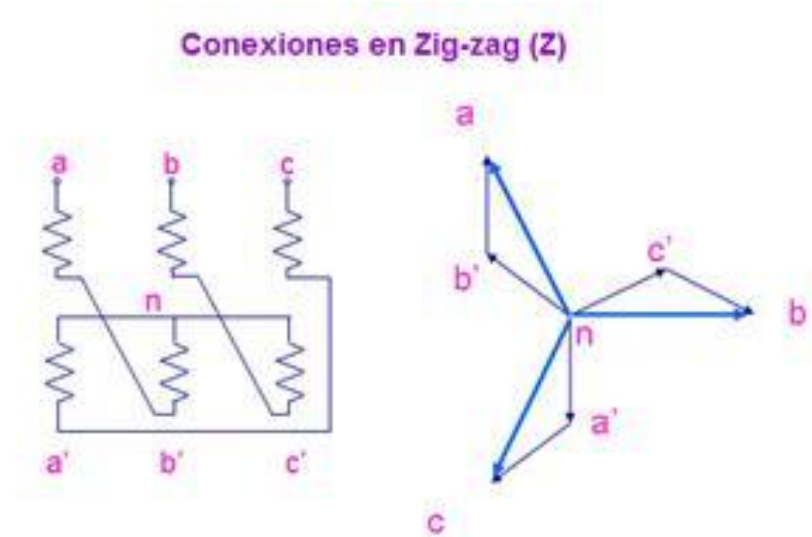


Figura 12 Conexión Zig – zag (Z)

Fuente: (Pilco, 2015)

2.12 Cálculos y construcción de autotransformadores

De acuerdo a (Pilco, 2015), se define que:

Existen autotransformadores con varias tomas en el secundario y por lo tanto, con varias relaciones de transformación. De la misma manera que los transformadores, los autotransformadores también pueden equiparse con cambiadores de toma automáticos y utilizarlos en sistemas de transmisión y distribución para regular la tensión de la red eléctrica.

También existen autotransformadores en los que la toma secundaria se logra a través de una escobilla deslizante, permitiendo una gama continua de tensiones secundarias que van desde cero hasta la tensión de la fuente. Este último diseño se comercializó en Estados Unidos bajo el nombre genérico de Variac y en la práctica funciona como una fuente de corriente alterna regulable en tensión. De esta manera tenemos una máquina de CA más eficaz.

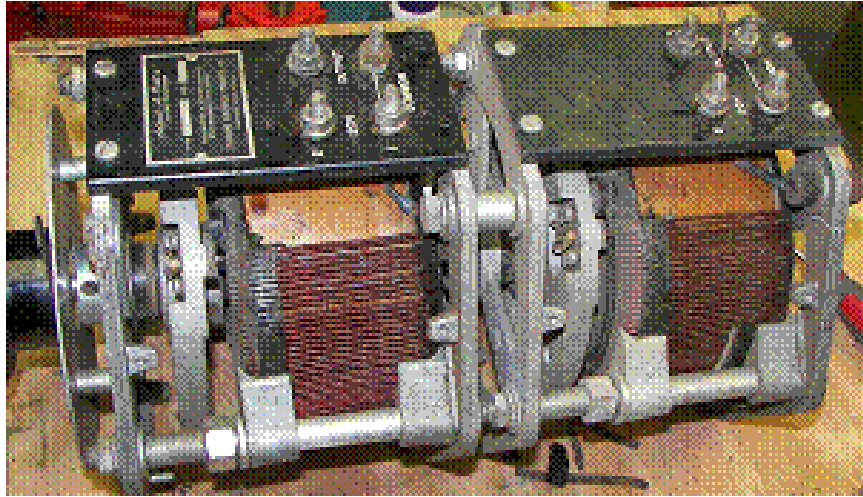


Figura 13 Tipo de Autotransformador” Variac “

Fuente: (Pilco, 2015)

2.12.1 Elección del núcleo

De acuerdo a (Tiravanti, 2012), se define que:

La sección del núcleo está dada por el producto de los lados “A x B”,
como se indica en la siguiente figura:

$$S_n = A \times B$$

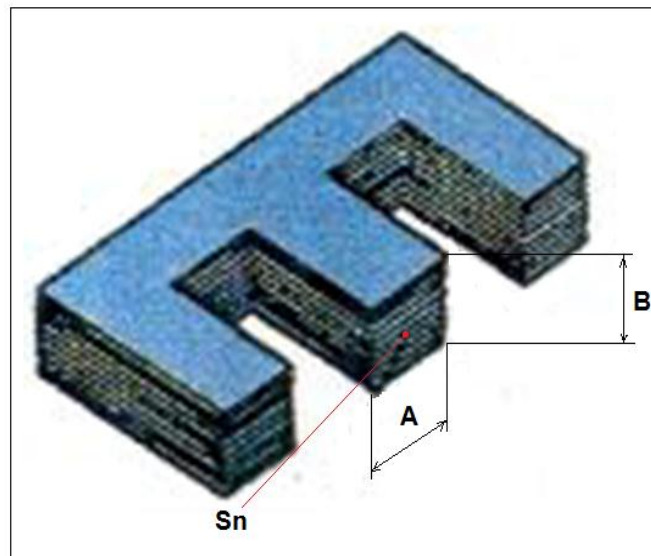


Figura 14 Dimensiones del núcleo

Fuente: (Tiravanti, 2012)

Donde:

Sn: sección del núcleo.

A: es uno de los lados en cm.

B: es el otro lado en cm.

2.12.2 Determinación del número de espiras por cada bobinado

Para la determinación del número de espiras se utiliza la siguiente expresión:

$$N = \frac{V}{f_x S_x \beta \times 4,4 \times 10^{-8}}$$

Para el bobinado primario tenemos:

$$N_p = \frac{V_p}{f_x S_x \beta \times 4,4 \times 10^{-8}}$$

Y para el bobinado secundario tenemos:

$$N_s = \frac{V_s}{f_x S_x \beta \times 4,4 \times 10^{-8}}$$

Se resume también la siguiente fórmula que se utiliza para los cálculos que es:

$$\Phi_m = S_x \beta$$

Donde:

10⁻⁸: es una constante para que todas las variables estén en el Sistema M.K.S.

N1: es el número de espiras del bobinado primario.

N2: es el número de espiras del bobinado secundario.

f : es la frecuencia de la red domiciliaria en Hertz (Hz).

V1: es la tensión en el bobinado primario en Voltios (V).

V₂: es la tensión en el bobinado secundario en Voltios (V).

β: es la inducción magnética en el núcleo elegido en Gauss. Este valor puede variar entre 4.000 y 12.000 Gauss.

