

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Tema:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE MAGNETIZACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES Y SUBSUPERFICIALES EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS EN EL CENTRO DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO DE AVIONES MILITARES, UBICADO EN LA BASE AÉREA COTOPAXI EN LA CIUDAD DE LATACUNGA.

Autores:

Marco Vinicio Basantes Baños

Marco Antonio Claudio Pérez

Director:

Ing. Marcelo Barrera

LATACUNGA – ECUADOR

ENERO – 2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

LATACUNGA – ECUADOR

APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias Administrativas y Humanísticas; por cuanto los postulantes: BASANTES BAÑOS MARCO VINICIO Y CLAUDIO PÉREZ MARCO ANTONIO, con el tema de tesis: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE MAGNETIZACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES Y SUBSUPERFICIALES EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS EN EL CENTRO DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO DE AVIONES MILITARES UBICADO EN LA BASE AÉREA COTOPAXI EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 20 de Enero del 2014

Para constancia firman:

Ing. Xavier Proaño

PRESIDENTE

M.Sc. Bolívar Vaca

MIEMBRO

Ing. Ernesto Abril

OPOSITOR

CERTIFICACIÓN:

**HONORABLE CONSEJO ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE COTOPAXI.**

De mi consideración:

Cumpliendo con lo estipulado en el Reglamento del Curso Profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Capítulo V, (Art. 9 literal f), me permito informar que los postulantes: Marco Vinicio Basantes Baños portador de la cédula de identidad N°. 060292789-9 y Marco Antonio Claudio Pérez portador de la cédula de identidad N°. 050231182-2 han desarrollado su Tesis de Grado de acuerdo al planteamiento formulado en el Anteproyecto de Tesis con el tema: **“ DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE MAGNETIZACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES Y SUBSUPERFICIALES EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS EN EL CENTRO DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO DE AVIONES MILITARES, UBICADO EN LA BASE AÉREA COTOPAXI EN LA CIUDAD DE LATACUNGA.”**, cumpliendo sus objetivos respectivos.

En virtud de lo antes expuesto, considero que la presente Tesis de Grado se encuentra habilitada para presentarse al acto de defensa.

Latacunga, 20 de Enero del 2014

EL DIRECTOR



Jaime Marcelo Barrera Flores

C.I. 180184877-9

DIRECTOR DE TESIS

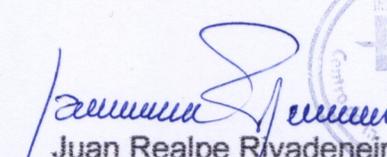


CERTIFICACIÓN

El Centro de Ingeniería y Mantenimiento de Aviación Militar (CIMAM) tiene bajo su responsabilidad la ejecución del Proyecto de Modernización de la flota de aviones T-34C-1 y dentro de sus requerimientos está el uso de un Banco de Magnetización, por lo que se consideró la necesidad de proceder al diseño y construcción del mismo para garantizar la ejecución de los trabajos en el citado proyecto. En tal virtud, este Centro avaló el desarrollo del anteproyecto de Tesis propuesto por los alumnos **MARCO ANTONIO CLAUDIO PÉREZ** con cédula de ciudadanía No. 050231182-2 y **MARCO VINICIO BASANTES BAÑOS** con cédula de ciudadanía No. 060292789-9, egresados de la carrera de Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia, sobre el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE MAGNETIZACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES Y SUBSUPERFICIALES EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS EN EL CENTRO DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO DE AVIONES MILITARES, UBICADO EN LA BASE AÉREA COTOPAXI EN LA CIUDAD DE LATACUNGA”**, brindando el apoyo y asesoramiento requeridos, logrando con ello cumplir con el objetivo propuesto.

Particular que me permito certificar para los fines pertinentes.

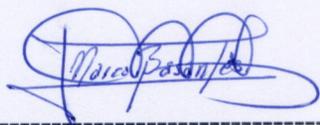
Latacunga enero 21, 2014


Juan Realpe Rivadeneira
Mayo. Tec. Ayc.
GERENTE CIMAM Accidental



AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE MAGNETIZACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES Y SUBSUPERFICIALES EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS EN EL CENTRO DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO DE AVIONES MILITARES, UBICADO EN LA BASE AÉREA COTOPAXI EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, nos corresponde exclusivamente a: Marco Vinicio Basantes Baños, Marco Antonio Claudio Pérez, Autores del trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Cotopaxi.



Marco Vinicio Basantes Baños
CI. 060292789-9



Marco Antonio Claudio Pérez
CI. 050231182-2

AGRADECIMIENTO

Nuestro especial agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por la apertura de sus aulas para formarnos como profesionales de élite.

También agradecemos al Ing. Marcelo Barrera, por el aporte y la dirección invaluable para culminar el presente trabajo investigativo.

Finalmente agradecemos a la BASE AÉREA COTOPAXI EN LA CIUDAD DE LATACUNGA, por la apertura para generar el presente trabajo.

