



**“UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE  
MANABÍ  
EXTENSIÓN CHONE”**

**TEMA:**

“EL USO DE NÚCLEOS MAGNÉTICO DE TIPO TOROIDAL Y SU INCIDENCIA EN TRANSFORMADORES DE ALTA Y MEDIA TENSIÓN CON NÚCLEO MAGNÉTICO DEL TIPO ACORAZADO EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ CAMPUS CHONE EN EL PERIODO OCTUBRE 2013 HASTA MARZO 2014”.

**AUTOR:**

**MESÍAS ZAMBRANO LIMBER JESÚS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**2014**

**CHONE – MANABÍ – ECUADOR.**

Lic. Rodolfo Acosta Bravo docente, de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí extensión Chone, en calidad de director de tesis,

## CERTIFICO:

Que la presente TESIS DE GRADO titulada: *“EL USO DE NÚCLEOS MAGNÉTICO DE TIPO TOROIDAL Y SU INCIDENCIA EN TRANSFORMADORES DE ALTA Y MEDIA TENSIÓN CON NÚCLEO MAGNÉTICO DEL TIPO ACORAZADO EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ CAMPUS CHONE EN EL PERIODO OCTUBRE 2013 HASTA MARZO 2014”*, ha sido exhaustivamente revisada en varias sesiones de trabajo, se encuentra lista para su presentación y apta para su defensa.

Las opiniones y conceptos vertidos en esta Tesis de Grado son fruto del trabajo, perseverancia y originalidad de su autor: LIMBER JESÚS MESÍAS ZAMBRANO, siendo de su exclusiva responsabilidad.

Chone, Mayo 2014

Lic. Rodolfo Acosta Bravo  
DIRECTOR

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La responsabilidad de las opiniones, investigaciones, resultados, conclusiones y recomendaciones presentados en esta Tesis de Grado, es exclusividad de su autor.

Chone, Mayo 2014

LIMBER JESÚS MESÍAS ZAMBRANO  
AUTOR



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ  
EXTENSIÓN CHONE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

INGENIEROS ELÉCTRICOS

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“El uso de núcleos magnético de tipo toroidal y su incidencia en transformadores de alta y media tensión con núcleo magnético del tipo acorazado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí campus Chone en el periodo octubre 2013 hasta marzo 2014”**, elaborado por el egresado Limber Jesús Mesías Zambrano de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Chone, Mayo 2014

Dr. Víctor Jama Zambrano  
DECANO

Lic. Rodolfo Acosta Bravo.  
DIRECTOR DE TESIS.

.....  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....  
SECRETARIA

## RECONOCIMIENTO

*La aptitud es uno de los sentimientos más maravillosos que tiene el ser humano, es por eso que expreso mi más sincero y profundo agradecimiento a la universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí Extensión Chone, por haberme brindado la oportunidad de crecer profesionalmente y lograr el título de Ingeniero Eléctrico...*

*Al personal docente, que día a día me brindaron sus conocimientos en esta ardua tarea, a todos aquellos que de alguna u otra manera apoyaron este proceso, a todos y todas gracias...*

*Al Lic. Rodolfo Acosta Bravo, por su colaboración, orientación y asesoramiento durante el desarrollo de este trabajo de investigación...*

*Gracias...!*

*LIMBER JESÚS*

## DEDICATORIA

*A mi madre Matilde Zambrano, que siempre estuvo dándome su apoyo.*

*Mi padre Auxiliador Mesías, por su ejemplo de trabajo y su apoyo incondicionalmente durante estos años de estudios.*

*Mi compañera Lucrecia Moreira, por brindarme su amor y confianza.*

*Mi hija Jamileth Mesías, quien es el mayor motivo de superación.*

*A todos mis hermanos, por estar presente y colaborando en todo momento.*

*LIMBER JESÚS*

## SÍNTESIS.

La presente investigación hace un enfoque documentado y un análisis de apreciación, utilizando cálculos y ensayos prácticos en módulos de laboratorio, sobre el uso de los núcleos en transformadores de alta, media y baja tensión, notando, que el fenómeno magnético es aplicable y con iguales características en núcleos de tamaños distintos.

A partir de esta primicia, se realizaron los respectivos ensayos en núcleos (de tipo acorazado y de tipo toroidal) calculando las pérdidas que ambos tipos de núcleos podían tener, mediante la aplicación de expresiones matemáticas diseñadas para el efecto y corroborando los resultados con las pruebas físicas de los elementos en experimento, observando de las magnitudes en los instrumentos de medidas que los módulos poseen.

Los resultados obtenidos de manera teórica y práctica, sirvieron para conocer que el núcleo con menos pérdidas es el núcleo del tipo toroidal, lo que demuestra que se puede mejorar el trabajo de los transformadores con el uso de estos de núcleos y por ende mejorar la calidad de la energía que recibimos.

## INDICE

Tabla de contenidos	Pág.
Título o portada	I
Aprobación del tutor.	II
Autoría de la tesis.	III
Aprobación del tribunal de grado	IV
Dedicatoria	V
Reconocimiento	VI
Índice general de los contenidos.	VII
Introducción	
Tema.	
Planteamiento del problema.	
Contexto.	
Contexto Macro.	
Contexto Meso.	
Contexto Micro.	
Formulación del problema.	
Delimitación del problema.	
Interrogantes de la investigación.	
Justificación.	
Objetivos.	
Objetivo General.	
Objetivos Especificos.	



# **CAPITULO I**

## **MARCO TEORICO**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **1. Antecedentes.**

##### **1.1. Funcionamiento del transformador.**

###### **1.1.1. Transformador ideal.**

###### **1.1.2. Representación y característica.**

###### **1.1.3. Fuerza magneto motriz.**

###### **1.1.3.1. Relación entre voltaje y corriente**

###### **1.1.3.2. Diagrama fasorial.**

###### **1.1.3.3. Impedancia reflejada.**

###### **1.1.4. Transformador ideal con carga y sin carga.**

#### **1.2. Tipos y aplicaciones de los transformadores.**

##### **1.2.1. Monofásicos y trifásicos.**

###### **1.2.1.1. De potencia.**

###### **1.2.1.2. De distribución.**

###### **1.2.1.3. Autotransformadores.**

###### **1.2.1.4. De corriente.**

###### **1.2.1.5. Otros.**

#### **1.3. Partes y elementos de un transformador.**

##### **1.3.1.1. Monofásicos.**

##### **1.3.1.2. Trifásicos.**

#### **1.4. El núcleo.**

1.4.1. Tipos de núcleos.

1.4.1.1. Composición del núcleo.

1.4.1.2. Cálculos

## **CAPITULO II.**

2. Análisis del funcionamiento del transformador con núcleo acorazado.

2.1. Pérdidas del hierro.

2.2. Pérdidas de cobre.

2.3. Pérdidas por corriente parasitas.

2.4. Análisis del funcionamiento del transformador con núcleo toroidal.

2.5. Pérdidas del hierro.

2.6. Pérdidas de cobre.

2.7. Pérdidas por corriente parasitas.

Hipótesis.

Variables.

Variable dependiente.

Variable independiente.

Metodología.

Tipos de investigación.

Niveles de la investigación.

Métodos.

Técnicas de recopilación de la información.

Población y muestra.

Marco administrativo.

Resultados, análisis e interpretación de datos.

Comprobación de la hipótesis.

### **CAPITULO III**

3. Acciones para el mejoramiento de los transformadores de alta y media tensión con el uso de núcleos toroidal.

3.1. Características principales del núcleo del tipo toroidal.

3.2. Campos de aplicación de los transformadores con núcleo de tipo toroidal.

### **CAPITULO IV**

Conclusiones.

Recomendaciones.

Bibliografía.

Anexos.

## **INTRODUCCION.**

En la presente investigación se hace un enfoque de las nuevas tecnologías que ha traído como consecuencia la necesidad de adaptar el hábitat del hombre, con el objeto de brindar mayores niveles de seguridad, confort y economía a la sociedad, y así facilitarle el proceso de integración con el entorno, establecer los criterios tecnológicos necesarios para el diseño de las obras con el necesario ahorro de energía, evitando las pérdidas debido a equipos con mala calidad de diseño y poca normativa.

Este proyecto de investigación cumple dos propósitos fundamentales: producir conocimientos, que es la parte de la investigación básica y resolver problemas prácticos que es la investigación aplicada.

En el desarrollo de los diferentes semestres de la carrera de Ingeniería Eléctrica se concibió la idea de desarrollar una investigación que tenga analogía con la relación de los armónicos y los daños en los equipos electrónicos que estos provocan.

La investigación está compuesta de distintas etapas interrelacionadas, cuya intención final es conseguir solucionar los problemas que se originan por la utilización de núcleos magnéticos en transformadores sin las pruebas técnicas que aseguren el buen funcionamiento del equipo; ya que en los últimos veinte años, primero las industrias más innovadoras como la aeronáutica y la automotriz comenzaron a utilizar equipos que necesitaban un abastecimiento de energía limpia y de buena calidad, debido a que sus componentes se inutilizaban por fallos provocados por las corrientes parasitas generadas en las

redes eléctricas y los transformadores, es por esto que se desarrolla el proyecto de investigación: “El uso de núcleos magnético de tipo toroidal y su incidencia en transformadores de alta y media tensión con núcleo magnético del tipo acorazado en la escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí Campus Chone en el periodo octubre 2013 hasta marzo 2014”, ya que considero pertinente y positiva la misma.

De esta manera se PLANTEA EL PROBLEMA y hacemos un recorrido por los CONTEXTOS que han influido en el descubrimiento y desarrollo de soluciones en varios períodos de manera MACRO, MESO, y MICRO. Posterior a esto se FORMULA, DELIMITA, y se encuentra las INTERROGANTES DE LA INVESTIGACION, lo que guiará a la elaboración del JUSTIFICATIVO para que este proyecto de tesis tenga la importancia que amerita. Así mismo con la información se estableció el OBJETIVO GENERAL y ESPECIFICOS, que serán la guía fundamental para dar una razón y criterio correcto a esta investigación.

Es por ello, que en el CAPÍTULO UNO, se detalla todo lo concerniente a la parte técnica, modelos gráficos, cálculos, demostración científica, comparación y desarrollo del tema propuesto como proyecto de tesis de grado, estando en ella incluidas las VARIABLES DEPENDIENTE E INDEPENDIENTE.

En el CAPÍTULO DOS, se plantea la HIPÓTESIS, la que se formula, no con el fin de elaborar una teoría, sino, para servir de guía en la investigación científica detallada en este proyecto de tesis.

En el CAPÍTULO TRES, se detalla la METODOLOGÍA que se aplica a este proyecto, tales como el TIPO DE INVESTIGACIÓN, en este caso será de

manera bibliográfica con los contenidos científicos citados, elaborados por otros autores y de criterio propio, por el conocimiento adquirido durante los años de estudio.

También se afianzará en el NIVEL DE INVESTIGACIÓN, detallada de manera descriptiva y comprobatoria todo esto sirve para elaborar un informe y con certeza este proyecto de tesis.

Además se enumera y de manera explícita los MÉTODOS que se aplican a esta investigación tales como el ANALÍTICO, DEDUCTIVO E INDUCTIVO, como también las técnicas de recolección de información siendo la más apropiada para este proyecto la ENCUESTA y la OBSERVACIÓN, teniendo como referencia la POBLACIÓN y MUESTRA de la “Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí” Extensión Chone; y por último en este mismo capítulo, se refiere también al MARCO ADMINISTRATIVO, donde se encontrará los datos de RECURSOS HUMANOS de quienes realizaron y apoyaron esta investigación, como también, el RECURSO FINANCIERO, donde se detallará la cantidad de dinero que este proyecto necesita para su culminación.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El desarrollo tecnológico se ha vuelto totalmente dependiente de la disponibilidad continua de suministro eléctrico, en la mayoría de los países, el suministro eléctrico comercial se abastece a través de redes nacionales, que interconectan numerosas estaciones generadoras a las cargas. La red debe abastecer las necesidades básicas nacionales de iluminación, calefacción, refrigeración, aire acondicionado, transporte y residenciales, así como el abastecimiento crítico a comunidades gubernamentales, industriales, financieras, comerciales, médicas y de comunicaciones.

El suministro eléctrico comercial literalmente le permite al mundo moderno actual funcionar a un paso acelerado; la tecnología sofisticada ha penetrado profundamente en nuestros hogares y carreras, y con la llegada del comercio electrónico está cambiando continuamente la forma en la que interactuamos con el resto del mundo.

La tecnología inteligente exige un suministro libre de interrupciones o perturbaciones, un estudio reciente en los Estados Unidos ha demostrado que las firmas industriales y comerciales digitales están perdiendo 45.700 millones de dólares por año a consecuencia de interrupciones en el suministro, debido a que fenómenos desarrollados en las líneas de transmisión de la electricidad y terminando en los transformadores, hacen perecer a componentes críticos de muchos aparatos o equipos que estén conectados a la red de suministro eléctrica pública. En todos los sectores comerciales, se calcula que se pierden entre 104.000 a 164.000 millones de dólares a consecuencia de las

interrupciones, y otros 15.000 a 24.000 millones de dólares a consecuencia de otros problemas de calidad del suministro.

En los procesos industriales automatizados, líneas enteras de producción pueden descontrolarse, creando situaciones riesgosas para el personal de planta y costoso desperdicio de materiales, la pérdida de procesamiento en una gran corporación financiera puede costar miles de dólares irrecuperables por minuto de tiempo de inactividad, así como muchas horas posteriores de tiempo de recuperación, el daño de programas y datos causado por una interrupción en el suministro puede provocar problemas en las operaciones de recuperación de software que puede llevar semanas resolver.

El Ecuador no está ajeno a esta realidad, muchos problemas en el suministro se originan en la red de suministro eléctrico comercial, que con sus miles de kilómetros de líneas de transmisión, está sometida a condiciones climáticas como humedad, frío intenso, calor abrasivo, salinidad, tormentas con rayos en ciertos inviernos, nieve, hielo e inundaciones, junto con fallas de los equipos, accidentes de tráfico y grandes operaciones de conexión. Asimismo, los problemas en el suministro que afectan a los equipos tecnológicos actuales frecuentemente se generan en forma local dentro de una instalación a partir de diversas situaciones, como construcción local, grandes cargas de arranque, componentes defectuosos de distribución e incluso el típico ruido eléctrico de fondo provocado por los transformadores que no son sometidos a control de calidad, teniendo en sus partes físicas, elementos de mala calidad y mal proceso de ensamblado que a corto plazo provoca el daño a la unidad..



Acordar términos y normativas, es el primer paso para tratar las perturbaciones energéticas en todas sus etapas, el uso generalizado de componentes electrónicos en todo lo que nos rodea, desde equipos electrónicos hogareños hasta el control de procesos industriales masivos y costosos, ha hecho que se tome más conciencia sobre la calidad del suministro.

Se sabe que el órgano encargado de vigilar y controlar el uso indiscriminado de transformadores y otros que no tienen o no cumplen las más básicas normas de calidad en el Ecuador es la Corporación Eléctrica del Ecuador (**CELEC EP**), empresa que actualmente hace grandes inversiones para tratar de controlar dichos problemas, exigiendo a las importadoras y a las empresas ecuatorianas que cumplan con las normas de calidad impuestas para estos tipos de equipos.

Con la implementación del laboratorio de ingeniería eléctrica que tiene la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí Extensión Chone, se ejecutarán las pruebas que demostraran la eficiencia de los transformadores con núcleo acorazado frente a los del tipo toroidal, verificando las perturbaciones que en ellos se generan y con estos datos levantar un ensayo que exprese la realidad de la calidad de energía que nosotros recibimos por parte de la red pública, debido a que en el campus universitario aún se encuentran en funcionamiento transformadores que no han pasado por las pruebas de calidad.

Sin embargo todo esto se puede lograr a pequeña escala sin la necesidad de tener que lidiar con el alta y media tensión generadas por los transformadores de distribución, sino en pequeña escala y de manera segura, ya que los resultados obtenidos en el laboratorio sirven también para todos los dispositivos.