“Por otra parte el fabricante de láminas para transformadores es aquel que podrá proporcionar las tablas para cada clase de valores adoptados de **β**. Si se desea aprovechar placas comunes de acuerdo a los requerimientos se puede considerar $\beta=12000$ Gauss. Esto porque los núcleos comunes poseen coeficientes de inducción entre 8000 y 12000 Gauss, siendo más comunes los valores mayores. Si el valor adoptado fuera muy alto, lo que ocurre es una posible saturación del núcleo con absorción indebida de energía y pérdida de rendimiento cuando aumenta la corriente.” (Tiravanti, 2012)

Como medio sustentable para determinar la inducción magnética, también se incluye las propiedades magnéticas de los materiales blandos.

S_n: es la sección del núcleo en cm².

10⁻⁸: es una constante para que todas las variables estén en el Sistema M.K.S.

Φ_m: es el flujo magnético.

La inducción magnética en Gauss está dada por la siguiente expresión:

$$\beta = \mu * H$$

Donde:

β: es la inducción magnética en el núcleo elegido en Weber/m².

μ: es la permeabilidad del acero usado en el núcleo en Weber/A x m.

H: es la intensidad del campo magnético en A/m (Amper/metro).

2.12.3 Tipo de cable para el bobinado

La sección de los alambres que se usarán depende directamente de la intensidad de la corriente eléctrica que circula por ella (alambre). Los alambres usados pueden ser: aluminio ó cobre recocido. Se usa más el cobre que el aluminio por ser este mucho más dúctil, maleable y flexible.

2.12.4 Determinación de corrientes para cada uno de los bobinados

Teniendo en cuenta la potencia del transformador y la tensión aplicada podemos hallar la corriente eléctrica.

$$P = V \times I$$

Despejando la corriente eléctrica de la expresión anterior tenemos que:

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

Suponiendo que nuestro transformador posee únicamente dos bobinados. Para el bobinado primario tenemos:

$$I_p = \frac{P}{V_p}$$

Donde:

I_p: es la corriente eléctrica del bobinado primario.

P: es la potencia eléctrica del transformador.

V_p: es la tensión aplicada en el bobinado primario.

Y para el bobinado secundario tenemos:

$$I_s = \frac{P}{V_s}$$

Donde:

I_s: es la corriente eléctrica del bobinado secundario.

P: es la potencia eléctrica del transformador.

V_s: es la tensión aplicada en el bobinado secundario.

2.12.5 Cálculo de las potencias del bobinado

Según el autor (Tiravanti, 2012) manifiesta que al hacer este cálculo, se debe considerar una pequeña pérdida que ocurre al transferir la energía del primario al secundario a través del núcleo. Estas pérdidas se pueden especificar en forma muy aproximada de la siguiente manera:

- ✓ Si la potencia secundaria está comprendida entre 10 y 500 vatios, se toman 15% de pérdidas. La eficiencia será del 85%.
- ✓ Si la potencia secundaria está entre 500 y 1500 vatios, se toman 10% de pérdidas. La eficiencia será del 90%.
- ✓ Si la potencia secundaria es superior a 1500 vatios, se toman 5% de pérdidas. Entonces la eficiencia será del 95%.
- ✓ De acuerdo con lo anterior, se calcula la potencia del primario con la siguiente fórmula:

$$P_p = \frac{P_s}{\eta}$$

Donde:

P_p: es la potencia del primario.

P_s: es la potencia del secundario.

η: es la eficiencia expresada en fracción decimal.

2.12.6 Densidad de la corriente eléctrica

Definimos densidad de corriente eléctrica como la corriente eléctrica que atraviesa un conductor por unidad de superficie.

$$D = \frac{I}{S_c}$$

Donde:

D: es la densidad de corriente eléctrica.

I: es la corriente eléctrica que circula por un conductor.

S_c: es la sección transversal del conductor.

2.12.7 Determinar la sección transversal para cada uno de los bobinados

Existen dos formas para determinar la sección del conductor, estas son:

Despejando la sección de la expresión anterior tenemos que:

$$S_c = \frac{I}{D}$$

Para la sección del bobinado primario tenemos que:

$$S_{c1} = \frac{I_p}{D}$$

Y para la sección del bobinado secundario tenemos que:

$$S_{c2} = \frac{I_s}{D}$$

La densidad de corriente se obtiene de la tabla 1.

Tabla 1 Densidad de corriente

Corriente (Amper)	Densidad (A/mm ²)
0.005	2.5
0.007-319	3

Fuente: (Tiravanti, 2012)

Observando la tabla anterior vemos que a medida que aumenta la corriente eléctrica aumenta también la densidad de corriente eléctrica.

Otra forma de calcular la sección del conductor es mediante la corriente con ayuda de la tabla de calibres (ver Anexo C). Por tanto se aplica las siguientes fórmulas para cada bobinado, estas son:

Para el primario:

$$I_p = \frac{P_p}{V_p}$$

Para el secundario:

$$I_s = \frac{P_s}{V_s}$$

2.13 Ventajas y desventajas

De acuerdo a (Pilco, 2015), se define que:

A continuación se dará a conocer las ventajas y desventajas de los autotransformadores en resumen decimos que existe una gran gama de ventajas de los autotransformadores

2.13.1 Ventajas

- ✓ Solo un porcentaje de la energía se trasmite por inducción
- ✓ El autotransformador por sus características se viene a ser de menor tamaño por lo que ocuparía menor espacio
- ✓ Existe menor flujo del campo y menor tamaño del núcleo de hierro. Se obtienen autotransformadores más livianos.
- ✓ El autotransformador lleva un solo bobinado
- ✓ Menores caídas de tensión
- ✓ Menor intensidad de vacío
- ✓ Es más fácil de construir y requiere menos cobre.
- ✓ En consecuencia es más económico.
- ✓ Parte de la energía del autotransformador se transmite eléctricamente.
- ✓ Las pérdidas eléctricas siempre son menores que las pérdidas magnéticas
- ✓ El autotransformador tiene mayor rendimiento
- ✓ El autotransformador genera más potencia que un transformador normal de especificaciones similares
- ✓ Tiene una tensión de cortocircuito pequeña lo que plantea el inconveniente de que la corriente en caso de corto circuito es elevada
- ✓ Transfiere más potencia que un transformador normal



Figura 15 Autotransformador de una central eléctrica

Fuente: (Pilco, 2015)

2.13.2 Desventajas

- ✓ La principal desventaja de los autotransformadores es que a diferencia de los transformadores ordinarios hay una conexión física directa entre el circuito primario y el secundario, por lo que se pierde el aislamiento eléctrico en ambos lados.
- ✓ Peligro del corte de una espira, lo que produciría que el secundario quede sometida a la tensión del primario
- ✓ Conducción galvánica entre el primario y secundario
- ✓ Baja regulación de tensión debido a su baja impedancia equivalente
- ✓ Debido a la construcción eléctrica del dispositivos, la impedancia de entrada del autotransformador es menor que de un transformador común. Esto no es ningún problema durante el funcionamiento normal de la máquina, pero si por alguna razón se produce un cortocircuito a la salida
- ✓ La salida del transformador no está aislada con la entrada, este se vuelve inseguro para la persona que lo opera.
- ✓ No tienen aislamientos en los primarios y secundario

2.14 Ventajas de los autotransformadores frente al transformador

Tabla 2 Ventajas y desventajas

VENTAJAS	DESVENTAJAS FRENTE AL TRANSFORMADOR
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensión más reducida • Costos más bajos • Eficiencia más alta. • Corriente de excitación más reducida • Mejor regulación 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayores corrientes de cortocircuito por disminuir su impedancia de cortocircuito. • Conexión eléctrica entre el primario y el secundario

Tabla 3 Comparaciones entre transformador y autotransformador

PARÁMETROS	TRANSFORMADOR	AUTOTRANSFORMADOR
Tamaño, Peso	+	-
Costo	+	-
Intensidad al vacío	+	-
Caída de tensión	+	-
Rendimiento	-	+
Tensión de cortocircuito	+	-
Intensidad cortocircuito accidental	-	+

2.15 Aplicaciones

Según (Pilco, 2015) acota que:

Existen aplicaciones muy importantes para el funcionamiento de otras máquinas que requieren autotransformadores

Los autotransformadores se utilizan a menudo en sistemas eléctricos de potencia, para interconectar circuitos que funcionan a tensiones diferentes, pero en una relación cercana a 2:1 (por ejemplo, 400 kV / 230 kV ó 138 kV / 66 kV).



Figura 16 Autotransformador

Fuente: (Pilco, 2015)

En la industria, se utilizan para conectar maquinaria fabricada para tensiones nominales diferentes a la de la fuente de alimentación (por ejemplo, motores de 480 V conectados a una alimentación de 600 V).

Se utilizan también para conectar aparatos, electrodomésticos y cargas menores en cualquiera de las dos alimentaciones más comunes a nivel mundial (100-130 V a 200-250 V). En sistemas de distribución rural, donde las distancias son largas, se pueden utilizar autotransformadores especiales con relaciones alrededor de 1:1, aprovechando la multiplicidad de tomas para variar la tensión de alimentación y así compensar las apreciables caídas de tensión en los extremos de la línea.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares

En el siguiente capítulo se detalla la implementación de un autotransformador trifásico elevador de voltaje desde 220V a 440V / 25 Amperios, el mismo que solucionara la falta de una red con alto voltaje en la Unidad de Gestión de Tecnologías – ESPE, para la alimentación de motores trifásico de 440V – 4 HP del laboratorio de máquinas eléctricas.

Para la adecuada familiarización de los estudiantes que se encuentran cursando su periodo académico tanto con el manejo de altos voltajes, como los elementos que funcionan a este rango de voltaje.

3.2 Características del autotransformador

Para la construcción del autotransformador se consideró las necesidades de los motores de corriente alterna de 4 HP que necesita una corriente que a plena carga de consumo de 6.2 A, cuya corriente de arranque llega a 10 A, por lo que se requiere para los dos motores en casos extremos unos 25 A. Bajo estos requerimientos se dimensiono el autotransformador.

Tabla 4 Características

Devanado Primario	Devanado Secundario
Voltaje de entrada 220v (Trifásico)	Voltaje de salida 440v (Trifásico)
Corriente de entrada	Corriente de salida 25 Amperios
Tolerancia 2%	

3.3 Cálculos para el diseño y la construcción del autotransformador trifásico

3.3.1 Sección del núcleo:

$$A = 6 \text{ cm}; B = 7 \text{ cm.}$$

$$S_n = A * B$$

$$S_n = 6 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$$

$$S_n = 42 \text{ cm}^2$$

Dónde:

S_n: sección del núcleo.

A: es uno de los lados en cm.

B: es el otro lado en cm.

3.3.2 Flujo magnético

$$\Phi_m = S_n * \beta$$

$$\Phi_m = 42\text{cm}^2 * 10000\text{lineas/cm}^2$$

$$\Phi_m = 420000 \text{ líneas}$$

3.3.3 Determinación del número de espiras para cada bobinado

Fórmula para la determinación del número de espiras

$$N = \frac{V / \sqrt{3}}{f * S_n * \beta * (4,4 * 10^{-8})}$$

Dónde:

f : es la frecuencia de la red domiciliaria en Hertz (Hz).

β: es la inducción magnética en el núcleo elegido en Gauss. Este valor puede variar entre 4.000 y 12.000 Gauss dependiendo de la chapa magnética. (En nuestro caso nosotros utilizaremos 10000 Gauss)

V_p: es la tensión en el bobinado primario en Voltios (V).

V_s: es la tensión en el bobinado secundario en Voltios (V).

S_n: sección del núcleo.

10^{-8} : es una constante para que todas las variables estén en el Sistema M.K.S.

4,4: Constante utilizada para la fabricación de autotransformadores

10^{-8} : es una constante para que todas las variables estén en el Sistema M.K.S.

$\sqrt{3}$: Se utiliza para cálculos trifásicos.

3.3.4 Bobinado primario

$$N_p = \frac{V_p / \sqrt{3}}{f * S_n * \beta * (4,4 * 10^{-8})}$$
$$N_p = \frac{220V / \sqrt{3}}{60 \text{ Hz} * 42 \text{ cm}^2 * 10000 * (4,4 * 10^{-8})}$$

$$N_p = \frac{127.017}{1.1088}$$

$$N_p = 114 \text{ espiras}$$

3.3.5 Bobinado Secundario

$$N_s = \frac{V_s / \sqrt{3}}{f * S_n * \beta * (4,4 * 10^{-8})}$$
$$N_s = \frac{440V / \sqrt{3}}{60 \text{ Hz} * 42 \text{ cm}^2 * 10000 * (4,4 * 10^{-8})}$$

$$N_s = \frac{254.034}{1.1088}$$

$$N_s = 229 \text{ espiras}$$

3.3.6 Potencia del autotransformador

$$P = V_s * I_s$$

$$P = 440 V * 25 A$$

$$P = 1100 VA$$

3.3.7 Sección del conductor

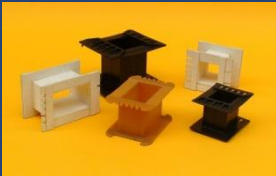

Se utilizó un amperaje para el bobinado primario de lo cual en la tabla para ver la sección del conductor corresponde al calibre # 5 y para el bobinado secundario se utilizó un amperaje que corresponde al alambre de cobre calibre # 8 ver (Anexo 1)


3.3.8 Tipo de alambre




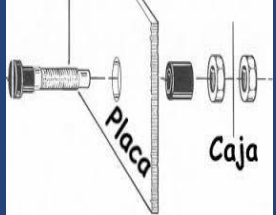
El tipo de alambre a utilizar para la construcción del autotransformador el de cobre.