En general el objetivo es aprovechar los recursos técnicos del laboratorio de la Universidad y la capacidad intelectual para sustentar una investigación que ayudará al mejoramiento de la calidad de la energía, tanto para nuestro campus universitario, como para el Ecuador.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿Cómo inciden el uso de núcleos magnético de tipo toroidal en transformadores de alta y media tensión con núcleo magnético del tipo acorazado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí campus Chone en el periodo octubre 2013 hasta marzo 2014?

## **DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **Objeto:**

Núcleos magnéticos.

### **Campo:**

Transformadores de alta, media y baja tensión.

### **Delimitación Espacial:**

La investigación se desarrolla en los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí Extensión Chone.

### **Delimitación Temporal:**

Para el desarrollo del proyecto se establece el periodo comprendido entre octubre 2013 hasta marzo 2014.

### **Problema:**

Falta de referencias técnicas sobre el uso de núcleos magnético de tipo toroidal en transformadores de alta, media y baja tensión y su beneficio.

## **INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN.**

¿Cuál es el uso de núcleos magnético de tipo toroidal?

¿Cuáles son los beneficios de los núcleos magnéticos de tipo toroidal en transformadores de alta y media tensión?

¿Cuál es la estructura del transformador de alta y media tensión?

¿Cómo seleccionamos el tipo de núcleo magnético en transformadores de media y baja tensión?

¿Cómo se puede presentar y socializar el presente trabajo a las autoridades para su posterior aplicación?

## **JUSTIFICACIÓN DE PROBLEMA.**

Esta investigación se fundamenta en lo siguiente: El **interés** del Estado ecuatoriano en reducir las pérdidas de energía eléctrica generadas por los niveles perturbaciones en los transformadores de alta y media tensión y llevarlos a rangos permitidos por el CONELEC institución que lleva control energético, ha sido el precursor o incentivo para la realización del presente trabajo de investigación.

Las instituciones públicas del cantón Chone, inevitablemente están interesadas en asumir estos estudios para disminuir los altos costos que se generan en mantenimiento correctivo de equipos electrónicos. Como estudiantes egresados de la ULEAM Extensión Chone es de mucho interés llevar a cabo esta investigación para conocer más de cerca donde está el problema y cómo poder resolverlo.

La **importancia** científica del tema y su aplicación tendrá como resultados una institución que observará como se disminuyen los daños en los equipos eléctricos y electrónicos, aplicando las recomendaciones que generen la investigación.

Este trabajo es **original** considerando que no existe en la ULEAM Extensión Chone, una investigación que involucre el uso de núcleos de tipo toroidal en transformadores de alta, media y baja tensión y su beneficio.

El desarrollo de la investigación es **factible** si tomamos en cuenta la predisposición del investigador en llevarla a cabo, el interés de las autoridades por mejorar el uso de la energía eléctrica y los recursos técnicos; por ello la

presente investigación es contar con un documento base para llevar a la práctica las observaciones y recomendaciones que se logren, de esta manera, se cumple con la **misión** de la Universidad, al formar profesionales capaces de aplicar los conocimientos que contribuyan al desarrollo de los habitantes de Chone y Manabí.

Mediante la **visión** de La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí Extensión Chone, que es una institución de educación superior moderna y líder en el ámbito de su actividad académica-científica y formativa de ciudadanos profesionales; es por esto que los resultados de esta investigación, proyectan alcanzar los más altos estándares en calidad y mejorar la entrega de energía eléctrica aplicando las recomendaciones sugeridas.

## **OBJETIVOS.**

### **Objetivo General.**

“Determinar el uso de núcleos magnético de tipo toroidal y su incidencia en transformadores de alta y media tensión con núcleo magnético del tipo acorazado.

### **Objetivos Específicos.**

**Analizar** cuáles son los usos de los núcleos magnéticos de tipo toroidal.

**Determinar** el beneficio del uso de núcleos magnético de tipo toroidal mediante simulación con software de aplicación en transformadores de alta y media tensión.

**Representar** la estructura del transformador de alta y media tensión.

**Seleccionar** el tipo de núcleo magnético en transformadores de media y baja tensión.

**Presentar y socializar** el presente trabajo a las autoridades para su posterior aplicación.

## CAPÍTULO I

### 1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

1.1. **El Electromagnetismo, Inducción Eléctrica y Magnética.**- Es el meollo de la teoría electromagnética siendo la capacidad que tienen las variaciones de campo magnético de producir campos eléctricos y corrientes eléctricas y la capacidad que tienen las variaciones del campo eléctrico y corrientes eléctricas de producir campos magnéticos

El campo magnético creado por una corriente eléctrica, genera alrededor de ella un campo magnético, esto lo descubrió Oersted acercando una brújula a un cable por el que pasa una corriente eléctrica continua. Oersted observó que la brújula se alineaba perpendicularmente a la corriente.

La corriente eléctrica inducida por el movimiento de un imán y las fluctuaciones del campo magnético producen campos eléctricos perpendiculares a la dirección de la variación, en particular un campo magnético variable puede actuar sobre un circuito eléctrico produciendo una fuerza electromotriz.

Si las corrientes eléctricas pueden producir campos magnéticos y las variaciones de un campo magnético pueden producir campos eléctricos y fuerza electromotriz, es de esperarse que las variaciones de una corriente eléctrica pueda inducir una fuerza electromotriz en un circuito vecino.

Cuando movemos un imán permanente por el interior de las espiras de una bobina solenoide (A), formada por espiras de alambre de cobre, se genera de inmediato una fuerza electromotriz (FEM), es decir, aparece una corriente



eléctrica fluyendo por las espiras de la bobina, producida por la “inducción magnética” del imán en movimiento.

Si al circuito de esa bobina (A) le conectamos una segunda bobina (B) a modo de carga eléctrica, la corriente al circular por esta otra bobina crea a su alrededor un “campo electromagnético”, capaz de inducir, a su vez, corriente eléctrica en una tercera bobina<sup>1</sup>.

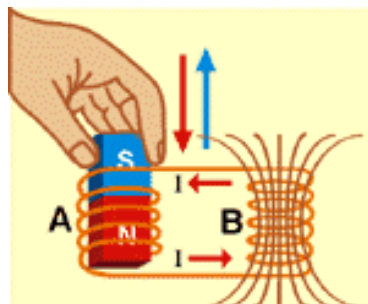


Fig. 1 inducción magnética mediante un imán.

Si colocamos una tercera bobina solenoide (C) junto a la bobina (B), sin que exista entre ambas ningún tipo de conexión ni física, ni eléctrica y conectemos al circuito de esta última un galvanómetro (G), observaremos que cuando movemos el imán por el interior de (A), la aguja del galvanómetro se moverá indicando que por las espiras de (C), fluye corriente eléctrica provocada, en este caso, por la “inducción electromagnética” que produce la bobina (B). Es decir, que el “campo magnético” del imán en movimiento produce “inducción magnética” en el enrollado de la bobina (B), mientras que el “campo electromagnético” que crea la corriente eléctrica que fluye por el enrollado de esa segunda bobina produce “inducción electromagnética” en una tercera bobina que se coloque a su lado<sup>2</sup>.

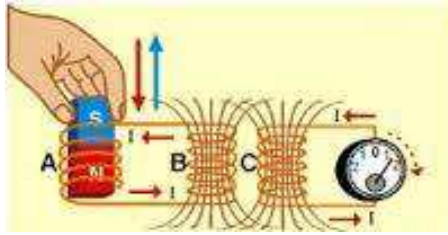


Fig. 2 inducción magnética hacia otra bobina.

El campo magnético del imán en movimiento dentro de la bobina solenoide (A), provoca que, por inducción magnética, se genere una corriente eléctrica o fuerza electromotriz (FEM) en esa bobina. Si instalamos al circuito de (A) una segunda bobina (B), la corriente eléctrica que comenzará a circular por sus espiras, creará un campo electromagnético a su alrededor, capaz de inducir, a su vez, pero ahora por inducción electromagnética, una corriente eléctrica o fuerza electromotriz en otra bobina (C). La existencia de la corriente eléctrica que circulará por esa tercera bobina se podrá comprobar con la ayuda de un galvanómetro (G) conectado al circuito de esa última bobina.

La inducción electromagnética, se demuestra cuando se conecta ahora una pila al circuito de una bobina solenoide (S1) y un galvanómetro al circuito de una segunda bobina solenoide (S2). El circuito que forman la pila y la bobina solenoide S1 se encuentra cerrado por medio de un interruptor, por lo que la corriente que suministra la pila, al fluir por las espiras del alambre de cobre de la bobina, crea un campo magnético constante fijo a su alrededor, que no induce corriente alguna en la bobina S2, tal como se puede observar en la aguja del galvanómetro, que se mantiene en "0".

Pero si ahora moviéramos la bobina S1 hacia arriba y hacia abajo, manteniendo fija en su sitio a la bobina S2, el campo electromagnético de la

bobina S1, ahora en movimiento, inducirá una corriente eléctrica en la bobina S2, cuyo flujo o existencia registrará la aguja del galvanómetro<sup>3</sup>.

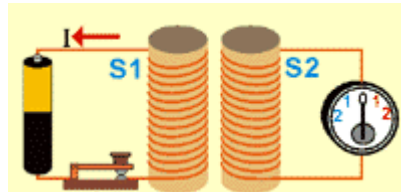


Fig. 3 inducción magnética entre bobinas.

También, si en lugar de mover la bobina S1 abrimos y cerramos ininterrumpidamente el interruptor del circuito de la pila, la fuerza contra electromotriz que se crea cada vez que se abre el circuito interrumpiendo la formación del campo electromagnético, inducirá también una corriente eléctrica en la bobina S2, que registrará el movimiento de la aguja del galvanómetro.

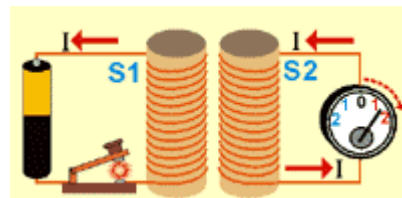


Fig. 4 inducción magnética mediante conmutación.

Sin embargo, como se comprenderá para provocar la inducción magnética o la electromagnética no resulta nada práctico mantener un imán en movimiento por dentro de una bobina de forma manual, ni mover una bobina de igual forma, ni tampoco abrir y cerrar manualmente un interruptor para hacer que se induzca corriente eléctrica en otra bobina.

En la práctica, la solución tecnológica más utilizada es conectar una de las bobinas a una fuente de corriente alterna, para que el cambio constante de polaridad, propio de este tipo de corriente, provoque la formación de un campo

electromagnético variable capaz de inducir por sí mismo corriente eléctrica, igualmente alterna, en otra bobina colocada a su lado<sup>4</sup>.

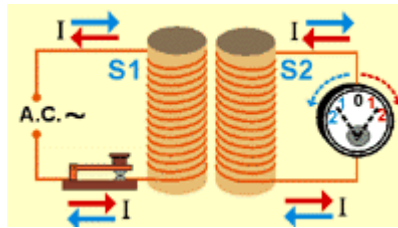


Fig. 5 inducción magnética mediante corriente alterna.

La corriente eléctrica alterna circulando por una bobina (S1) crea a su alrededor un campo electromagnético variable, capaz de inducir por sí mismo corriente alterna en otra bobina (S2) colocada a su lado.

Normalmente la bobina S1 se denomina “enrollado primario”, mientras que la bobina S2 recibe el nombre de “enrollado secundario” y ambas constituyen la base del funcionamiento de los transformadores eléctricos. En ocasiones se pueden encontrar ambos enrollados colocados uno encima de otro formando una bobina de un solo cuerpo. Por otra parte, si en lugar tener la bobina el interior hueco (núcleo de aire) se enrolla sobre un núcleo de hierro, las líneas de fuerza electromagnéticas se intensifican, convirtiéndose en un electroimán, capaz de atraer cuerpos metálicos.

El fenómeno de la inducción electromagnética fue descubierto en 1831 por el físico inglés Michael Faraday (Newington, Inglaterra, 1791 – Londres, 1867)<sup>5</sup>.

---

<sup>1-5</sup> [http://recursostic.educacion.es/newton/web/Documentacion\\_4D/fisica/electromag/Induccion.htm](http://recursostic.educacion.es/newton/web/Documentacion_4D/fisica/electromag/Induccion.htm);  
[http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_induc\\_electromagnetica/ke\\_induc\\_electromagnetica\\_1.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_induc_electromagnetica/ke_induc_electromagnetica_1.htm).

**1.2. Funcionamiento del transformador.**- Un transformador es una máquina estática de corriente alterno, que permite variar alguna función de la corriente como el voltaje o la intensidad, manteniendo la frecuencia y la potencia, en el caso de un transformador ideal.

Para lograrlo, transforma la electricidad que le llega al devanado de entrada en magnetismo para volver a transformarla en electricidad, en las condiciones deseadas, en el devanado secundario, gracias a la importancia de los transformadores, ha sido posible el desarrollo de la industria eléctrica, su utilización hizo posible la realización práctica y económica del transporte de energía eléctrica a pequeñas y grandes distancias<sup>6</sup>.

Los transformadores están compuestos de diferentes elementos estos componentes básicos son:

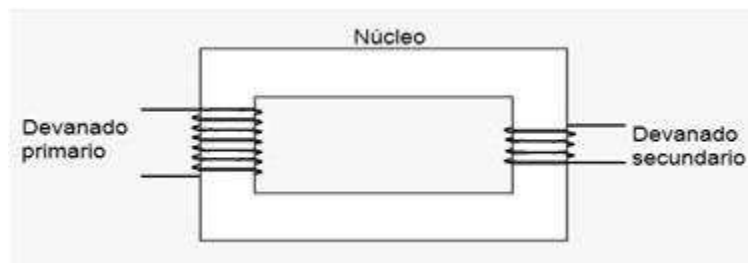


Fig. 6 modelización de un transformador ideal.

a) **Núcleo:** Este elemento está constituido por chapas de acero al silicio aisladas entre ellas, el núcleo de los transformadores está compuesto por las columnas, que es la parte donde se montan los devanados, y las culatas, que es la parte donde se realiza la unión entre las columnas. El núcleo se utiliza para conducir el flujo magnético, ya que es un gran conductor magnético.

b) **Devanados:** El devanado es un hilo de cobre enrollado a través del núcleo en uno de sus extremos y recubiertos por una capa aislante, que suele ser barniz, está compuesto por dos bobinas, la primaria y la secundaria. La relación de vueltas del hilo de cobre entre el primario y el secundario nos indicará la relación de transformación, siendo el nombre de primario y secundario totalmente simbólico y por definición donde apliquemos la tensión de entrada será el primario y donde obtengamos la tensión de salida será el secundario<sup>7</sup>.

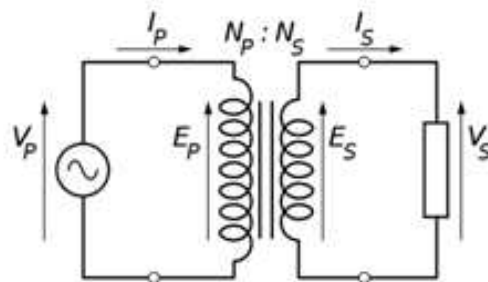


Fig. 6 esquema básico de funcionamiento de un transformador ideal.

Los transformadores se basan en la inducción electromagnética, al aplicar una fuerza electromotriz en el devanado primario, es decir una tensión, se origina un flujo magnético en el núcleo de hierro, este flujo viajará desde el devanado primario hasta el secundario dando a lugar un movimiento que originará una fuerza electromagnética en el devanado secundario.

Según la Ley de Lenz, necesitamos que la corriente sea alterna para que se produzca esta variación de flujo; en el caso de corriente continua el transformador no se puede utilizar porque se comporta como electro imán.

La relación de transformación del transformador eléctrico depende directamente de la cantidad de espiras arrolladas en el núcleo, quedando la expresión de la siguiente manera:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = r_t$$

Dónde:

$N_p$  = es el número de vueltas del devanado del primario,

$N_s$  = el número de vueltas del secundario,

$V_p$  = la tensión aplicada en el primario,

$V_s$  = la obtenida en el secundario,

$I_s$  = la intensidad que llega al primario,

$I_p$  = la generada por el secundario y

$r_t$  = la relación de transformación.

Como observamos en este ejemplo si queremos ampliar la tensión en el secundario tenemos que poner más vueltas en el secundario ( $N_s$ ), pasa lo contrario si queremos reducir la tensión del secundario<sup>8</sup>.