3.4 Elaboración del autotransformador trifásico

En la primera etapa de la elaboración tenemos que proveer los materiales que componen el autotransformador trifásico por lo tanto los materiales a utilizar son los siguientes:

Ilustración	Material
	Formaleta
	Alambre

CONTINUA 

	Papel Parafinado o Prespán
	Cinta de enmascarar o tirro común
	Chapas
	Tornillos de sujeción de chapas metálicas

Existen diferentes métodos para diseñar autotransformadores trifásicos, el método que se utilizó para diseñar un autotransformador es utilizando fórmulas sencillas y de fácil aplicación que se presentan con los datos de partida para el diseño a continuación:

3.4.1 Elección del núcleo:

Las dimensiones que tiene el núcleo, depende de la potencia y amperaje para la cual se va a diseñar el autotransformador trifásico. Por lo tanto para la elaboración del autotransformador vamos a utilizar el tipo “E e I”, como muestra la siguiente figura.

A=4cm

B=7cm



Figura 17 Núcleo del autotransformador

Fuente: Investigación de campo

3.4.2 Contar con una máquina rebobinadora

Esta máquina facilita el trabajo de rebobinado y el conteo del número de bobinas requeridas en cada bobinado para evitar confusiones al fabricar los bobinados que lleva el autotransformador trifásico.



Figura 17 Máquina Rebobinadora

Fuente: Investigación de campo

3.4.3 Montar el bobinado primario en el carrete con ayuda de la máquina rebobinadora.

Al empezar el bobinado primario se debe tener definido el número de alambre que se vaya a utilizar, en este caso se utilizó el alambre sólido #8.

Como primer paso tomamos un extremo del alambre de cobre, dejando 30cm del mismo fuera del carrete ya armado y lo sujetamos con cinta Mailer; en los 30cm de alambre fuera del carrete se coloca un aislante llamado espagueti con fines de protección. Luego se procede a realizar el bobinado primario comenzando desde un extremo del carrete hacia el otro, girando la manivela de la máquina rebobinadora en el sentido de las agujas del reloj. Hay que tener presente que cada una de las bobinas deben ir una pegada a la otra y de manera compacta, también hay que ir ajustando cada bobina en cada vuelta, para que al final de su ensamblaje no resulte floja y se desarme.

Se repite el proceso de un extremo a otro, de derecha a izquierda ó viceversa hasta completar el número de espiras requeridas para el bobinado primario.

Al completar el número de espiras del bobinado primario sujetamos la terminación de las bobinas con cinta Mailer y sacamos del carrete otros 30cm de alambre para aislarlo con espagueti; estos 30cm de alambre servirán para probar el funcionamiento del autotransformador al momento de someterlos a voltaje de 440V.

3.4.4 Aislamiento del bobinado primario

Es fundamental aislar adecuadamente el bobinado primario al momento de su culminación, ya que evita que este entre en contacto con el bobinado secundario y se produzca fallas en el funcionamiento del autotransformador tales como: cortocircuito, pérdidas en el núcleo. Para este efecto se utilizó

cinta Mailer y papel nomex; los cuales son excelentes aislantes por sus características de utilización en la industria eléctrica.



Figura 18 Aislamiento del bobinado primario

Fuente: Investigación de campo

3.4.5 Montar el bobinado secundario en el carrete con ayuda de la máquina rebobinadora.

Para este bobinado se utilizó el alambre conductor #5, que se obtuvo mediante el cálculo para construcción del autotransformador. Al igual que para el bobinado anterior hay que dejar unos 30cm de alambre fuera del carrete aislado con espagueti para las conexiones y pruebas de funcionamiento, también se tiene que fijar el alambre conductor con cinta maskin.

Se procederá hacer lo mismo que se hizo con el bobinado primario, teniendo en cuenta que el bobinado no este flojo, para evitar cualquier daño al final.

Una vez realizado terminado el bobinado secundario con el número de espiras calculadas, se debe colocar un pedazo de cinta Mailer o cinta adhesiva para fijar el bobinado terminado.



Figura 19 Aislamiento del bobinado secundario

Fuente: Investigación de campo

3.4.6 Montaje del carrete con los bobinados en el núcleo.

Una vez terminado los bobinados para el autotransformador se procedió a armarlos en el núcleo de chapas laminadas, utilizando para ello los siguientes materiales:

- Tornillos con tuercas para fijar el núcleo de chapas.
- Llave

Se procedió a armar el autotransformador colocando los bobinados primario y secundario en las chapas tipo "E".

Colocado las chapas E en el núcleo, se ajustó al autotransformador por medio de tornillos, con el fin de evitar vibraciones al momento de poner en funcionamiento.



Figura 20 Armado del autotransformador

Fuente: Investigación de campo

3.4.7 Autotransformador terminado.

Tras haber realizado los pasos anteriores se obtuvo el autotransformador elevador, que forman parte del módulo didáctico de 440V, con los parámetros deseados para su construcción.