---

<sup>6-8</sup> <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Fuentes-alimentacion.php>;  
[http://www.unicrom.com/article\\_read.asp](http://www.unicrom.com/article_read.asp)

**1.3. Transformador ideal.**- En un transformador ideal, la potencia que tenemos en la entrada es igual a la potencia que tenemos en la salida, esto quiere decir que<sup>9</sup>:

$$N_p \cdot I_p = N_s \cdot I_s$$

Pero en la realidad, en los transformadores reales existen pequeñas pérdidas que se manifiestan en forma de calor, estas pérdidas las causan los materiales que componen un transformador eléctrico.

En los conductores de los devanados existe una resistencia al paso del corriente que tiene relación con la resistividad del material del cual están compuestos, además, existen efectos por dispersión de flujo magnético en los devanados, finalmente, hay que considerar los posibles efectos por histéresis o las corrientes de Foucault en el núcleo del transformador.

Pérdidas en los transformadores reales, las diferentes pérdidas que tiene un transformador real son<sup>10</sup>:

- a) Pérdidas en el cobre:** Debidas a la resistencia propia del cobre al paso de la corriente.
  
- b) Pérdidas por corrientes parásitas:** Son producidas por la resistencia que presenta el núcleo ferro magnético al ser atravesado por el flujo magnético.
  
- c) Pérdidas por histéresis:** Son provocadas por la diferencia en el recorrido de las líneas de campo magnético cuando circulan en diferente sentido cada medio ciclo.



**d) Pérdidas a causa de los flujos de dispersión en el primario y en el secundario:** Estos flujos provocan un auto inductancia en las bobinas primarias y secundarias<sup>11</sup>.

**1.4. Tipos de transformadores.**- El propósito principal de un transformador es convertir energía de corriente alterna (ca) de un nivel de voltaje en energía de corriente alterna (ca) de una misma frecuencia pero a otro nivel de voltaje.

También se utilizan transformadores para otra variedad de propósitos tales como la toma de muestras de corriente o voltaje para medición, como acoplador de impedancias, puede usarse en circuitos de comunicación entre otros.

**1.5. Clasificación de los transformadores.**- Por las tensiones eléctricas se clasifican en: monofásicos, trifásicos, trifásicos –monofásicos;

Según aumenten o disminuyan la tensión se denominan transformadores elevadores (TE) o transformadores reductores (TR).

Según el medio ambiente para el que estén preparados se clasifican en transformadores para interior o para la intemperie;

De acuerdo con el elemento refrigerante que requieran, en transformadores en seco, en baño de aceite, con piraleno;

Según puedan proporcionar permanentemente su potencia nominal con refrigerante natural o no, se distinguen transformadores con refrigeración natural o con refrigeración forzada<sup>12</sup>.

**1.6. Designaciones y simbolismos.-** El devanado del transformador que recibe mayor tensión toma el nombre de “devanado de alta” (AT) y el de menor tensión “devanado de baja”, se debe tener en cuenta que estos conceptos no coinciden necesariamente con los devanados primario y secundario.

Algunos de los símbolos para la representación del transformador son:

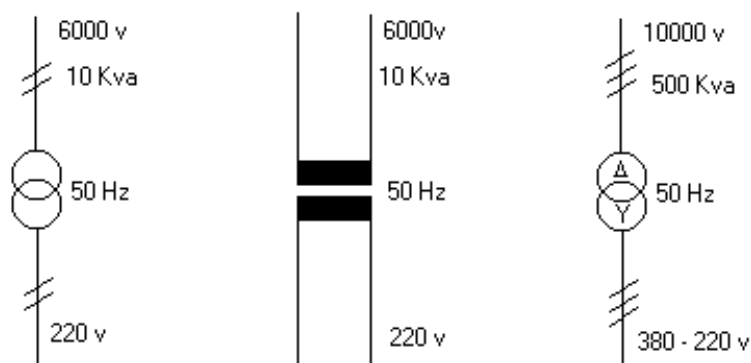


Fig.

Los dos primeros símbolos corresponden a transformadores del tipo monofásico, mientras que el tercero corresponde al símbolo de un transformador trifásico.

**1.7. Constitución de un transformador monofásico.-** En un transformador monofásico existen dos circuitos eléctricos (primario y secundario), y un circuito magnético que es realmente quien “transporta” el flujo magnético.

**1.8. Circuito magnético.-** Los núcleos de los transformadores están contruidos de chapas ferromagnéticas eléctricamente aisladas entre sí<sup>13</sup>.

La chapa suele estar constituida por una aleación de acero y silicio (éste entre cantidades del 3% - 5%), la misión del silicio es la disminuir las pérdidas por histéresis y la de evitar el envejecimiento en el núcleo.

La chapa magnética normal se lamina en caliente, aunque ahora la llamada chapa magnética de grano orientado o laminada en frío (ésta normalmente tiene una menor proporción de silicio, y su acero es más puro).

Los cristales de las chapas laminadas en frío tienden a orientarse, mejorando las características magnéticas del material, consiguiéndose unos altos valores de permeabilidad magnética, además en campos alternativos, las pérdidas son mínimas.

En la actualidad, la fabricación de transformadores, se realiza, casi de forma exclusiva, con la chapa magnética de grano orientado, el espesor de las chapas es de unos 0,35 mm. Las pérdidas en el núcleo se pueden detectar mediante la disipación que suele darse en vatios por kilo de material, refiriéndose en la mayor parte de los casos a 1 Tesla, o a 1,5 Teslas, mientras que los transformadores de chapa magnética ordinaria, suelen tener unas pérdidas de entre 0,8 y 1,3 W/Kg (1 T). La chapa de grano orientado tiene unos valores referidos a 1 T de entre 0,4 y 05 W/Kg, mientras que a 1,5 T son del orden de 1 a 1,2 W/Kg.

La chapa de grano orientado nos da por tanto la oportunidad de reducir las pérdidas en el núcleo, o de reducir peso (dado que las pérdidas serán menores, no necesitaremos tanto material en el núcleo), o bien conseguir relativamente los dos objetivos a la vez<sup>14</sup>.

El aislamiento de las chapas magnéticas puede ser de varios tipos, en general, antes se usaba el papel, que se pegaba en las caras de la chapa, más tarde se usó barniz (silicato sódico), actualmente, las chapas de grano orientado llevan un tratamiento termoquímico especial (“carlite”), que proporciona el aislamiento necesario. Es de una especial mención el llamado “factor de relleno”, que es el cociente entre la sección de hierro y la del núcleo en total.

Factores de relleno en núcleos para transformadores (chapas de 0,35 mm):

- Papel (una cara) . . . . .0,88
- Silicato de sodio (una cara). . . .0,90
- Carlite (dos caras). . . . .0,95 – 0,9

Existe una razón de conveniencia para que los arrollamientos de alambre tengan forma circular, lo lógico sería que las chapas del núcleo tuviesen también esta forma, sin embargo, esto no es fácil desde el punto de vista de la confección del núcleo. En transformadores de grandes potencias lo que se hace es dejar huecos mayores entre las chapas (con lo cual logramos además unos canales de refrigeración), además de hacerlas a distintos tamaños, para que el núcleo tenga una forma que se adapte mejor a la forma circular de las bobinas<sup>15</sup>.

---

<sup>9-15</sup> [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/funcionamiento-de-los-transformadores](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/funcionamiento-de-los-transformadores)

**1.9. Arrollamientos, Circuitos electromagnéticos.**- Lo más importante en cuanto a los arrollamientos es su número de espiras, quedando en un segundo plano, la forma de sus espiras y la disposición de sus arrollamientos.

Las espiras de un transformador suelen tener una disposición circular, ya que en el caso de que una corriente elevada como por ejemplo: una corriente de cortocircuito que recorriese las espiras, producirían esfuerzos dinámicos de consideración debido a las fuerzas de repulsión que se generarían.

Se pueden asimilar a dos corrientes con direcciones paralelas y sentidos contrarios que generan esfuerzos dinámicos de repulsión, por lo tanto, si la bobina no hubiese tenido, forma circular, los esfuerzos dinámicos tendrían que dársela. Aunque esto no es más que una idea simple de lo que sucede, ya que hay que considerar todas las espiras a la vez (primario y secundario). Todas las corrientes se afectan dinámicamente, así, en el caso de arrollamientos concéntricos, se producen esfuerzos radiales que tienden a comprimir las espiras del arrollamiento interno y a extender las del externo, esto justifica la preferencia que existe a hacer las espiras con forma circular, ya que son las que mejor soportan estos esfuerzos<sup>16</sup>.

**1.10. Refrigeración.**- Las pérdidas en los devanados, en el núcleo, y en otros elementos motivan el calentamiento del transformador, los cuales, hemos de evitar, siendo los principales medios refrigerantes que se utilizan, en contacto con los arrollamientos el aire y aceite mineral también sustituido a veces por otros líquidos incombustibles como el piraleno.

El uso del aceite, frente al aire, está justificado dado que tiene una mejor conductividad térmica y posee un mayor calor específico, la función del aceite es doble, actúa como aislante y como agente refrigerante. La rigidez de los aceites usados suele ser del orden de los 200 kV/cm. Básicamente se trata de una mezcla de hidrocarburos, además el aceite cobra un especial interés en los casos en el que el transformador se vea sometido a sobrecargas pasajeras.

La parte activa del transformador suele ir sumergida en aceite, esta parte está en el interior de un tanque o caja, esta caja puede tener una superficie de refrigeración considerable, compuesta por tubos, o con radiadores adosados, este sistema de refrigeración, puede efectuarse por convección natural, o bien forzada mediante ventiladores que activen la circulación en el caso de refrigeración por aire, y de bombas en el caso del aceite, que mediante un circuito cerrado puede a su vez enfriarse mediante la acción por ejemplo de otra circulación de agua.

La potencia de un transformador viene limitada por su valor máximo de calentamiento, por tanto, la ventilación forzada puede ser un medio eficaz para aumentar la potencia. Sin embargo, el principal problema de la refrigeración en los transformadores, y de las máquinas en general, es que aumenta en dificultad a medida que crecen las potencias.

A medida que aumentan las potencias, la caja, los tubos de ventilación y todo deben crecer. Existen también transformadores indicados para aquellos casos en que la máxima potencia sólo se suministra durante unas horas. En esas horas, se efectuará una ventilación forzada, mientras, en horario de servicio normal, sólo se necesita una ventilación natural<sup>17</sup>.

**1.11. Conservación del aceite.**- El transformador es una máquina que apenas necesita mantenimiento, el elemento que requiere una mayor atención es el aceite, los aceites minerales tienden a envejecer, a oxidarse, estas alteraciones reducen las cualidades electrotécnicas del aceite. Las razones es que el aceite sufre alteraciones debido a la temperatura, la humedad, y al contacto con el oxígeno del aire.

Para minimizar el envejecimiento del aceite se disponen depósitos de expansión y conservadores de aceite, al calentarse el aceite, éste se dilata, y fluye hacia el depósito de expansión. El depósito tendrá un nivel mínimo y un nivel máximo, para que así el contacto con el oxígeno del aire sea menor. En el tapón de llenado del aceite, además, se suele poner un conservador del aire, “silicagel”, el cual absorbe la humedad del nuevo aire que entra cuando el aceite se enfría<sup>18</sup>.

**1.12. Otros dieléctricos.**- En algunas ocasiones, se sustituye el aceite por dieléctricos más resistentes al calor (askarel), en Ecuador se usaba el “pyraleno”. Porque este, no origina con el calor mezclas explosivas con el oxígeno, es relativamente estable a temperaturas elevadas, es decir, no sufre alteraciones en contacto con el aire. Sin embargo es volátil y absorbe fácilmente la humedad, debido a esto, los transformadores con pyraleno suelen constituirse sin “respiración”, dotándolos de un volumen de aire suficiente para que pueda compensar las variaciones de volúmenes, evitando grandes presiones.

---

<sup>15-18</sup>[http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educal/recursos-interactivos/conceptos-basicos/funcionamiento-de-los-transformadores](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educal/recursos-interactivos/conceptos-basicos/funcionamiento-de-los-transformadores)

El pyraleno, es un gran disolvente de resinas, pinturas, grasas, por consiguiente su uso implica una construcción especial, sin los componentes anteriormente mencionados no se mezclará el pyraleno con el aceite. Los transformadores de pyraleno son más costosos, y también más pesados.

El arco eléctrico, además de gasificarlo, lo descompone, originando productos nocivos, aunque no explosivos<sup>19</sup>.

**1.13. Potencia nominal de un transformador.**- La potencia nominal de un transformador se refiere a la potencia aparente (S), por definición, la potencia nominal de un transformador monofásico, es el producto de su tensión nominal por la corriente nominal correspondiente. Las tensiones y corrientes nominales son aquellos valores para los cuales ha sido proyectado el transformador.

El transformador, se calienta en virtud de las pérdidas en el hierro y en los arrollamientos, en términos usuales, se considera que un transformador podrá trabajar, en régimen permanente y en condiciones nominales, potencia, tensión, corriente y frecuencia, sin deterioro alguno, lo cual requiere que las distintas partes del transformador no excedan de ciertos límites.

Esto no significa que la potencia no nominal de un transformador está ligada casi únicamente a las temperaturas máximas permisibles, por diversas razones, puede desearse que un transformador cuyas temperaturas extremas en condiciones nominales de servicio queden por debajo de sus límites, si esto ocurre, al transformador ha de dársele una potencia nominal inferior.



Debemos tener en cuenta que si los fluidos de refrigeración sobrepasan las temperaturas máximas, habrá que reducir el calentamiento normal de transformador, y para ello se deberá de reducir su potencia. Por ejemplo, si la temperatura del transformador es superior en 5°C a la normal, habría que rebajar su potencia p.ej. al 92,5%, y si es en 10°C, al 85% de su valor nominal<sup>20</sup>.

**1.14. Tipos de núcleos para transformadores.-** Existen dos tipos de núcleos considerados principales y fundamentales para los transformadores, ellos son el de tipo núcleo simple y el tipo acorazado.

a) **Tipo núcleo columna**, Este tipo de núcleo se representa en la figura detallada a continuación, indicando el corte A-1 la sección transversal que se designa con S (cm<sup>2</sup>), este núcleo no es macizo, sino que está formado por un paquete de chapas superpuestas, y aisladas eléctricamente entre sí. Para colocarlas y poder ubicar el bobinado terminado alrededor del núcleo, se construyen cortadas, colocando alternadamente una sección U con una sección I. La capa siguiente superior cambia la posición I con respecto a la U.

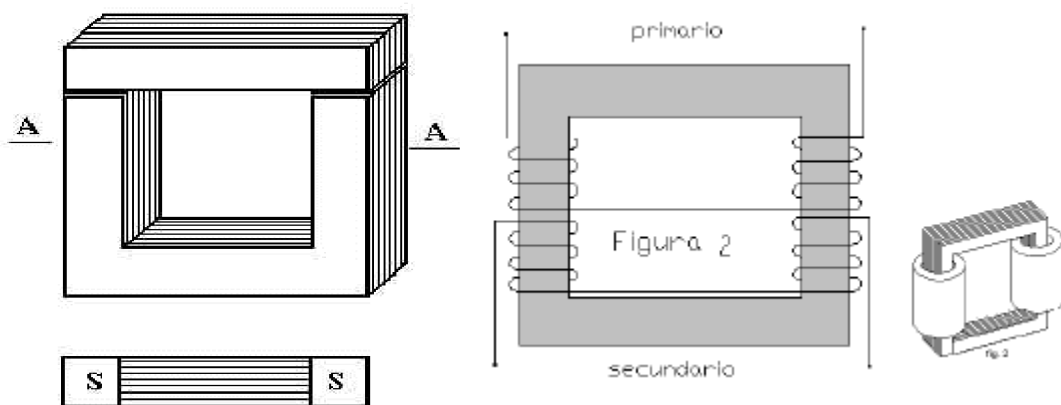


Figura de vista y corte del núcleo columna formado por entrechapado

La aislación entre chapas se consigue con barnices especiales, con papel de seda, o simplemente oxidando las chapas con un chorro de vapor.

b) **Núcleo tipo acorazado**, este tipo de núcleo es más perfecto, pues se reduce la dispersión, se lo puede observar en la siguiente figura, en vistas. Obsérvese que las líneas de fuerza de la parte central, alrededor de la cual se colocan las bobinas se bifurcan abajo y arriba hacia los dos costados, de manera que todo el contorno exterior del núcleo puede tener la mitad de la parte central.

Esto vale para las dos ramas laterales como también para las dos cabezas, además, para armar el núcleo acorazado también se lo construye en trozos, unos en forma de E y otros en forma de I, y se colocan alternados, para evitar que las juntas coincidan.

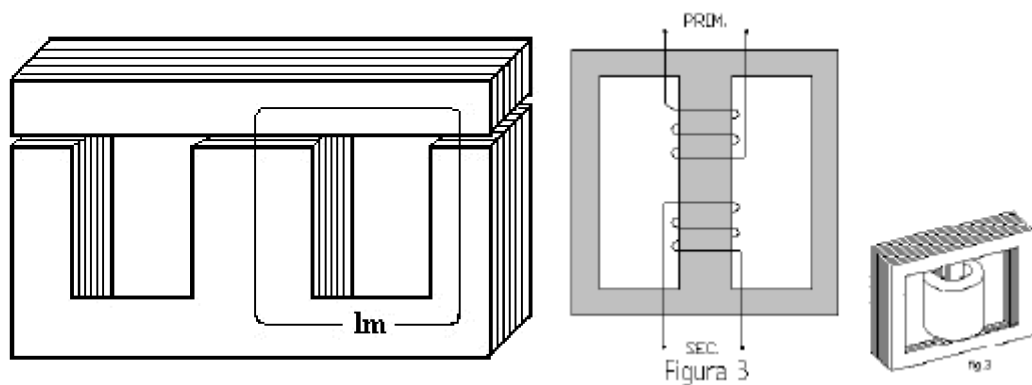


Figura de núcleo tipo acorazado y su longitud magnética media formado por entrechapado.

El hecho que los núcleos sean hechos en dos trozos, hace que aparezcan juntas donde los filos del hierro no coinciden perfectamente, quedando una pequeña luz que llamaremos entrehierro. Obsérvese que en el tipo núcleo hay

dos entrehierros en el recorrido de las fuerzas, y que el acorazado también, porque los dos laterales son atravesados por la mitad de líneas cada uno.

c) **Núcleo de tipo Toroidal**, en los transformadores con núcleo toroidal, se representan físicamente como ningún otro tipo, el diseño es ideal de cómo debe de ser un transformador, de hecho, Faraday diseñó y bobinó el primer transformador sobre un núcleo toroidal.

Este núcleo tiene varias ventajas entre ellas alto rendimiento, bajo nivel de ruido, menor calentamiento, peso y tamaño reducido, facilidad de montaje.

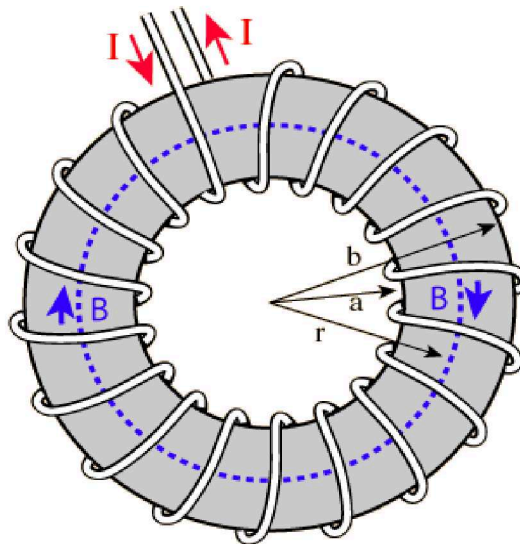


Figura de transformador con núcleo de tipo toroidal

**1.15. Calculo simplificado para transformadores**<sup>21</sup>, para el ensayo y estudio de esta investigación el autor de este proyecto propone el cálculo de simplificado para transformadores, debido a que los cálculos se los realizará en pequeña escala con los respectivos materiales e instrumentos capaces de mostrar resultados confiables dentro del laboratorio de la carrera de ingeniería Eléctrica.

Para el caso se toma como referencia el cálculo simplificado de pequeños transformadores que publicó la revista de electrónica “Saber Electrónica” fascículo número 180, esta se divide en varios pasos:

Se debe saber, que la potencia del transformador depende de la carga que se va a conectar a la misma, por lo tanto:

El cálculo simplificado de transformadores de pequeña potencia se inicia con la elección del núcleo, potencia del Transformador, estableciendo la sección del núcleo, fijando del número de espiras para cada bobinado y tipo de alambre para el bobinado, comprobando las corrientes para cada bobinado, densidad de corriente eléctrica, determinado la sección transversal del conductor para cada bobinado, estableciendo la sección normalizada transversal del conductor para cada bobinado.

a) **Elección del núcleo**, Podemos usar tanto el tipo de núcleo “U - I” como el tipo “E - I”, así como también el tipo toroidal. Ver figura:

b) **Potencia del Transformador**: La potencia del transformador depende de la carga conectada a la misma, esta potencia está dada por el producto de la tensión secundaria y la corriente secundaria, es decir:

Potencia útil = tensión secundaria x corriente secundaria

c) **Sección del núcleo**, La sección del núcleo del transformador está determinada por la potencia útil a conectarse al transformador, de esta manera la sección se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Sección = 1,1 * \sqrt{P}$$

Dónde:

S: es la sección del núcleo en cm<sup>2</sup>.

P: es la potencia útil en Watts de la carga:

La sección del núcleo está dada por el producto de los lados de la tira central del núcleo

$$S = A * B$$

Dónde:

A: es uno de los lados en cm, B: es el otro lado en cm.

d) **Número de Espiras para cada bobinado**, Para el determinar el número de espiras se utiliza la siguiente expresión:

$$N = \frac{V}{f * S * B * 4.4 * 10^{-8}}$$

Para el bobinado primario tenemos:

$$N_1 = \frac{V_1}{f * S * B * 4.4 * 10^{-8}}$$

Y para el bobinado secundario tenemos:

$$N_2 = \frac{V_2}{f * S * B * 4.4 * 10^{-8}}$$

Dónde:

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 eléctrica en Hertz (Hz).

V1: es la tensión en el bobinado primario en Voltios (V) y V2: es la tensión en el bobinado secundario en Voltios (V).

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

S: es la sección del núcleo en cm<sup>2</sup>. 10<sup>-8</sup>, siendo esta una constante para que todas las variables estén en el Sistema M.K.S de unidades.

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

$$B = \mu * H$$

Dónde:

B: es la inducción magnética en el núcleo elegido en Weber/m<sup>2</sup>.

$\mu$ : 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).

**e) Tipo de alambre para el bobinado:** La sección de los alambres que se usarán dependen directamente de la intensidad de la corriente eléctrica que circula por ella (alambre). Los alambres usados pueden ser aluminio o cobre recocido.

Se usa más el cobre que el aluminio por ser este mucho más dúctil, maleable y flexible, el cobre recocido posee sobre su superficie un barniz aislante.

f) **Intensidades para cada bobinado**, Teniendo en cuenta la potencia del transformador y la tensión aplicada podemos hallar la corriente eléctrica.

Potencia eléctrica = Tensión aplicada x Corriente eléctrica

Despejando la corriente eléctrica de la expresión anterior tenemos que:

Corriente = Potencia / Tensión Suponiendo que nuestro transformador posee únicamente dos bobinados.

Para el bobinado primario tenemos:

$$I_1 = P/V_1$$

Dónde:

I<sub>1</sub>: es la corriente eléctrica del bobinado primario.

P: es la potencia eléctrica del transformador.

V<sub>1</sub>: es la tensión aplicada en el bobinado primario.

Y para el bobinado secundario tenemos:

$$I_2 = P/V_2$$

Dónde:

I<sub>2</sub>: es la corriente eléctrica del bobinado secundario.

P: es la potencia eléctrica del transformador.

V2: es la tensión aplicada en el bobinado secundario.

g) **Densidad de Corriente eléctrica**: Definimos densidad de corriente eléctrica como la corriente eléctrica que atraviesa un conductor por unidad de superficie.

$$D = I/S$$

Dónde:

D: es la densidad de corriente eléctrica.

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

S: es la sección transversal del conductor

h) **Sección transversal del conductor para cada bobinado**, Despejando la sección de la expresión anterior tenemos que:

$$S = I/D$$

Para la sección del bobinado primario tenemos que:

$$S_1 = I_1/D$$

Y para la sección del bobinado secundario tenemos que:

$$S_2 = I_2/D$$

---

<sup>19-21</sup> *Electrónica y servicio, calculo simplificado de transformadores; fascículo número 180, 1986*



**1.16. Perdidas en transformación,** ninguna maquina trabaja sin producir perdidas, ya sea estática o dinámica, las perdidas en las maquinas estáticas son muy pequeñas, como sucede en los transformadores.

**Estas pérdidas son:**

- a) Perdidas por corrientes de Foucault.
- b) Perdidas por histéresis.
- c) Perdidas en el cobre del bobinado.

Las pérdidas por las corrientes de Foucault ( $P_f$ ) y por histéresis ( $P_h$ ), son las llamadas pérdidas en el hierro.

Cuando un transformador esta en vacío, la potencia que medimos en transformador con circuito abierto se compone de la potencia perdida en el circuito magnético y la pérdida del cobre en los bobinado.

Al ser nula la intensidad en el secundario ( $I_2=0$ ), no aparece en el pérdidas de potencia; por otra parte al ser muy pequeña la intensidad del primario en vacío ( $I_0$ ) con respecto a la intensidad de carga ( $I_{2n}$ ), las pérdidas que se origina en el cobre del bobinado primario resultan prácticamente insignificante.

**1.17. Pérdidas en el hierro.**- Las pérdidas de potencia en el hierro en un transformador en vacío se producen por las corrientes de Foucault, y por el fenómeno de histéresis. Para reducir las pérdidas de energía, y la consiguiente pérdida de potencia, es necesario que los núcleos que están bajo un flujo variables no sean macizos, deberán están contruidos de chapas magnéticas de espesores mínimos apiladas y aisladas entre sí.

La corriente eléctrica al no poder circular, de unas chapas a otras tienen que hacerlo independiente la una a la otra, con lo que se induce menos corriente y disminuye la potencia perdida por corrientes de Foucault.

**1.18. Las corrientes de Foucault**, se producen en cualquier material conductor cuando se encuentra sometido a una variación del flujo magnético. Como los materiales magnéticos son buenos conductores de la electricidad, en los núcleos magnéticos de los transformadores se genera una fuerza electromotriz inducida que origina corriente de circulación en los mismos, lo que da a lugar la pérdida de energía por el efecto Joule. Estas pérdidas por corrientes parásitas o de Foucault dependerán del material con que esté constituido el núcleo magnético.

Para el tipo de chapa magnética de inducción de 1 Tesla o 10000 Gauss, trabajando a una frecuencia de 50 Hz, de laminado en frío de grano orientado, las pérdidas en el núcleo se estiman entre 0,3 W/Kg y 0,5W/Kg, mientras que en las chapas laminadas en caliente para la misma inducción y frecuencia, estos oscilan entre 0,8 y 1,4 W/Kg.

Para el cálculo de las pérdidas en el hierro por las corrientes de Foucault, recurrimos a la expresión que indica que las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la inducción y al cuadrado de la frecuencia:

$$P_f = \frac{2.2 * f^2 * \beta_{max}^2 * \Delta^2}{10^{11}}$$

Dónde:

$P_f$  = Pérdidas por corrientes de Foucault en w/kg

F= Frecuencia en Hz

Bmax= Inducción máxima en gauss

$\Delta$ = espesor de la chapa magnética en mm.

De la expresión anterior se deduce que el cambio de frecuencia de 50 a 60 hz, hace que aumente las pérdidas en el núcleo del transformador.

**1.19. La histéresis magnética**, es el fenómeno que se produce cuando la imantación de los materiales ferromagnéticos no solo depende de los valores de flujo, sino también de los estados magnéticos anteriores.

En el caso de los transformadores, al someter el material a un flujo variable se produce una imantación que se mantiene al cesar el flujo variable, lo que provoca una pérdida de energía que se justifica en forma de calor.

La potencia perdida por histéresis depende esencial mente por el tipo de materia, también depende de la frecuencia, la inducción magnética dependerá del tipo de chapa.

A través de la expresión de Steinmetz, se determinaran las pérdidas por histéresis.

$$Ph = K_h * f * \beta_{max}^n$$

Dónde:

Kh= coeficiente de cada material

F= frecuencia en Hz

B<sub>max</sub>= inducción máxima el tesla

Ph= perdida por histéresis en W/kg

N=1,6 para B< a 1 tesla o 2 para B> a 1 tesla (1tesla = 10<sup>4</sup> gauss)

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA.

**2.1. Tipo de investigación.**- En el desarrollo este trabajo investigativo, se aplicaron modalidades de la investigación de campo, documental y experimental. La investigación de campo se desarrollara en los predios del campus universitario, la documentación requerida se halló en libros y fascículos técnicos concernientes al tema tratado, además con ayuda de la internet donde hay vasta información sobre la temática. Por otra parte, mediante la investigación experimental se establecieron datos que corroboraron los cálculos matemáticos expresados en este trabajo.

**2.2. Nivel de la investigación.**- Partiendo de los principios generales se empleó el método analítico para estudiar todo el proceso y profundizar en el problema, además el método sintético para lograr una mejor comprensión e interpretación de la información recopilada; finalmente el método propositivo que permitirá dar aspectos de solución al problema planteado inicialmente.

**2.3. Métodos.**- El método que se aplicó en esta investigación es el método experimental, donde se manipuló las magnitudes esenciales mediante la aplicación de instrumentos de verificación.

**2.4. Técnicas de recolección de información.**- En la realización del proyecto se utilizaron varias técnicas, debido a las necesidades que permitieron obtener datos reales sobre el uso de núcleos con mejores características, siendo estas técnicas: bibliográfica, observación, encuesta y la tabulación de los datos recolectados en el trabajo de campo.

**2.4.1. Bibliográfica.-** debido a que se hace necesario buscar apoyo en materiales basados en textos, revistas científicas, memorias de tesis hallados en la biblioteca del campus universitario.

**2.4.2. Observación.-** Se aplicó para identificar el sitio donde se iba a realizar el trabajo de investigación e implementación.

**2.4.3. Encuesta.-** Se la realizó a los y las estudiantes de la escuela de ingeniería en alimentos.

## **2.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.**

**2.5.1. La población,** está formada por estudiantes e ingenieros de la carrera de ingeniería eléctrica de la “Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí” campus Chone.

**2.5.2. La muestra,** estuvo compuesta por cincuenta y cinco estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica del campus universitario de la extensión Chone.

Lugar	Población	Muestra	Porcentaje
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí Extensión Chone	Estudiantes de Ingeniería Eléctrica	55	100%
	Total	55	100%

## 2.6. MARCO ADMINISTRATIVO.

2.7. **Recursos Humanos.**- Los recursos Humanos con los que se constara serán el investigador, el personal de mantenimiento y estudiantes de la carrera de eléctrica de la “Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí campus Chone.”

## 2.8. Recurso financiero.

Los recursos financieros generales será aportado por el investigador, tales como:

### PRESUPUESTO. Referencial.

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	V. UNITARIO	V. PARCIAL
1	10	Viajes ciudad de Portoviejo	\$ 10,00	\$ 100,00
2	10	Viajes a la ciudad de Manta	\$ 10,00	\$ 100,00
3	4	Viajes ciudad de Guayaquil	\$ 20,00	\$ 80,00
4	5	Viajes a la ciudad de Quito	\$ 20,00	\$ 100,00
5	3	Viajes a la ciudad de Cuenca	\$ 30,00	\$ 90,00
6	15	Hospedaje distintas ciudades	\$ 25,00	\$ 375,00
7	650	Horas de uso de internet	\$ 0,50	\$ 325,00
8	6	Resmas de papel bond A4	\$ 4,50	\$ 27,00
9	8	Cartuchos tinta negro y color	\$ 38,00	\$ 304,00
10	10	Discos magnéticos CD'S	\$ 0,50	\$ 5,00
11	25	Alquiler de Osciloscopio	\$ 40,00	\$ 1.000,00
12	4	Elementos elect. de prueba	\$ 280,00	\$ 1120,00
13	1	Accesorios de conexión	\$ 240,00	\$ 240,00
14	1	Imprevistos	\$ 600,00	\$ 600,00
15	1000	Fotocopias	\$ 0,03	\$ 30,00
16	1	Encuadernados y empastados		\$ 240,00
		TOTAL		\$ 4.736,00

## **2.9. DIAGNÓSTICO EXPOSICIÓN DE LOS NÚCLEO CON LÁMINA DE GRANO ORIENTADO MEDIANTE EL ESTUDIO DE CAMPO.**

Una vez analizado el proceso de diseño, modelos, y tipos de núcleos para la construcción de transformadores eléctricos, se procede a realizar la prueba de laboratorio. Cabe destacar que para el análisis de estos núcleos, se toma como referencia los núcleos de lámina de grano orientado, tanto para los núcleos acorazados del tipo E I, como para el Toroidal. La potencia máxima de estos núcleos para el ensayo de laboratorio y posterior resultado está estimada en 400w, siendo ambos tipos de la misma potencia, debido a que con estos valores se puede realizar las pruebas en los módulos que el laboratorio cuenta en el campus universitario.