Figura 21 Autotransformador Elevador

Fuente: Investigación de campo

3.5 Elaboración del módulo para el autotransformador

3.5.1 Material del que constituirá el modulo para el autotransformador

Se designó realizarlo en material acrílico con un espesor de (3mm) para que sea visible la constitución y materiales que forman parte del autotransformador



Figura 22 Acrílico

3.5.2 Medidas de los acrílicos para el montaje del módulo

Para el montaje se realizó cinco tapas con diferentes medidas y así poder formar una caja que no permita que sufra algún daño tanto el usuario como la maquina eléctrica

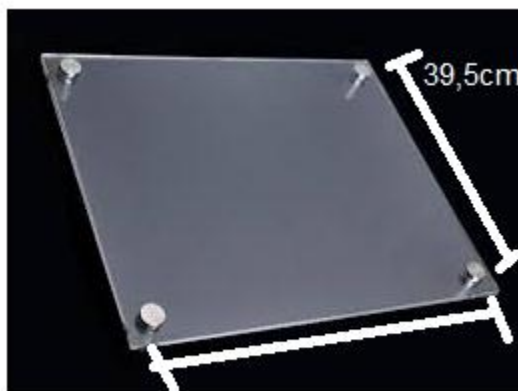


Figura 23 Medidas de los acrílicos

3.5.3 Caja diseñada

Esta permitirá al estudiante tener una visualización completa de los elementos y componentes que constituyen al autotransformador

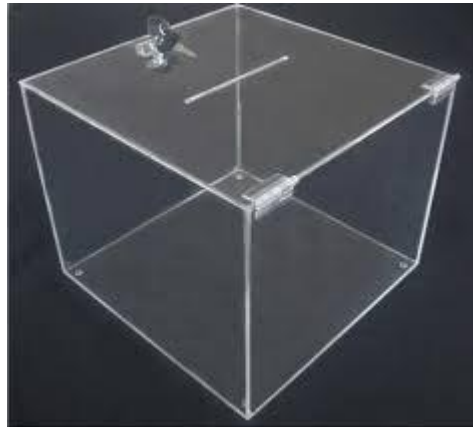


Figura 24 Diseño de caja acrílica

Para mayor fijación de las tapas y que no obstruya la visibilidad interna se colocaron sujetadores tipo "L" con tornillos punta de broca cabeza de lenteja



Figura 25 Seguridad para el módulo de acrílico

3.6 Módulo de 440 V

En el módulo de 220V se dejó una área para 440V ubicada en el lado derecho, en el que se dejó las protecciones como disyuntor trifásico 25A, porta fusibles, terminales de las tres líneas de 440V y la alimentación para el transformador trifásico de 220V, en cual se conecta el Variador SINAMICS V20 (440V) y el Motores Trifásicos de 440V.

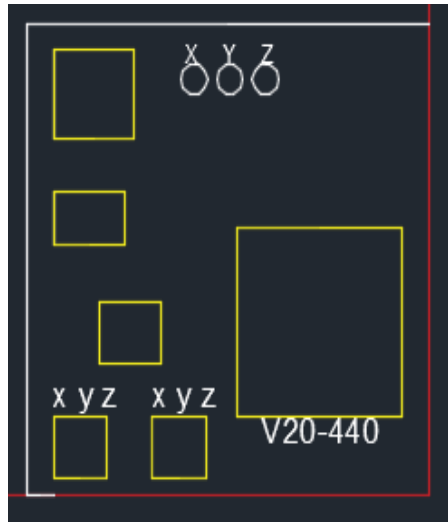


Figura 26 Diagrama de elementos de 440V

Fuente: Programa de diseño



Figura 27 Sección de elementos de 440V

Fuente: Investigación de campo

Para las conexiones de entrada del variador V20 (440 v) se la realizo con una identificación fácil y muy visible por color de cable que a continuación se lo detallara

Tabla 5 Descripción de los cables

# Cable Flexible	COLOR DEL CABLE	DESCRIPCIÓN
10	Negro	Fase 1 (X)
10	Verde	Fase 2 (Y)
10	Blanco	Neutro (Z)

3.7 Elaboración de Guías de laboratorio

3.7.1 Práctica No 1.

TEMA:

Familiarización con el autotransformador elevador 220 - 440 V, 25 Amperios y conexión a un motor de forma directa.

OBJETIVOS:

- Familiarizar a los estudiantes con el funcionamiento y características de autotransformador.
- Fomentar la iniciativa en los alumnos al permitir que realicen pruebas con las diferentes mediciones que presenta el autotransformador.

Marco Teórico

Motores.- Son equipos eléctricos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica; sirven para accionar diferentes máquinas, mecanismos y dispositivos que son usados en la industria, agricultura, comunicaciones, y en los artefactos electrodomésticos. En los sistemas modernos de control los motores se usan en calidad de dispositivos gobernadores, de control, como reguladores y/o programables.

Autotransformador

Definición

El autotransformador es una máquina que funciona como un transformador común, pero con algunas diferencias en su construcción ya que este tiene un solo bobinado y se caracteriza por tener una alta gama de ventajas, tales como:

- Dimensión más reducida
- Costos más bajos
- Eficiencia más alta.
- Corriente de excitación más reducida
- Mejor regulación

Funcionamiento

En esencia se caracteriza el autotransformador por poseer un solo circuito eléctrico, del cual parten cuatro terminales, dos primarias A y B (entradas) y dos secundarias (salidas), C y B (Ilustración 4). Entre las bornes A y B, el bobinado tiene N_1 espiras, cuyo número corresponde a la baja tensión.

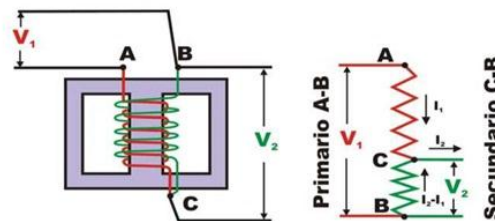


Gráfico 1 Autotransformador

En este bobinado se ha efectuado una derivación en el punto C distante, N_2 espiras del extremo B, de forma que el trozo BC corresponde a la alta tensión. Así pues, en este bobinado se distinguen dos partes distintas, una CB común a los circuitos de baja y alta tensión y otra AC conectada en serie con la anterior, que pertenece sólo a la alta tensión.

Instrumentos y Equipos

- Fuente de alimentación 220V CA (Toma de Red)
- Motor trifásico 4HP a 440V
- Cables de conexión
- Voltímetro (Pinza Amperimétrica)
- Amperímetro (Pinza Amperimétrica)

- Modulo del Autotransformador 220 - 440 V (25 Amperios)
- Modulo con protecciones a 440 V

PROCEDIMIENTO

Advertencia: ¡En esta práctica de Laboratorio se manejan altos voltajes! ¡No realice ninguna conexión cuando la fuente se encuentre conectada! ¡Verificar con el multímetro si existen cortocircuitos entre las líneas de alimentación!

1. Verificar que el motor que se va a utilizar en la práctica se encuentre conectadas sus bobinas para alto voltaje 440 V (ΔY).