### **2.10. Ensayo de laboratorio con núcleo acorazado y potencia útil.**

Para la prueba del núcleo acorazado, se debe tener los siguientes parámetros de la estructura del elemento sujeto a experimento.

#### **a) Dimensiones de los lados del núcleo:**

$$A= 4,47\text{cm y } B= 4,47\text{cm}$$

#### **b) Área o sección del núcleo (S): $S=A*B$**

$$S= (4,47*4,47) \text{ cm } S= 20\text{cm}^2$$

#### **c) Potencia útil : $P= S^2$**

$$P= (20)^2 P= 400\text{wt.}$$

### **2.11. Elaboración de la parte activa del transformador.**

Con los datos anteriores se realizan los cálculos para hallar el número de espiras y dimensión del calibre del conductor tanto para el primario como para el secundario del transformador.

Para el bobinado primario según la expresión descrita en el *CAPÍTULO I* sería:

$$N_1 = \frac{V_1}{f * S * B * 4.4 * 10^{-8}}$$

Y que para el ensayo se tomará como tensión de referencia en primario y secundario 12vac, denotándonos que el transformador tendría una relación de transformación de 1:1, conocida también como de aislamiento.

Sustituyendo los valores en la expresión anterior:

$$N_1 = \frac{12v}{60hz * 20cm^2 * 10000 * 4.4 * 10^{-8}}$$

$$N_1 = 22,7 \text{ espiras.}$$

### **2.12. Corriente máxima que circulará por el bobinado primario.**

Para determinar la intensidad de corriente que circulará por el enrollamiento primario se utiliza la expresión:

$$I_1 = P/V_1$$

Sustituyendo los valores tenemos:

$$I_1 = 400w/12v \quad I_1 = 33,3A$$



Para efectos de la prueba en el laboratorio se tomara como intensidad de corriente sin llegar a saturar el núcleo un cuarto de la corriente máxima, con lo que la densidad de corriente para este núcleo será de:

$$D= 8,33 \text{ A /cm}^2$$

### **2.13. Sección transversal del conductor para el enrollamiento primario.**

Para determinar la sección transversal del conductor del primario se toma como referencia la densidad de corriente que circula por cm<sup>2</sup> en el núcleo y ajustando a la necesidad de manejar una corriente que pueda ser medida con los instrumentos en los módulos de práctica del laboratorio, de manera que será suficiente una corriente de 6A en el conductor del primario, por lo tanto para la sección transversal del bobinado primario tenemos:

$$S_1 = I_1/D$$

Reemplazando los valores queda:

$$S_1 = 6A/8,33A \quad S_1 = 0,72\text{cm}^2$$

Según la tabla para conductores esmaltados, el calibre del conductor con la sección mayor a 0,72cm<sup>2</sup> sería: 0,82cm<sup>2</sup> correspondiente a un conductor número 18 AWG (American Wire Gauge) estandarizado.

### **2.14. Elaboración de la parte activa del secundario del transformador.**

Como se trata de un transformador que tiene una relación de transformación 1:1, los datos arrojados que sirvieron para determinar los valores en el primario, también servirán para hallar los datos del secundario.

Con los datos anteriores se hallaron el número de espiras y dimensión del calibre del conductor

Expresión anterior:

$$N_1 = \frac{12v}{60hz * 20cm^2 * 10000 * 4.4 * 10^{-8}}$$

$$N_1 = 22,7 \text{ espiras.}$$

$$N_2 = N_1$$

### **2.15. Corriente máxima que circulará por el bobinado secundario.**

Para determinar la intensidad de corriente que circulará por el enrollamiento secundario se utiliza la expresión:

$$I_1 = P/V_1$$

Sustituyendo los valores tenemos:

$$I_1 = 400w/12v \quad I_1 = 33,3A$$

$$I_2 = I_1$$

Para efectos de la prueba en el laboratorio se tomará como intensidad de corriente sin llegar a saturar el núcleo un cuarto de la corriente máxima, con lo que la densidad de corriente para este núcleo será de:

$$D = 8,33 \text{ A/cm}^2$$

## **2.16. Sección transversal del conductor para el enrollamiento primario.**

Para determinar la sección transversal del conductor del secundario se toma como referencia la densidad de corriente que circula por  $\text{cm}^2$  en el núcleo y ajustando a la necesidad de manejar una corriente que pueda ser medida con los instrumentos en los módulos de práctica del laboratorio, de manera que será suficiente una corriente de 6A en el conductor del secundario, por lo tanto para la sección transversal del bobinado secundario tenemos:

$$S_1 = I_1/D$$

$$S_2 = S_1$$

Reemplazando los valores queda:

$$S_2 = 6A/8,33A \quad S_2 = 0,72\text{cm}^2$$

Según la tabla para conductores esmaltados, el calibre del conductor con la sección mayor a  $0,72\text{cm}^2$  sería:  $0,82\text{cm}^2$  correspondiente a un conductor número 18 AWG (American Wire Gauge) estandarizado.

## **2.17. Elaboración del carrete de aislamiento y soporte de las bobinas.**

Para que las bobinas estén aisladas eléctricamente con respecto al núcleo, y tengan la suficiente rigidez y solidez se debe elaborar un carrete con un material aislante y que permita fluir libremente las líneas magnéticas que atraviesan el núcleo, para el efecto existen varios materiales adecuados como polímeros de PVC, fibra de vidrio y papeles con fibras especialmente diseñados para la parte eléctrica.

Para la prueba y ensayo en el laboratorio se elabora el carrete con papel NOMEX, que tiene propiedades eléctricas esenciales y permite un buen flujo de líneas magnéticas con un porcentaje de pérdidas depreciables en los cálculos y así, de esta manera obtener resultados con un porcentaje de error permisibles.



Fig. Papel diamantado (Nomex)

Para la elaboración se toman las medidas de la tira central del núcleo del transformador y además se adjunta una medida más que sería la altura, de manera técnica se realizan las pre-formas para dar un buen acabado y sujeción del mismo.

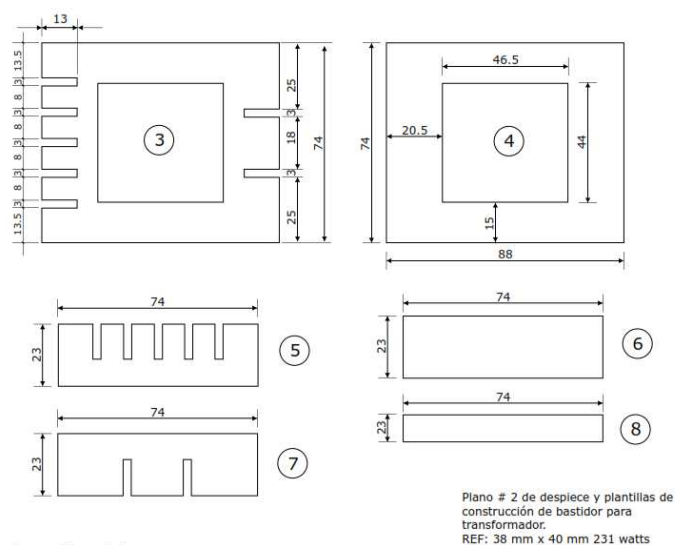


Fig. Diseño práctico de pre-formas

## **2.18. Arrollamiento del alambre de cobre.**

Para iniciar el arrollamiento de las bobinas, tanto primaria como secundaria, se inicia esta con la bobina primaria, teniendo en cuenta el giro y punto de inicio, para efecto se toma como referencia el giro de las manecillas del reloj.

Una vez terminada la última vuelta de la espira, se recubre con una tira de papel nomex estirando firmemente y sujetándolo con papen adhesivo, posterior a este se inicia el enrollado del secundario teniendo en cuenta las observaciones que se dieron para la bobina primaria.

Finalmente al terminar la última vuelta se sujeta con firmeza las bobinas utilizando varias tiras de papel nomex con el fin de dar la rigidez requerida, una vez hecho lo anterior se adhieren a los alambres los cables necesarios para las respectivas conexiones en los tableros de prueba y ensayo.



Fig. Enrollamiento del alambre en el carrete.

Después de haber terminado la elaboración de la parte activa de este transformador se procede al llenado de las láminas que forman el núcleo de tal

manera que quepan todas y uniformemente teniendo la precaución de no dañar la base de la bobina y por ende formar un corto entre espiras, lo que malograría el transformador, y por último se sella con un baño de barniz dieléctrico para evitar ruidos innecesario provocado por las oscilaciones magnéticas en las lámina, y entre espiras de alambre y quedaría listo para el posterior ensayo.

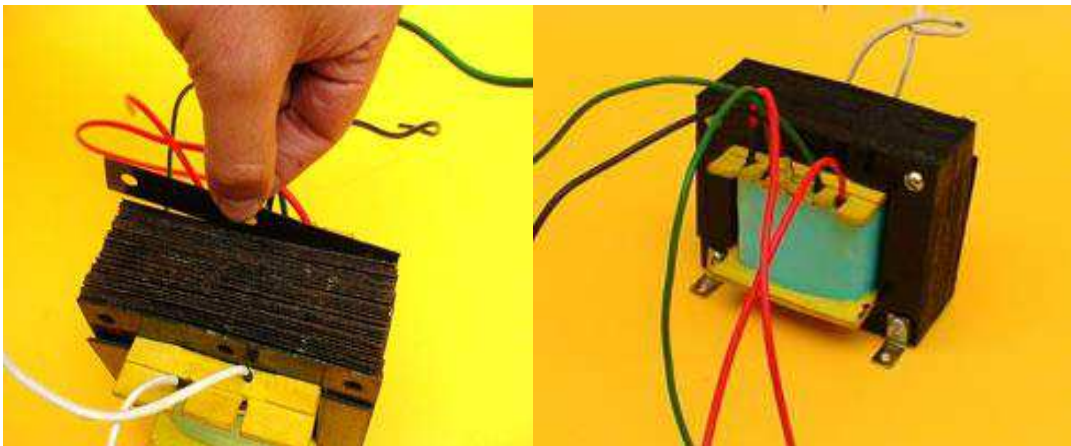


Fig. Insertando las l y barnizado de las láminas.

## **2.19. Elaboración de la parte activa para el transformador con núcleo Toroidal.**

Para los respectivos cálculos de área del núcleo se emplean las expresiones antes descritas, la variación se denotará en que los lados de la sección del núcleo no serán iguales, esto es debido a la forma de elaboración del núcleo ya que este es elaborado en forma de espiral.



Fig. Núcleos toroidal con lamina de grano orientado

## **2.20. Ensayo de laboratorio con núcleo Toroidal y potencia útil.**

Para la prueba del núcleo toroidal, se debe tener los siguientes parámetros de la estructura del elemento sujeto a experimento.

### **d) Dimensiones de los lados del núcleo:**

$$A= 6\text{cm y } B= 3,33\text{cm}$$

### **e) Área o sección del núcleo (S): $S=A*B$**

$$S= (6*3,33) \text{ cm } S= 20\text{cm}^2$$

### **f) Potencia útil : $P= S^2$**

$$P= (20)^2 P= 400\text{wt.}$$

## **2.21. Elaboración de la parte activa del transformador.**

Con los datos anteriores se realizan los cálculos para hallar el número de espiras y dimensión del calibre del conductor tanto para el primario como para el secundario del transformador.

Para el bobinado primario según la expresión descrita en el modelo anterior sería:

$$N_1 = \frac{V_1}{f * S * B * 4.4 * 10^{-8}}$$

Y que para el ensayo se tomará como tensión de referencia en primario y secundario 12vac, denotándonos que el transformador tendría una relación de

transformación de 1:1, conocida también como de aislamiento y con similares características al núcleo acorazado.

Sustituyendo los valores en la expresión anterior:

$$N_1 = \frac{12v}{60\text{hz} * 20\text{cm}^2 * 10000 * 4.4 * 10^{-8}}$$

$$N_1 = 22,7 \text{ espiras.}$$

$$\text{Dónde: } N_2 = N_1$$

## **2.22. Corriente máxima que circulará por el bobinado primario.**

Para determinar la intensidad de corriente que circulará por el enrollamiento primario se utiliza la siguiente expresión:

$$I_1 = P/V_1$$

Sustituyendo los valores tenemos:

$$I_1 = 400\text{w}/12\text{v} \quad I_1 = 33,3\text{A}$$

Para efectos de la prueba en el laboratorio se tomará como intensidad de corriente sin llegar a saturar el núcleo, un cuarto de la corriente máxima, con lo que la densidad de corriente para este núcleo será de:

$$D = 8,33 \text{ A /cm}^2$$



### **2.23. Sección transversal del conductor para el enrollamiento primario.**

Para determinar la sección transversal del conductor del primario se toma como referencia la densidad de corriente que circula por  $\text{cm}^2$  en el núcleo y ajustando a la necesidad de manejar una corriente que pueda ser medida con los instrumentos en los módulos de práctica del laboratorio, de manera que será suficiente una corriente de 6A en el conductor del primario, por lo tanto para la sección transversal del bobinado primario tenemos:

$$S_1 = I_1/D$$

Reemplazando los valores queda:

$$S_1 = 6A/8,33A \quad S_1 = 0,72\text{cm}^2$$

Según la tabla para conductores esmaltados, el calibre del conductor con la sección mayor a  $0,72\text{cm}^2$  sería:  $0,82\text{cm}^2$  correspondiente a un conductor número 18 AWG (American Wire Gauge) estandarizado.

### **2.24. Elaboración de la parte activa del secundario del transformador.**

Como se trata de un transformador que tiene una relación de transformación 1:1, los datos arrojados que sirvieron para determinar los valores en el primario, también servirán para hallar los datos del secundario.

Con los datos anteriores se hallaron el número de espiras y dimensión del calibre del conductor.

Expresión anterior:

$$N_1 = \frac{12v}{60hz * 20cm^2 * 10000 * 4.4 * 10^{-8}}$$

$$N_1 = 22,7 \text{ espiras.}$$

$$N_2 = N_1$$

### **2.25. Corriente máxima que circulará por el bobinado secundario.**

Para determinar la intensidad de corriente que circulará por el enrollamiento secundario se utiliza la expresión:

$$I_1 = P/V_1$$

Sustituyendo los valores tenemos:

$$I_1 = 400w/12v \quad I_1 = 33,3A$$

$$I_2 = I_1$$

Para efectos de la prueba en el laboratorio se tomará como intensidad de corriente sin llegar a saturar el núcleo un cuarto de la corriente máxima, con lo que la densidad de corriente para este núcleo será de:

$$D = 8,33 \text{ A /cm}^2$$

### **2.26. Sección transversal del conductor para el enrollamiento primario.**

Para determinar la sección transversal del conductor del secundario se toma como referencia la densidad de corriente que circula por cm<sup>2</sup> en el núcleo y ajustando a la necesidad de manejar una corriente que pueda ser medida con

los instrumentos en los módulos de práctica del laboratorio, de manera que será suficiente una corriente de 6A en el conductor del secundario, por lo tanto para la sección transversal del bobinado secundario tenemos:

$$S_1 = I_1/D$$

$$S_2 = S_1$$

Reemplazando los valores queda:

$$S_2 = 6A/8,33A \quad S_2 = 0,72cm^2$$

Según la tabla para conductores esmaltados, el calibre del conductor con la sección mayor a 0,72cm<sup>2</sup> sería: 0,82cm<sup>2</sup> correspondiente a un conductor número 18 AWG (American Wire Gauge) estandarizado.