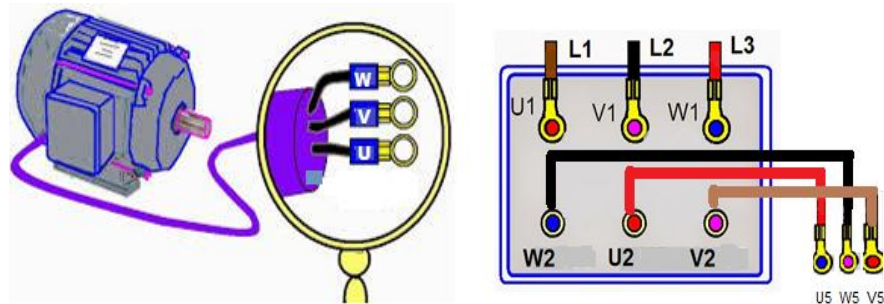


Gráfico 2 Conexión de bornes de las bobinas para alto voltaje

2. Verificar el voltaje de red del laboratorio que sea 220 V con ayuda del voltímetro.
3. Determinar la resistencia del bobinado primario y secundario

TERMINALES	ENTRADA	SALIDA
(Ω) 1 Y 2		
(Ω) 2 Y 3		
(Ω) 3 Y 1		

4. Alimentar la entrada de voltaje del autotransformador en las borneras 1, 2,3 (220 V) como se indica en la ilustración 2
5. Verificar la salida de voltaje de 440 V en las borneras 7, 8, 9 como se indica en la ilustración 3

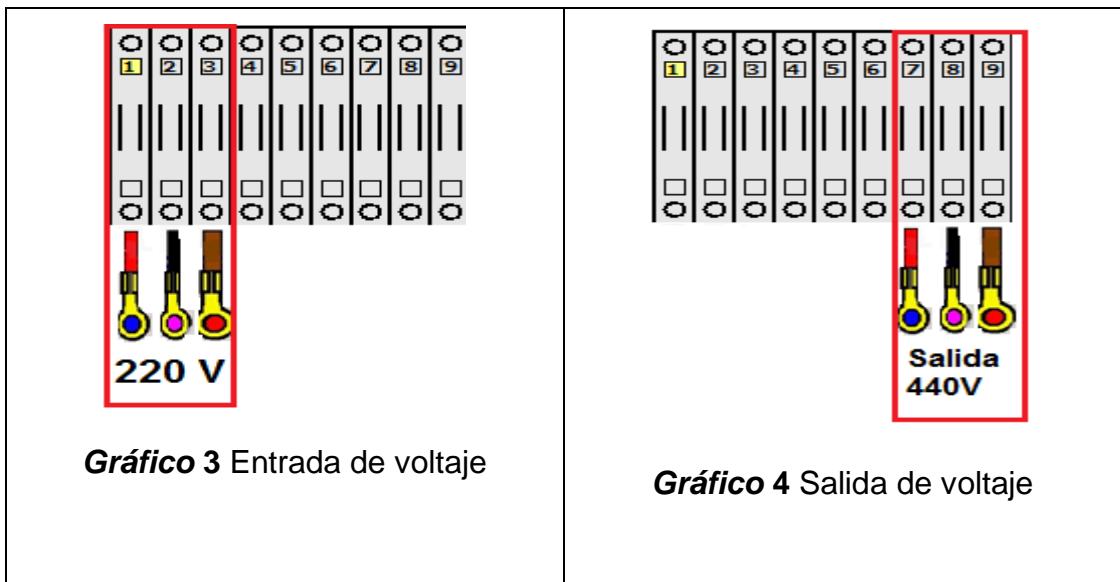


Gráfico 3 Entrada de voltaje

Gráfico 4 Salida de voltaje

6. Conectar las salidas de 440V en los terminales 7, 8, 9, al módulo de trabajo en donde están ubicadas protecciones (Disyuntor Trifásico, Porta Fusible).
7. Conectar las tres líneas de alimentación al motor después de las protecciones ya antes mencionadas como se indica en la ilustración 4.
8. Realizamos mediciones de voltaje (V) y corriente (I) en las entradas y salidas del autotransformador trifásico como se indica en la ilustración

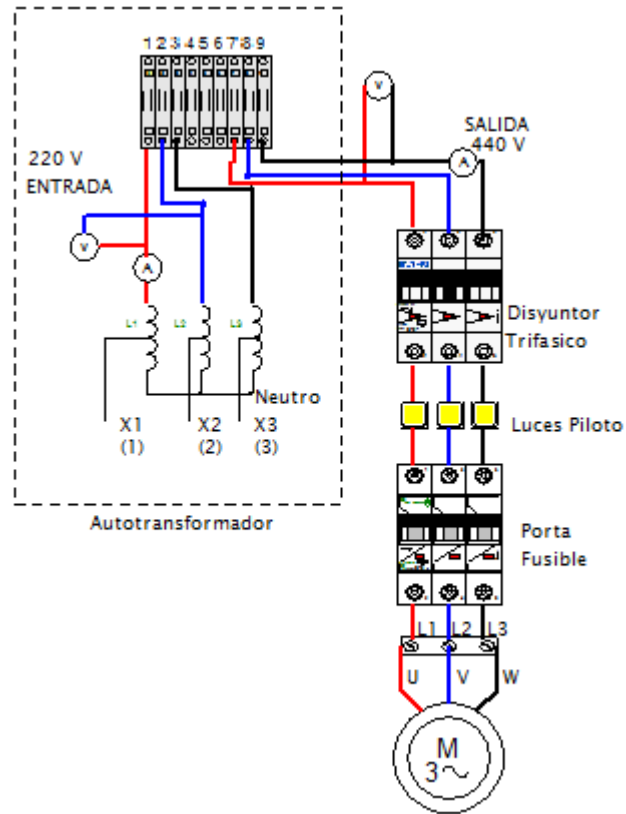


Gráfico 5 Medición de Voltaje y Corriente

9. Anote los resultados en la siguiente tabla

	ENTRADA	SALIDA
I1 (A)		
I2 (A)		
I3 (A)		
L1-L2 (V)		
L2-L3 (V)		
L1-L3 (V)		

10. Determine la resistencia de cada bobinado

Borneras	Resistencia
1 y 7 (Ω)	
2 y 8 (Ω)	
3 y 9 (Ω)	

11. Anote en que configuración se encuentra el transformador

12. Que bobinado posee mayor número de espiras cuando es elevador

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

3.7.2 Práctica No 2

TEMA:

Configuración del autotransformador como reductor 220 V a 110 V

OBJETIVOS:

- Familiarizar a los estudiantes con la versatilidad de configuración y funcionamiento del autotransformador.
- Fomentar la iniciativa en los alumnos al permitir que realicen pruebas con las diferentes configuraciones que presenta el autotransformador.

Marco Teórico

Autotransformador reductor

Si se aplica una tensión alterna entre los puntos A y B, y se mide la tensión de salida entre los puntos C y D, se dice que el **autotransformador** es reductor de tensión.