## **2.27. Elaboración del carrete de aislamiento y soporte de las bobinas.**

Para que las bobinas estén aisladas eléctricamente con respecto al núcleo, y tengan la suficiente rigidez y solidez se debe elaborar un carrete con un material aislante y que permita fluir libremente las líneas magnéticas que atraviesan el núcleo, para el efecto existen varios materiales adecuados como polímeros de PVC, fibra de vidrio y papeles con fibras especialmente diseñados para la parte eléctrica.

Para la prueba y ensayo en el laboratorio se elabora el carrete con papel NOMEX, que tiene propiedades eléctricas esenciales y permite un buen flujo de líneas magnéticas con un porcentaje de pérdidas depreciables en los cálculos y así, de esta manera obtener resultados con un porcentaje de error permisibles.



Fig. Papel diamantado (Nomex)

Para realizar un modelo de carrete aislante, capas de sujetar el alambre al núcleo, se procede de manera distinta con respecto al núcleo acorazado, debido que presenta una dificultad al momento de ingresar el carrete al núcleo, por lo consiguiente, la manera de colocar un elemento que aisle el núcleo con respecto al alambre es enrollando tiras de material aislante en su núcleo.



Fig. Núcleo toroidal aislado con papel.

### **2.28. Arrollamiento del alambre de cobre.**

Para iniciar el arrollamiento de las bobinas, tanto primaria como secundaria, se debe iniciar con la bobina primaria, teniendo en cuenta el giro de enrollado y el punto de inicio, para efecto se toma como referencia el giro de las manecillas del reloj.

A diferencia del método de bobinado para los núcleos acorazado, la técnica empleado en un núcleo toroidal es diferente, ya que para poder realizarlo se necesita de maquinaria especializada, sin embargo por efecto de prueba y ensayo, la bobinada se lo hará de manera artesanal.



Fig. Enrollando el conductor en el núcleo toroidal.

Una vez terminada la última vuelta de la espira, se recubre con una tira de papel nomex o vinilo según sea el caso, estirando firmemente y sujetándolo con papen adhesivo, posterior a este se inicia el enrollado del secundario teniendo en cuenta las observaciones que se dieron para la bobina primaria. Finalmente al terminar la última vuelta se sujeta con firmeza las bobinas utilizando varias tiras de papel nomex y con cintas de vinilo con el fin de dar la rigidez requerida, una vez hecho lo anterior se adhieren a los alambres los cables necesarios para las respectivas conexiones en los tableros de prueba y ensayo.

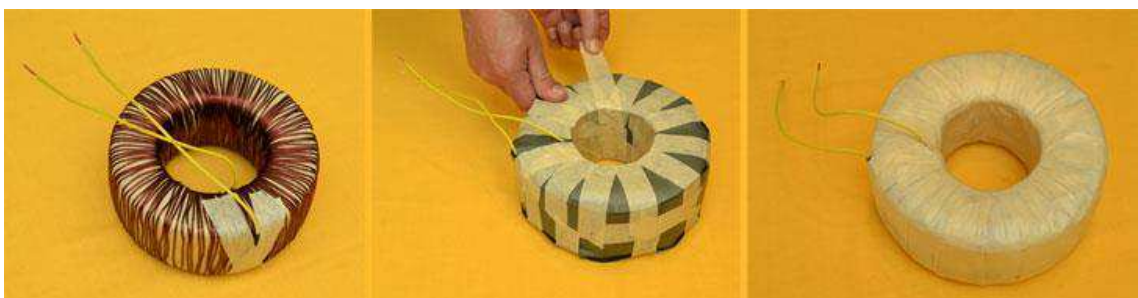


Fig. Finalizando el armado del transformador con núcleo toroidal

Y por último se sella con un baño de barniz dieléctrico para evitar ruidos innecesarios provocados por las oscilaciones magnéticas en las láminas, y entre espiras de alambre quedando listo para el posterior ensayo.

### **2.29. Cálculos para determinar las pérdidas en los núcleos a prueba.**

En primer lugar se debe saber cuáles son las pérdidas:

- d) Pérdidas por corrientes de Foucault.
- e) Pérdidas por histéresis.
- f) Pérdidas en el cobre del bobinado.

Las pérdidas por las corrientes de Foucault ( $P_f$ ) y por histéresis ( $P_h$ ), son las llamadas pérdidas en el hierro.

Se debe recordar que cuando un transformador está en vacío, la potencia que medimos en transformador con circuito abierto se compone de la potencia perdida en el circuito magnético y la pérdida del cobre en los bobinado.

Al ser nula la intensidad en el secundario ( $I_2=0$ ), no aparece en él pérdidas de potencia; por otra parte al ser muy pequeña la intensidad del primario en vacío ( $I_0$ ) con respecto a la intensidad de carga ( $I_{2n}$ ), las pérdidas que se origina en el cobre del bobinado primario resultan prácticamente insignificante.

**2.30. Pérdidas en el hierro.**- Para el cálculo de las pérdidas en el hierro por las corrientes de Foucault, recurrimos a la expresión, que indica, que las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la inducción y al cuadrado de la frecuencia:

$$P_f = \frac{2.2 * f^2 * \beta_{max}^2 * \Delta^2}{10^{11}}$$

Dónde:

$P_f$ = Perdidas por corrientes de Foucault en W/kg

F= Frecuencia en Hz

$B_{max}$ = Inducción máxima en Gauss

$\Delta$ = espesor de la chapa magnética en mm.

Por lo tanto para calcular las perdidas en el hierro en el núcleo acorazado tendremos los siguientes datos:

- a) Chapa magnética con espesor de 0,35mm.
- b) Inducción magnética de 1tesla.
- c) Frecuencia de trabajo equivalente a 60Hz.

Reemplazamos valores:

$$P_f = \frac{2.2 * 60Hz^2 * 10000^2 * 0,35^2}{10^{11}}$$

$$P_f = \frac{2.2 * 3600 * 100000000 * 0,1225}{10^{11}}$$

$$P_f = 0,970 W/kg$$

Para calcular las perdidas en el hierro en un núcleo del tipo toroidal se tiene los siguientes datos:

- a) Chapa magnética con espesor de 0,33mm.
- b) Inducción magnética de 1tesla.
- c) Frecuencia de trabajo equivalente a 60Hz.

Reemplazamos valores:

$$P_f = \frac{2.2 * 60Hz^2 * 10000^2 * 0,33^2}{10^{11}}$$

$$P_f = \frac{2.2 * 3600 * 100000000 * 0,1089}{10^{11}}$$

$$P_f = 0,862 \text{ W/kg}$$

Cabe indicar que los núcleos están elaborados por planchas magnéticas de grano orientado pero con diferente espesor, lo que se evidencia en los resultados de las expresiones anteriores, siendo el de menor pérdida por corriente de Foucault aquella que tiene menor espesor (0,33mm;  $P_f = 0,862 \text{ W/kg}$ ).

**2.31. Para el cálculo de histéresis magnética**, la podemos obtener a través de la expresión de Steinmetz:

$$Ph = K_h * f * \beta_{max}^n$$

Dónde:

Kh= coeficiente de cada material

F= frecuencia en Hz

B<sub>max</sub>= inducción máxima el tesla

Ph= pérdida por histéresis en W/kg

N=1,6 para B < a 1 tesla o 2 para B > a 1 tesla (1tesla = 10<sup>4</sup> gauss)

Para calcular las pérdidas en el hierro en un núcleo del tipo acorazado se tiene los siguientes datos:

- a) Kh= 0,007
- b) F= 60Hz
- c) B<sub>max</sub>= 10000
- d) Ph= ?



a)  $N=1,6$

b) Peso del hierro = 1,5kg

Reemplazamos valores en la ecuación de Steinmetz:

$$Ph = 0.007 * 60 * 1,6^2$$

$$Ph = 1,0752W/kg$$

Por lo tanto, la perdida por histéresis del núcleo acorazado es:

$$Pht = Ph * \text{Peso del hierro}$$

$$Pht = 1,0752 * 1,5$$

$$Pht = 1,6128W$$

Para calcular las perdidas en el hierro en un núcleo del tipo Toroidal se tiene los siguientes datos:

e)  $Kh= 0,003$

f)  $F= 60\text{Hz}$

g)  $B_{\text{max}}= 10000$

h)  $Ph= ?$

c)  $N=1,6$

d) Peso del hierro = 1,5kg

Reemplazamos valores en la ecuación de Steinmetz:

$$Ph = 0.003 * 60 * 1,6^2$$

$$Ph = 0,4608W/kg$$

Por lo tanto, la perdida por histéresis del núcleo acorazado es:

$$P_{ht} = P_h * \text{Peso del hierro}$$

$$P_{ht} = 0,4608 * 1,5$$

$$P_{ht} = 0,6912W$$

Entonces las pérdidas de potencia en el hierro o en el núcleo magnético, serán la suma de las perdidas por corriente de Foucault ( $P_f$ ) y por Histéresis ( $P_h$ )

$$P_{Fe} = P_f + P_h$$

Que para el núcleo del tipo acorazado seria:

$$P_f = 0,970 W/kg \quad y \quad P_{ht} = 1,6128W$$

$$P_{Fe} = 0,970 + 1,6128$$

$$P_{Fe} = 2,5828W$$

Y para el núcleo del tipo toroidal será:

$$P_f = 0,862 W/kg \quad y \quad P_{ht} = 0,6912W$$

$$P_{Fe} = 0,862 + 0,6912$$

$$P_{Fe} = 1,5532W$$

Queda claramente demostrado que mediante los cálculos el núcleo del tipo TOROIDAL le lleva ventaja al momento de evidenciar las perdidas en el hierro, disipando menos potencia en forma de calor.

**2.32. Para el cálculo de las pérdidas del cobre en el bobinado**, se debe tener el valor resistivo en ohmios del bobinado primario, donde el valor medido con un óhmetro en ambos núcleos es de 0,02 ohm; por lo tanto la potencia será:

$$P_{CU} = R_{CU} * (I_1)^2$$

$$P_{CU} = 0,02\Omega * 6A^2$$

$$P_{CU} = 0.72W$$

Lo que quiere decir que las pérdidas en el cobre son las mismas en el núcleo acorazado como en el toroidal, esto es debido a que en la elaboración de las bobinas primarias, se usó la misma cantidad de cobre porque el área de la sección transversal de los núcleos debió ser de las mismas dimensiones con el fin de demostrar sus características de forma aritmética y en ensayo de laboratorio.

Por lo tanto las perdidas absoluta en un trasformador en vacío seria la sumatorias de las pérdidas de potencias en el hierro y las pérdidas de potencie en el cobre con los núcleos en ensayo.

Quedando de la siguiente manera la expresión:

$$P_T = P_{Fe} + P_{CU}$$

Que para el núcleo del tipo acorazado seria:

$$P_{Fe} = 2,5828W \quad y \quad P_{CU} = 0.72W$$

$$P_T = 2,5828 + 0,72$$

$$P_T = 3,30W$$

Y para el núcleo del tipo toroidal será:

$$P_{Fe} = 1,5532W \quad \text{y} \quad P_{Cu} = 0.72W$$

$$P_T = 1,5532 + 0,72$$

$$P_T = 2,27W$$

Lo expresado mediante la valoración de los resultados obtenido realizando los cálculos de pérdidas de potencia en el hierro y pérdidas de potencia en el cobre, en núcleos formados con láminas magnéticas de grano orientado en núcleos del tipo toroidal como para el de tipo acorazado, permite obtener la siguiente referencia técnica descrita en la siguiente tabla de valores .

<b>TENSION DE REFERENCIA</b> <b>12V, CORRIENTE DE</b> <b>TRABAJO 6A</b>	<b>NÚCLEO ACORAZADO</b>	<b>NÚCLEO TOROIDAL</b>
PERDIDA EN EL HIERRO	2,5828W	1,5532W
PERDIDA EN EL COBRE	0.72W	0.72W
<b>TOTAL DE PERDIDAS</b>	<b>3,30W</b>	<b>2,27W</b>

Dejando demostrado como referencia técnica que el núcleo del tipo toroidal es más eficiente.

## **HIPÓTESIS.**

El uso de núcleos magnético de tipo toroidal incidirá en el beneficio de los transformadores de alta y media tensión con núcleo magnético del tipo acorazado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí campus Chone en el periodo octubre 2013 hasta marzo 2014”

## **VARIABLES.**

### **Variable dependiente.**

El uso de núcleos magnético de tipo toroidal.

### **Variable independiente.**

El beneficio de los transformadores de media y baja tensión con núcleo magnético del tipo acorazado.

### **Termino de relación.**

Incidirá

## **METODOLIGIA.**

### **Tipo de investigación.**

Para desarrollar este trabajo investigativo, se aplicarán modalidades de la investigación de campo y documental, donde la investigación de campo, se desarrollara en los predios de la “Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí” campus Chone.

### **Nivel de la investigación.**

Partiendo de los principios generales, se emplea el método analítico para descomponer el todo y profundizar en el problema, además el método sintético para lograr una mejor comprensión e interpretación de la información recopilada; y finalmente el método propositivo que permitirá dar visos de solución al problema planteado inicialmente.

### **Métodos.**

El método que se aplicó en esta investigación, es el método hipotético deductivo.

### **Técnicas de recolección de la información.**

Las técnicas que se utilizaran son las de observación, muestreo y encuesta.

### **Población y muestra.**

**La población**, está formada por estudiantes e ingenieros de la carrera de ingeniería eléctrica de la “Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí” campus Chone.

**La muestra**, será diseñada en forma de encuesta.

Lugar	Población	Muestra	Porcentaje
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí Extensión Chone	Estudiantes	55	100%
	Total	55	100%

### **MARCO ADMINISTRATIVO.**

#### **Recursos Humanos.**

Los recursos Humanos con los que se constara serán el investigador, el personal de mantenimiento y estudiantes de la carrera de eléctrica de la “Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí campus Chone.”

#### **Recurso financiero.**

Los recursos financieros generales serán aportados por los investigadores, tales como:

PRESUPUESTO. Referencial.

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	V. UNITARIO	V. PARCIAL
1	10	Viajes a la ciudad de Portoviejo	\$ 10,00	\$ 100,00
2	10	Viajes a la ciudad de Manta	\$ 10,00	\$ 100,00
3	4	Viajes a la ciudad de Guayaquil	\$ 20,00	\$ 80,00
4	5	Viajes a la ciudad de Quito	\$ 20,00	\$ 100,00
5	3	Viajes a la ciudad de Cuenca	\$ 30,00	\$ 90,00
6	15	Hospedaje distintas ciudades	\$ 25,00	\$ 375,00
7	650	Horas de uso de internet	\$ 0,50	\$ 325,00
8	6	Resmas de papel bond A4	\$ 4,50	\$ 27,00
9	8	Cartuchos tinta negro y color	\$ 38,00	\$ 304,00
10	10	Discos magnéticos CD'S	\$ 0,50	\$ 5,00
11	25	Alquiler de Osciloscopio	\$ 40,00	\$ 1.000,00
12	4	Elementos elect. de prueba	\$ 280,00	\$ 1120,00
13	1	Accesorios de conexión	\$ 240,00	\$ 240,00
14	1	Imprevistos	\$ 600,00	\$ 600,00
15	1000	Fotocopias	\$ 0,03	\$ 30,00
16	1	Encuadernados y empastados		\$ 240,00
		TOTAL		\$ 4.736,00

**RESULTADOS OBTENIDOS, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.**

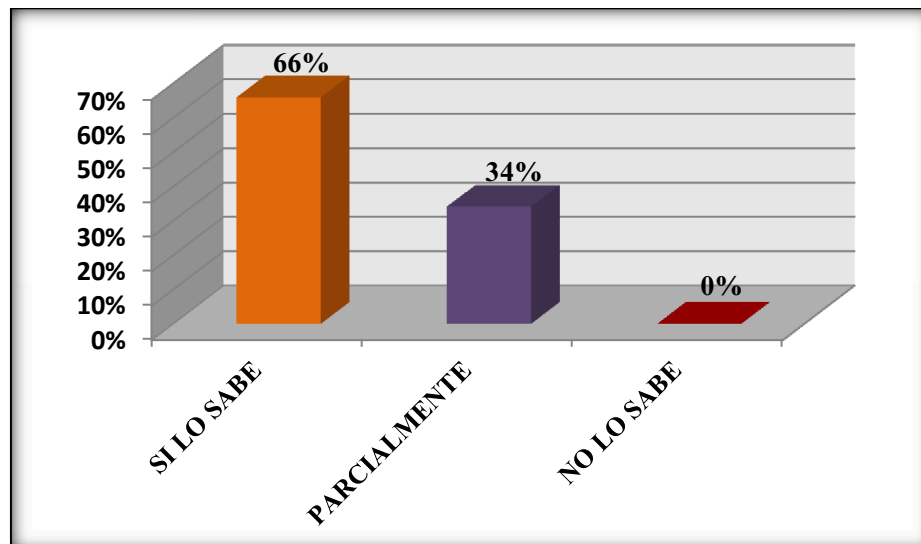
**ENCUESTA DIRIGIDA:**

Los siguientes datos que se obtuvieron durante la recolección de la información sirvieron para la estructura de la comprobación de la hipótesis y fue dirigida para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica paralelos "A" y "B" de la "Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí" Campus Chone.