En este caso la relación de vueltas del autotransformador es: $N_2/ N_1 < 1$

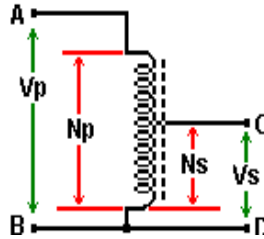


Grafico 1 Autotransformador Reductor

Instrumentos y Equipos

- ✓ Fuente de alimentación 220V CA (Toma de Red)
- ✓ Cables de conexión
- ✓ Voltímetro (Pinza Amperimétrica)
- ✓ Amperímetro (Pinza Amperimétrica)
- ✓ Modulo del Autotransformador 440 (25 Amperios)
- ✓ Multímetro
- ✓ Motor trifásico 110V – 220V

PROCEDIMIENTO

Advertencia: ¡En esta práctica de Laboratorio se manejan altos voltajes! ¡No realice ninguna conexión cuando la fuente se encuentre conectada! ¡Verificar con el multímetro si existen cortocircuitos antes de alimentar las maquinas eléctricas!

1. Verificar que el motor que se va a utilizar en la práctica se encuentre conectadas sus bobinas para bajo voltaje 110 V como indica la ilustración 1

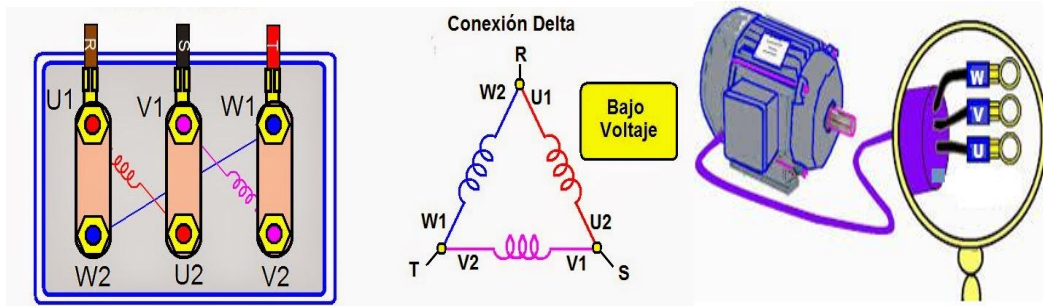
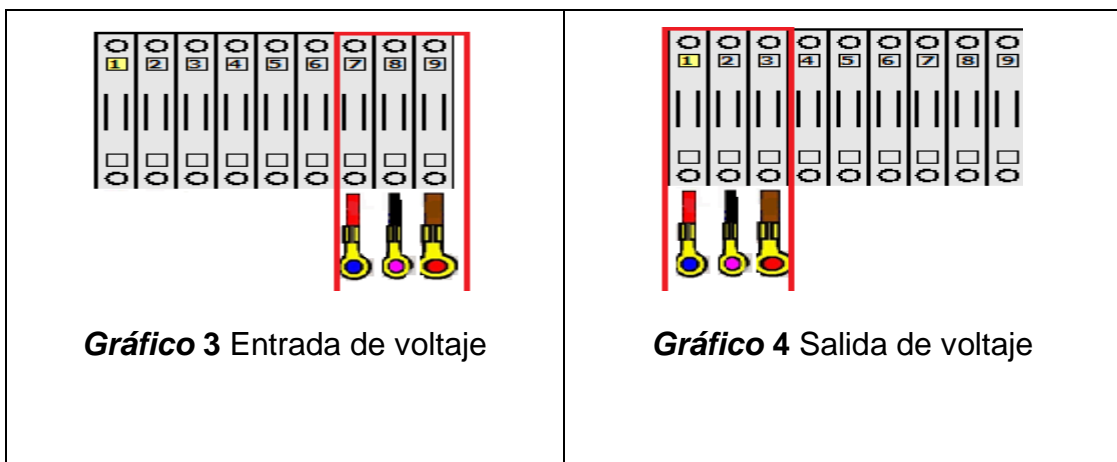


Gráfico 2 Conexión de bornes de las bobinas para alto voltaje

2. Alimentar los terminales de 7,8,9 del autotransformador con un voltaje de (220 V) como se indica en la ilustración 5
3. Obtenemos en los terminales 1,2,3 una salida de voltaje de 110 V como se indica en la ilustración 6



4. Realizar las conexiones eléctricas y mediciones de voltajes y corrientes como indica la ilustración 7

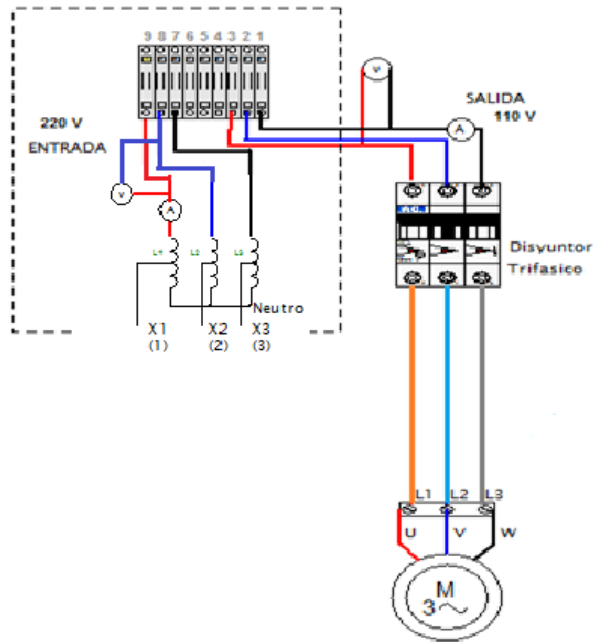


Gráfico 5 Conexiones y mediciones

5. Anote los resultados en la siguiente tabla

	ENTRADA	SALIDA
I1 (A)		
I2 (A)		
I3 (A)		
L1-L2 (V)		
L2-L3 (V)		
L1-L3 (V)		

6. Indique la configuración se utiliza los motores para bajo voltaje

7. Que bobinado posee mayor número de espiras cuando es elevador

8. Conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- ✓ Se determinó las características del autotransformador de acuerdo a la necesidad de cargas presentes en el laboratorio de Máquinas Eléctricas, lo que facilitó la elaboración del mismo.
- ✓ Se diseñó el autotransformador mediante el cálculo de la sección del núcleo, el número de espiras del primario y secundario, la potencia del autotransformador, sección del conductor y tipo de alambre.
- ✓ Se elaboró el autotransformador en base a los materiales calculados, la elección del núcleo que depende de la potencia y amperaje, que con la ayuda de la rebobinadora facilitó el conteo de las espiras para cada bobinado.
- ✓ Se elaboró guías de laboratorio para verificar el correcto funcionamiento del autotransformador y cada uno de los dispositivos del módulo de 440 V.