# 1 ¿Sabe usted el significado de transformador eléctrico?

RESPUESTAS NIVELES	CANTIDAD DE RESPUESTAS	PORCENTAJES
SI LO SABE	29	66%
PARCIALMENTE	15	34%
NO LO SABE	0	0%
ENCUESTADOS	44	100%
TOTAL DE ESTUDIANTES:	44	



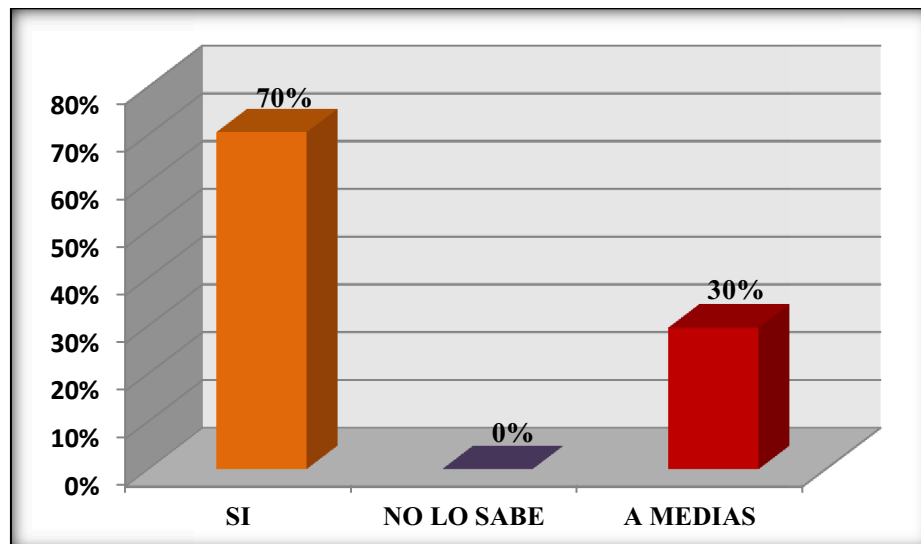
Fuente: Estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Realizado por: Límber Mesías

**Análisis e interpretación,** el trabajo investigativo nos indica, que el 66% de los encuestados si sabe sobre el significado de transformador eléctrico, el 34% parcialmente cree saberlo, y un 0% piensa totalmente que no sabe; con estos datos observamos que los encuestados tienen vasto conocimiento sobre el tema.

## 2. ¿Conoce usted las partes que forman a un transformador eléctrico?

RESPUESTAS NIVELES	CANTIDAD DE RESPUESTAS	PORCENTAJES
SI	31	70%
NO LO SABE	0	0%
A MEDIAS	13	30%
ENCUESTADOS	44	
TOTAL DE ESTUDIANTES:	44	100%



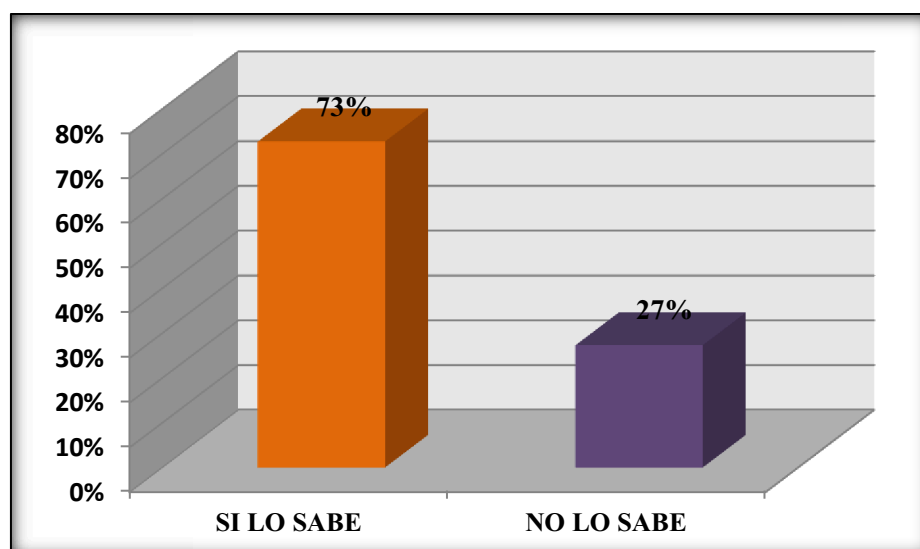
Fuente: Estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Realizado por: Límber Mesías

**Análisis e interpretación,** el trabajo investigativo nos indica, que el 70% de los encuestados si sabe sobre las partes que tiene un transformador, el 0% parcialmente cree saberlo, y un 30% piensa que lo sabe a media; con estos datos observamos que los encuestados tienen el suficiente conocimiento sobre el tema.

3. ¿Sabes cuáles son las pérdidas eléctricas que sufre el transformador eléctrico?

RESPUESTAS NIVELES	CANTIDAD DE RESPUESTAS	PORCENTAJES
SI LO SABE	32	73%
NO LO SABE	12	27%
ENCUESTADOS	44	100%
TOTAL DE ESTUDIANTES:	44	



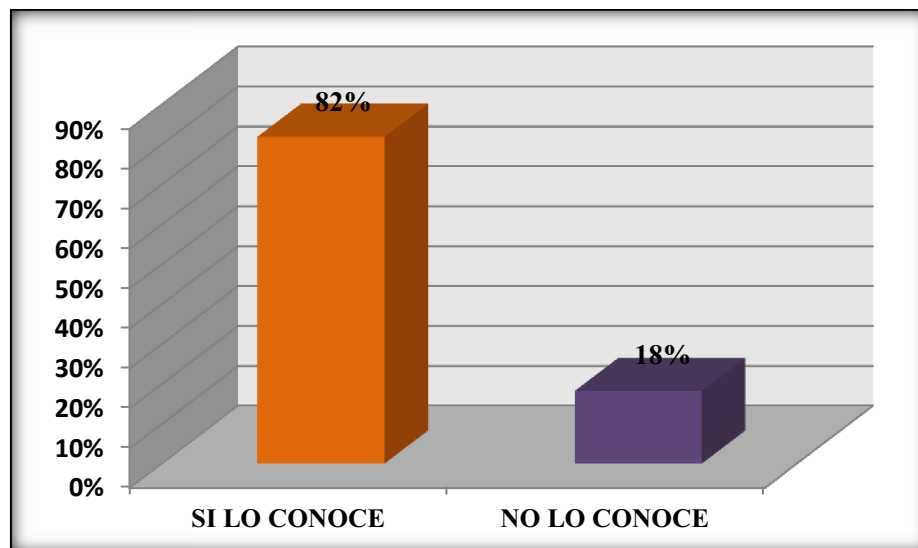
Fuente: Estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Realizado por: Límber Mesías

**Análisis e interpretación,** el trabajo investigativo nos indica, que el 73% de los encuestados si sabe sobre las Perdidas eléctricas que tiene un transformador, el 27% supone no saber; con estos datos observamos que existe una gran parte de los encuestados que desconocen sobre el tema.

#### 4. ¿Conoce usted lo que es un núcleo magnético?

RESPUESTAS NIVELES	CANTIDAD DE RESPUESTAS	PORCENTAJES
SI LO CONOCE	36	82%
NO LO CONOCE	8	18%
ENCUESTADOS	44	100%
TOTAL DE ESTUDIANTES:	44	



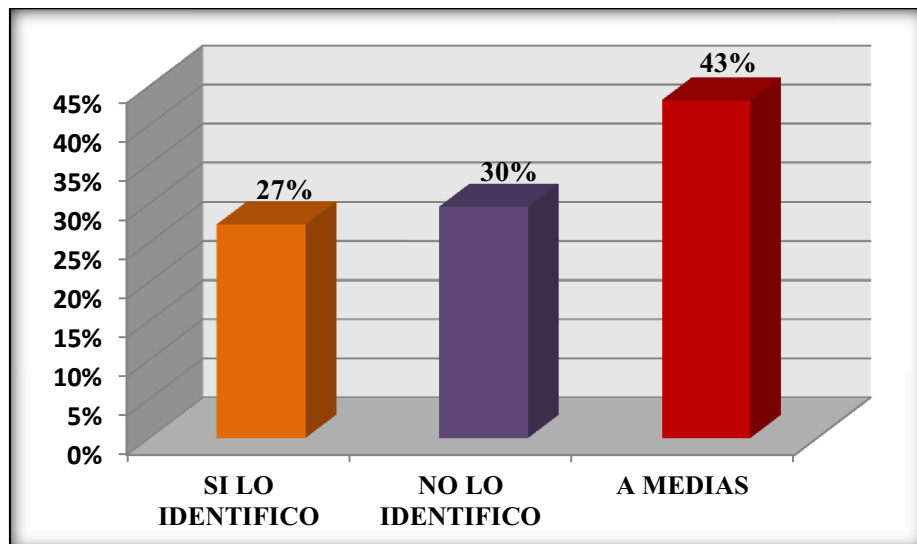
Fuente: Estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Realizado por: Límber Mesías

**Análisis e interpretación,** el trabajo investigativo nos indica, que el 82% de los encuestados si conoce sobre los núcleos magnéticos, el 18% supone no conocer; con estos datos observamos que existe una gran parte de los encuestados se les debe capacitar más sobre el tema.

5. ¿Identifica usted los tipos de núcleos magnéticos?:

RESPUESTAS NIVELES	CANTIDAD DE RESPUESTAS	PORCENTAJES
SI LO IDENTIFICO	12	27%
NO LO IDENTIFICO	13	30%
A MEDIAS	19	43%
ENCUESTADOS	44	
TOTAL DE ESTUDIANTES:	44	100%



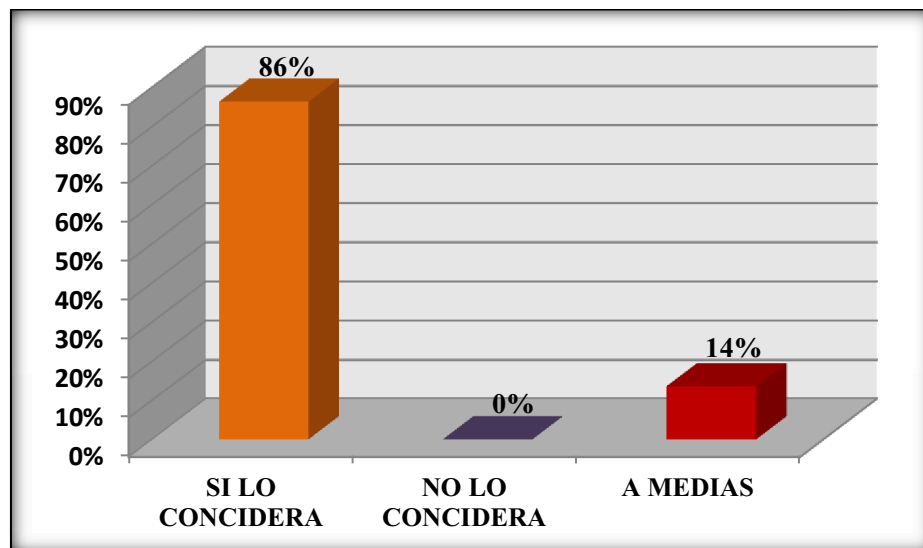
Fuente: Estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Realizado por: Límber Mesías

**Análisis e interpretación**, el trabajo investigativo nos indica, que el 27% de los encuestados si identifica los tipos de núcleos, el 30% no los identifica, y un 43% piensa que los identifica a media; con estos datos observamos que los encuestados aún tienen un vacío sobre el tema.

**6. ¿Considera usted que el laboratorio de la Universidad debería tener prototipos de núcleos magnéticos?**

RESPUESTAS NIVELES	CANTIDAD DE RESPUESTAS	PORCENTAJES
SI LO CONSIDERO	38	86%
NO LO CONSIDERO	0	0%
A MEDIAS	6	14%
ENCUESTADOS	44	
TOTAL DE ESTUDIANTES:	44	100%



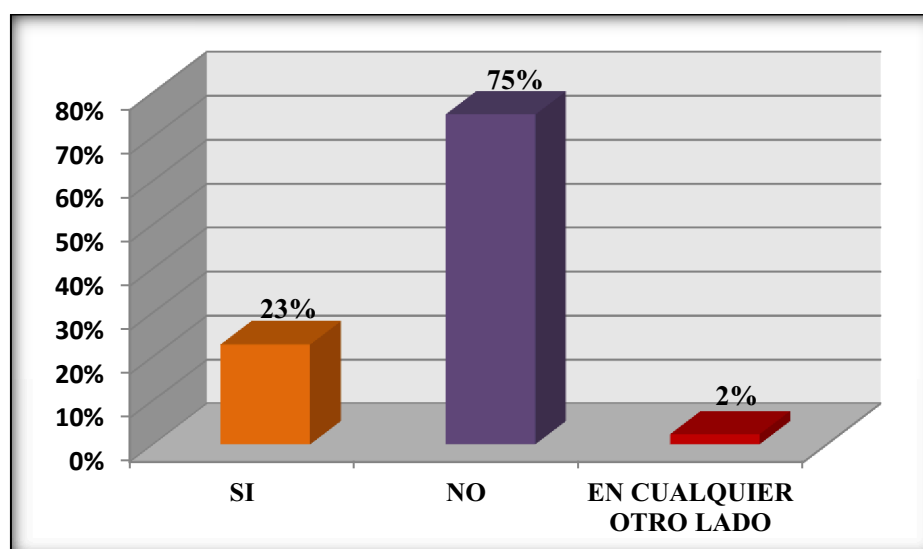
Fuente: Estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Realizado por: Límber Mesías

**Análisis e interpretación,** el trabajo investigativo nos indica, que el 86% de los encuestados considera que debería tener prototipos en el laboratorio; un 14% considera que no lo debe tener; con estos datos observamos que los encuestados tienen la predisposición de conocer más sobre los núcleos.