4.2 Recomendaciones

- ✓ Verificar que este bien asegurado las conexiones del módulo, que los cables no estén flojos, porque la vibración de los equipos pueden ocasionar incidentes, pues con esto se podrá evitar que se produzca corto circuitos y el funcionamiento inadecuado del módulo.
- ✓ Tener una acertada información de la configuración y terminales del autotransformador antes de colocar la carga para dicho autotransformador
- ✓ Utilizar las herramientas necesarias al momento de realizar las prácticas porque pueden ocasionar daños al módulo
- ✓ Tener precaución al momento de la manipulación de los equipos porque estos pueden estar energizados lo cual provocara daños al usuario o a las maquinas eléctricas que se encuentran habilitadas o en funcionamiento.

GLOSARIO DE TERMINOS

A

(A): Amperios

Armónicos: son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo

B

Bobina: Componente de un circuito eléctrico formado por un hilo conductor aislado y arrollado repetidamente, en forma variable según su uso.

C

Concéntricamente: comparten el mismo centro, eje u origen. Los círculos, tubos, ejes cilíndricos, discos y esferas pueden ser concéntricos entre sí.

F

Factor de potencia: , f.d.p., de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, P , y la potencia aparente, S .¹ Da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa. Por esta razón, $f.d.p = 1$ en cargas puramente resistivas; y en elementos inductivos y capacitivos ideales sin resistencia $f.d.p = 0$.

N

N1: Numero de vueltas en el bobinado primario

N2: Numero de vueltas en el bobinado secundario

R

REGULADOR DE TENSION: Es aquel que suministra corriente alterna a partir de una red alterna monofásica o trifásica, con la misma frecuencia fija que la red y controlando el valor eficaz de la tensión.

Bibliografía

- Álvarez, J. A. (Septiembre de 2015). Obtenido de http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_induc_elec magnetica/ke_induc_elec magnetica_2.htm
- Chacha, B. (2009).
- Francisco L. Singer, T. I. (s.f.). <http://patricioconcha.ubb.cl>. Obtenido de <http://patricioconcha.ubb.cl>: <http://patricioconcha.ubb.cl/transformadores/autotransformador.htm>
- J. Chapman, S. (2000). *Máquinas Eléctricas*. Obtenido de Introducción a los principios de Máquinas: <https://dhramosfigueroa.files.wordpress.com/2014/02/mc3a1quinas-elc3a9ctricas-3ra-edicic3b3n-stephen-chapman.pdf>
- Jiménez, J. (2014). Obtenido de <http://www.ie.itcr.ac.cr/juanjimenez/cursos/potencia%20diplomado/motores.pdf>
- Medina, M. R. (21 de Enero de 2013). *wilmartecnologic.blogspot.com*. Obtenido de wilmartecnologic.blogspot.com: <http://wilmartecnologic.blogspot.com/2013/01/autotransformadores.html>
- Muisin, P. (2010).
- Pilco, J. (15 de 01 de 2015). *Sector Electricidad*. Obtenido de El Autotransformador: <http://www.sectorelectricidad.com/11001/el-autotransformador-ventajas-y-desventajas/>
- Rosario, L. (s.f.). Obtenido de <http://m.laboratorio-465-rosario.webnode.es/news/perdidas-que-se-producen-en-el-trafo/>
- Sinha, S. (2016). *Electronica Unicrom*. Obtenido de Autotransformador: <http://unicrom.com/autotransformador/>
- Tiravanti, E. (2012). Obtenido de http://ingenieros.es/files/proyectos/Maquinas_electricas_y_perdidas.pdf
- unicrom.com*. (5 de Enero de 2017). Obtenido de unicrom.com: <http://unicrom.com/autotransformador/>
- ww2.educarchile.cl*. (31 de Julio de 2009). Obtenido de ww2.educarchile.cl: http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0029/File/Objetos_Didacticos/ELE_06/Recursos%20Conceptuales/Transformadores.pdf

CURRICULUM VITAE



NOMBRES: Puma Lliguin Irving
Mauricio
FECHA DE NACIMIENTO: 17 de Octubre de
1994
LUGAR DE NACIMIENTO: Quito
CÉDULA DE IDENTIDAD: 1721050258
DIRECCIÓN DOMICILIARIA: El Pintado Av. Alonso de Angulo s11-215 y
Cabo Luis Minacho
TELÉFONO: 022616552 - 0987258876
Email: pumairving@gmail.com

FORMACIÓN ACADÉMICA

PRIMARIA: Unidad Educativa Fiscomisional “Don Bosco – La Tola”
SECUNDARIA: Unidad Educativa Fiscomisional “Don Bosco – La Tola”
Titulo (Técnico Industrial) Especialidad Electrónica
Centro de Formación Artesanal Particular “Quito”
Maestro de Taller en Mecánica
Automotriz SUPERIOR: Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE (Latacunga)
Titulo (Tecnólogo) Especialidad Electrónica
mención Instrumentación & Aviónica

CURSOS REALIZADOS

- **Cámara de Comercio**
Colegiales Emprendedores
- **Microcontroladores**
Capacitación en Fundamentos de Operación en Microcontroladores
- **Ministerio de Educación**
Derechos Humanos

EXPERIENCIA LABORAL

Pasantías CNT Agencia Cotopaxi
Levantamiento de información de la red de fibra óptica

Técnico eléctrico y electrónico

Sr. Jorge Mesias

Telef.

0995025069

ACEPTACIÓN DEL USUARIO

Latacunga, 23 de Febrero 2017

Yo, ING PABLO PILATÁSIG en calidad de encargado del Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Unidad de Gestión de Tecnologías, me permito informar lo siguiente:

El proyecto de graduación elaborado por la Sr. **PUMA LLIGUIN IRVING MAURICIO**, con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO ELEVADOR DE 220V HASTA 440V, 25 AMPERIOS PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS”**, ha sido efectuado de forma satisfactoria en las dependencias de mi cargo y que la misma cuenta con todas las garantías de funcionamiento, por lo cual extiendo este aval que respalda el trabajo realizado por el mencionado estudiante.

Por tanto me hago cargo de todas las instalaciones realizadas por el Sr. Irving Puma estudiante.

Atentamente,

ING. PABLO PILATÁSIG

ENCARGADO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE
RESPONSABILIZA EL AUTOR**

PUMA LLIGUIN IRVING MAURICIO

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN & AVIÓNICA**

ING. PABLO PILATÁSIG

Latacunga, 23 de Febrero 2017