7. ¿Sabe usted si la extensión universitaria tiene algún instrumento o texto técnicos que refiera sobre el uso de los núcleos magnéticos?:

RESPUESTAS NIVELES	CANTIDAD DE RESPUESTAS	PORCENTAJES
SI	10	23%
NO	33	75%
EN OTRO LADO	1	2%
ENCUESTADOS	44	
TOTAL DE ESTUDIANTES:	44	100%



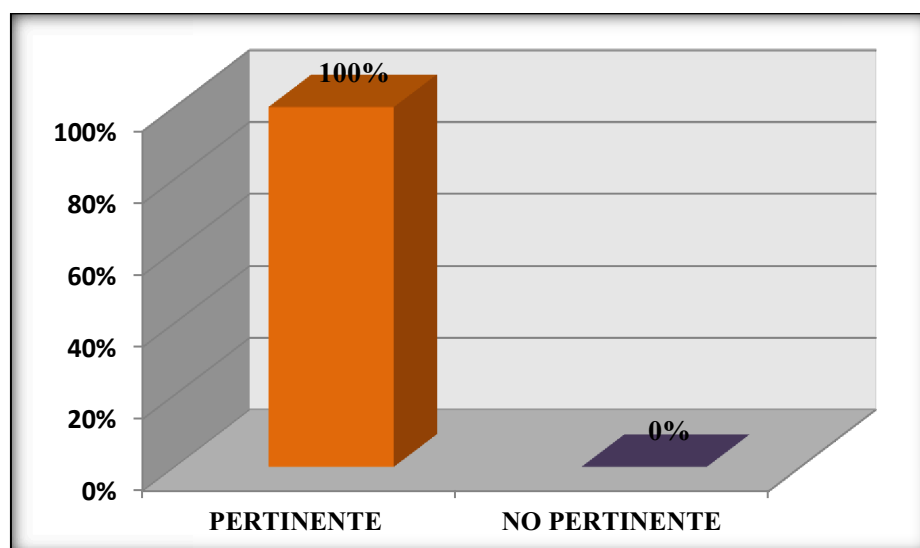
Fuente: Estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Realizado por: Límber Mesías

**Análisis e interpretación**, el trabajo investigativo nos indica, que el 23% de los encuestados considera que si hay algún instrumento o texto técnico en el campus universitario, el 75% considera que no existe, y el 2% supone que en cualquier otro lado ; con estos datos observamos que los encuestados no tienen datos fieles sobre los textos que en el campus reposan.

8. ¿Considera pertinente la elaboración de proyectos técnicos que beneficien al estudiantado y por ende a la comunidad universitaria?

RESPUESTAS NIVELES	CANTIDAD DE RESPUESTAS	PORCENTAJES
PERTINENTE	44	100%
NO PERTINENTE	0	0%
ENCUESTADOS	44	100%
TOTAL DE ESTUDIANTES:	44	



Fuente: Estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Realizado por: Límber Mesías

**Análisis e interpretación,** el trabajo investigativo nos indica, que el 100% de los encuestados considera pertinente la elaboración de proyectos técnicos que beneficien al estudiantado; con estos datos observamos que hay la disposición de seguir aportando a la universidad con elementos técnicos.



## **COMPROBACION DE LA HIPOTESIS.**

Una vez analizados e interpretados los resultados de las encuestas y comparados con los objetivos programados se pudo comprobar que la hipótesis planteada: “El uso de núcleos magnético de tipo toroidal incidirá en el beneficio de los transformadores de alta y media tensión con núcleo magnético del tipo acorazado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí campus Chone en el periodo octubre 2013 hasta marzo 2014”, SE CUMPLE, la misma que queda demostrada en la siguiente investigación de campo:

En la pregunta tres, de la encuesta aplicada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica el 73% respondió conocer cuáles son las pérdidas eléctricas que sufre el transformador pero no saber cómo compensarlas de manera técnica, por lo tanto el proyecto es viable con un alto porcentaje de fiabilidad, ya que con esta nueva herramienta técnica de consulta, se logrará aumentar el ahorro de la energía. En la pregunta número cinco, el 43% respondió que a medias puede identificar los tipos de núcleos para los transformadores, lo que también se cumple lo propuesto anteriormente y el proyecto sigue siendo viable.

Además en la pregunta número seis, de la encuesta aplicada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica, el 86% considera que debe existir prototipos de núcleos y en la pregunta número ocho, el 100% del total de los encuestados expresó que es de gran importancia seguir aportando con elementos que ayuden a la mejora de cualquier área técnica en la Universidad.

De esto se puede reconocer que con el proyecto propuesto, tendrá incidencia positiva en la implementación tanto en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica como a la “Universidad Laica Eloy Alfaro” de Manabí extensión Chone.

## CAPITULO III

### **3. ACCIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES DE ALTA Y MEDIA TENSIÓN CON EL USO DE NÚCLEOS TOROIDAL.**

Una vez realizado las pruebas de ensayo con los núcleos referidos en los capítulos anteriores, es importante evidenciar las tareas que lleven al mejoramiento de la calidad de la energía mediante la aplicación de estas acciones, ya que ha quedado en evidencia técnica que el núcleo elaborado en forma de toroide con lamina magnética de grano orientado es más eficiente al tener menor pérdida de potencia en el hierro por efecto de la inducción.

#### **3.1. Características principales del núcleo del tipo toroidal.**

Los transformadores con núcleo de tipo toroidal se presentan como ningún otro tipo, el diseño es ideal de cómo debe ser un transformador. Faraday diseñó y bobinó el primer transformador sobre un núcleo toroidal.

Los núcleos de tipo toroidal que se fabrican, están contruidos con plancha magnética de grano orientado, de muy bajas pérdidas y alta inducción de saturación que después de ser tratada térmicamente, permite alcanzar valores de saturación de hasta 16.000 gauss.

En el transformador toroidal el flujo magnético queda concentrado uniformemente en el núcleo y debido a la ausencia de entrehierros, se eliminan vibraciones que son provocados por las oscilaciones de los electrones en los materiales magneto motriz. Asimismo, como el bobinado de la parte activa se reparte por toda la superficie del núcleo, desaparece prácticamente el ruido provocado por la magneto fricción y favorece la disipación del calor.

Estos detalles permiten mejorar sustancialmente las características y rendimientos de los transformadores con núcleos toroidal, respecto a los convencionales.

Por otro lado existen más ventajas técnicas al usar este tipo de núcleos como son las siguientes:

- a)** Irradiación del campo magnético alrededor del transformador, siendo este muy bajo por lo que no afecta a los circuitos electrónicos sensibles, ya sea analógica o digital.
- b)** Pérdidas muy bajas (Phe), lo que da un menor consumo de corriente debido a que la carga en vacío es sustancialmente pequeña.
- c)** Tamaño reducido, generalmente entre 40% y 60% más pequeño y más ligero que los transformadores convencionales, facilidad de montaje, alto rendimiento, y bajo nivel de ruido.
- d)** Flexibilidad de diseño, a diferencia de los convencionales, las formas toroidal se adquiere mucho más adaptable a las necesidades de los proyecto.

### **3.2. Campos de aplicación de los transformadores con núcleo de tipo toroidal.**

Las aplicaciones del transformador toroidal son muy diversas y entre ellas podemos destacar las siguientes:

- a)** Electrónica de consumo, donde los nuevos dispositivos necesitan de fuentes de alimentación libre de ruido e interferencia externos.
- b)** Electro medicina, debido a que trabajan con precisión y las interferencias externas provocarían daños al equipo.

c) Convertidores, requieren de elementos que entreguen el 100% de su potencial.

d) Sistemas de alimentación, siendo cada día más usado a nivel mundial por las empresas que suministran energía a la población, porque han visto en él un mejor rendimiento en la eficiencia de trabajo en redes de distribución, teniendo menos pérdida en la entrega de energía.

e) Seguridad, por su nivel bajo de pérdidas de energía, y baja saturación evitando el recalentamiento de la unidad cumple con las más altas normas de calidad exigida por las empresas reguladoras.

Es por esto que una de las soluciones para el mejoramiento de la calidad de la energía es usar los transformadores que contengan núcleo del tipo toroidal, así disminuirán aún más las pérdidas negras que las distribuidoras mantienen con las generadoras estatales y privadas.

Por otro lado, esta propuesta se realiza mediante el análisis de los resultados de esta investigación, manteniendo los lineamientos que la Universidad y la carrera de Ingeniería Eléctrica exige a los egresados.

## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES.

Al concluir el proceso de la investigación, se considera elaborar un sumario con conclusiones ideales.

- Mediante el análisis de los núcleos magnéticos de tipo toroidal se pudo constatar las bondades técnicas que presta el uso en los transformadores.
- Al determinar el beneficio del uso de núcleos magnético de tipo toroidal mediante simulación con software de aplicación en transformadores de alta y media tensión, se pudo corroborar lo expresado en los cálculos matemáticos.
- Se logró representar la estructura del transformador de alta, media y baja tensión con el fin de esclarecer las características técnicas y con esta hacer las comparaciones y mediciones.
- Con los resultados obtenidos en la investigación se logró seleccionar el tipo de núcleo magnético apropiado para los transformadores de alta, media y baja tensión que a criterio del proponente de esta investigación sería una buena solución para aliviar las pérdidas de energía que provocan los transformadores en las redes eléctricas.
- Una vez hecho el ensayo se procederá a presentar y socializar el presente trabajo a las autoridades para su posterior aplicación.

## **5. RECOMENDACIONES.**

- Se debe continuar con el análisis de los núcleos magnéticos de tipo toroidal, con el fin de demostrar de manera técnicas que hay más prestaciones de uso y no tan solo en los transformadores.
  
- Realizar convenios con carreras de Informáticas con el fin de elaborar software de aplicación en transformadores de alta, media y baja tensión, para realizar simulaciones y con este poder corroborar lo expresado en los cálculos matemáticos.
  
- Dotar al laboratorio con núcleos de distintos tamaños y tipos, para representar la estructura del transformador en alta, media y baja tensión con el fin de esclarecer las características técnicas
  
- Realizar capacitaciones constantes a los docentes y estudiantes con conocimientos innovadores y con esto lograr un alto criterio investigativo, favoreciendo a la sociedad con profesionales probos.
  
- Que el presente trabajo de investigación una vez culminado se presente y socialice a las autoridades para su posterior aplicación y sea una herramienta más para el beneficio de todos.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

BALCELLS, Josep, Eficiencia en el uso de la Energía Eléctrica, Editorial de la Universidad Politécnica de Cataluña, España 2012.

BETTEGA Eric Armónicos: rectificadores y compensadores activos; Enero 2000

CALVAS Roland Las perturbaciones eléctricas en BT; Enero 2001

CALVAS Roland Perturbaciones en los sistemas electrónicos y esquemas de conexión a tierra; Junio 1998

COLLOMBET, Christian Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento; Septiembre 1999

DORANTES, González, Automatización y Control. Prácticas de Laboratorio, Editorial McGraw-Hill 2004.

DURAN, José, Electrónica, editorial Medes S.A., Barcelona 2009.

FERRACCI, Philippe, La calidad de la energía eléctrica Original francés: octubre 2001 Versión español; octubre 2004

FIORINA Jean Noël Onduladores y armónicos (caso de cargas no lineales); Junio 1992

MARTIN, Ricardo, Manual Práctico Electricidad, Editorial de Cultura S.A., Colombia 2004.

SCHONEK Jacques Las peculiaridades del 3er armónico; Julio 2000

## **6.1. WEB GRAFÍAS.**

<http://electronicafacil.net/tutoriales/Fuentes-alimentacion.php>

[http://recursostic.educacion.es/newton/web/Documentacion\\_4D/fisica/electromagnetismo/Induccion.htm](http://recursostic.educacion.es/newton/web/Documentacion_4D/fisica/electromagnetismo/Induccion.htm)

[http://asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_induc\\_electromagnetica/ke\\_induc\\_electromagnetica\\_1.htm](http://asifunciona.com/electrotecnia/ke_induc_electromagnetica/ke_induc_electromagnetica_1.htm)

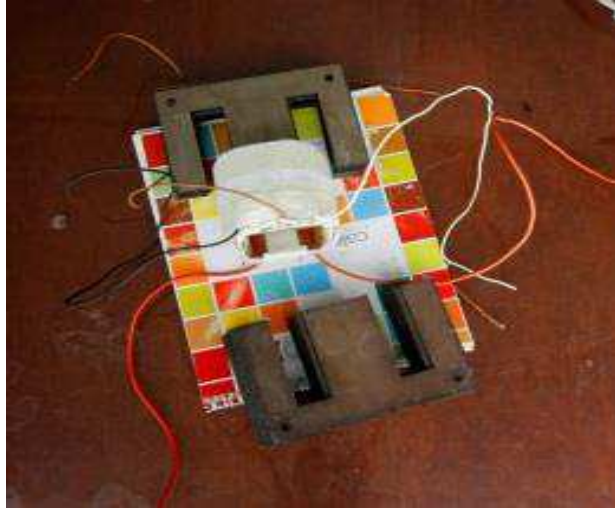
<http://buenastareas.com/ensayos/Transformadores-Toroidales/7029463.html>.



# ANEXOS

## ANEXO 1

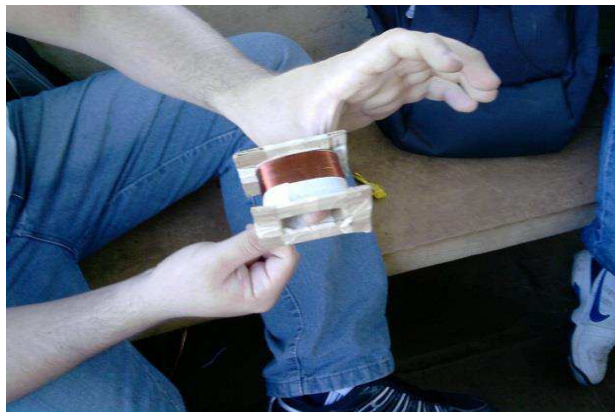
Disponiendo el armado de núcleo de tipo acorazado



Materiales y herramientas empleadas

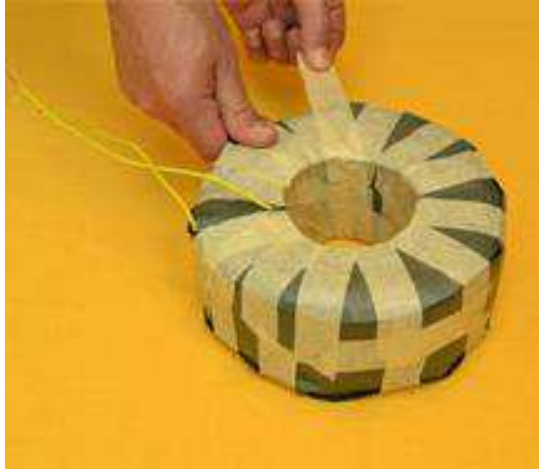


Enrollando el conductor de cobre en la formaleta



## ANEXO 2

Preparando el núcleo de tipo toroidal



Introduciendo el conductor de cobre

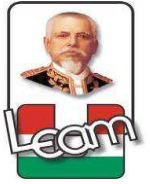


Enrollado de cobre terminado



# UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

## EXTENSIÓN CHONE



**Encuesta dirigida a:** Los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la extensión Chone.

**OBJETIVO:** Establecer que el uso de núcleos magnético de tipo toroidal y su incidencia en transformadores de alta y media tensión con núcleo magnético del tipo acorazado en la escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí campus Chone en el periodo octubre 2013 hasta marzo 2014, es una solución factible para disminuir las pérdidas de energía empleando la mejor tecnología en la elaboración de los transformadores.

**INSTRUCCIONES:** Mucho agradeceré se sirva contestar las siguientes preguntas marcando con (X) en la, o las opciones que usted crea pertinente.

### 1. DATOS INFORMATIVOS

1.1.Lugar y fecha: Chone, 23 de junio del 2014

1.2.Ubicación: Rural ( ) Urbana ( X ) Urbana marginal ( )

1.3.Parroquia: Chone.

1.4.Autor: Límber Mesías Zambrano.

### 2. CUESTIONARIO

2.1.¿Sabe usted el significado de transformador eléctrico?

Si lo sabe ( ) Parcialmente ( ) No Sabe ( )

2.2.¿Conoce usted las partes que forman a un transformador eléctrico?

Si ( ) No ( ) A medias ( )

2.3.¿Sabes cuáles son las pérdidas eléctricas que sufre el transformador eléctrico?

Si lo sabe ( ) No lo sabe ( )

2.4.¿Conoce usted lo que es un núcleo magnético?

Si lo conoce ( ) No lo conoce ( )

2.5.¿Identifica usted los tipos de núcleos magnéticos?:

Si lo identifico ( )                      No lo identifico ( )                      A media ( )  
)

**2.6.¿Considera usted que el laboratorio de la Universidad debería tener prototipos de núcleos magnéticos?**

Si ( )                      No ( )                      Tal vez ( )

**2.7.¿Sabe usted si la extensión universitaria tiene algún instrumento o texto técnicos que refiera sobre el uso de los núcleos magnéticos?:**

Si ( )                      No ( )                      En cualquiera otro lado ( )

**2.8.¿Considera pertinente la elaboración de proyectos técnicos que beneficien al estudiantado y por ende a la comunidad universitaria?**

Pertinente ( )                      No pertinente ( )