LOS AUTORES

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi querida esposa Sarita y a mis adorados hijos Joel y Sebastián quienes han sido el pilar fundamental para poder cumplir con mis objetivos de superación, ya que con su amor, cariño y comprensión supieron apoyarme en los momentos más difíciles de mi formación profesional.

Marco Antonio

Dedico este proyecto de tesis a mi muy amada compañera madre y esposa Diana Isabel y a mi hermosa hija Karinita, quienes con mucho sacrificio me han brindado su apoyo y comprensión durante toda mi etapa universitaria lo cual me impulso a culminar con mi carrera.

Marco Vinicio

ÍNDICE GENERAL

Carátula	i
Página de autoría	ii
Agradecimiento	iii
Dedicatoria	iv
Índice general	v
Índice de gráficos	ix
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Índice de fotos	xii
Resumen	xiv
Abstract	xv
Introducción	1

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1	Fundamentación teórica	6
1.1.1	Ensayos No Destructivos	6
1.1.2	Aplicaciones de los Ensayos no Destructivos	6
1.1.3	Clasificación de los Ensayos no Destructivos	7
1.1.4	Pruebas no destructivas superficiales	7
1.1.5	Método de Partículas Magnéticas	8
1.1.6	Ensayo de partículas magnéticas	9
1.1.7	Magnetismo	10
1.1.8	Ley del magnetismo	11
1.1.9	Campo magnético	11
1.1.10	Substancias magnéticas	12
1.1.11	Permeabilidad	12
1.1.12	Histéresis	13

1.1.13 Retentividad	16
1.1.14 Fuerza Coercitiva	17
1.1.15 Densidad de flujo	17
1.1.16 Elementos de electricidad y magnetismo	17
1.1.17 Electricidad	17
1.1.18 Ley de Ohm	18
1.1.19 Circuitos Paralelos y en Serie	19
1.1.20 Tipos de circuitos eléctricos	21
1.1.21 Corriente Alterna y Continua	21
1.1.22 Comparación entre Corriente Continua y Alterna	22
1.1.23 Electromagnetismo	23
1.1.24 Conductor Portador de Corriente (Conductor Central)	24
1.1.25 Método Directo	25
1.1.26 Métodos de imantación y consideraciones	25
1.1.26.1 Métodos de imantación	25
1.1.26.2 Dirección del Campo	26
1.1.26.3 Imantación Longitudinal	26
1.1.26.4 Imantación Circular	29
1.1.26.5 Imantación Directa e Indirecta	30
1.1.26.6 Imantación Local	31
1.1.26.7 Imantación Longitudinal con Yugo	31
1.1.27 Equipo y materiales para la inspección por partículas magnéticas	32
1.1.28 Equipo imantante	33
1.1.28.1 Aparatos Portátiles y Móviles	33
1.1.28.2 Aparatos Fijos	34
1.1.28.3 Yugo	35
1.1.29 Las limitaciones inherentes a los yugos	37
1.1.30 Sobrecalentamiento del Equipo	37
1.1.31 Anillo Ketos	38
1.1.32 Banco de magnetización	40
1.1.32.1 Componentes de un banco de magnetización	41
1.1.32.1.1 El Transformador	41

1.1.32.1.2	Principio de funcionamiento	42
1.1.32.1.3	Construcción del transformador	43
1.1.32.1.4	Relaciones en un transformador ideal	44
1.1.33	Transformadores de corriente	45
1.1.34	Relación de corriente	47
1.1.35	Clasificación de los Transformadores.	48
1.1.36	El diodo	49
1.1.37	Rectificador de media onda	50
1.1.38	Tensión rectificada	51
1.1.39	Tiristores	52
1.1.40	Técnicas de conmutación de tiristores	53
1.1.41	Conmutación Natural	54
1.1.42	Conmutación forzada	55
1.1.43	Materiales metálicos	55
1.1.44	Materiales metálicos ferromagnéticos	56
1.2	Discontinuidad en los materiales	57
1.2.1	Discontinuidades inherentes	57
1.2.2	Discontinuidades de proceso	58
1.2.3	Discontinuidades de servicio	59
1.2.4	Clasificación de las discontinuidades de acuerdo a su ubicación	59
1.2.5	Discontinuidades detectables con partículas magnéticas	59
1.2.6	Discontinuidad o Defecto Superficial y Subsuperficial	60
1.2.7	Discontinuidad Interna	61
1.2.8	Orientación de las Discontinuidades	62

CAPÍTULO II

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

2.1	Antecedentes investigativos	64
2.2	Antecedentes históricos	64
2.3	Filosofía institucional	65
	Visión	65

Misión	65
2.4 Análisis de la infraestructura tecnológica de la institución	66
2.5 Análisis e Interpretación de resultados	67
2.6 Verificación de la hipótesis	78
2.7 Hipótesis	83

CAPÍTULO III

PROPUESTA

3.1 Presentación de la propuesta	84
3.2 Objetivos de la propuesta	85
3.3 Análisis de factibilidad	85
3.3.1 Factibilidad Técnica	85
3.3.2 Factibilidad Operacional	86
3.3.3 Factibilidad Económica	87
3.4 Desarrollo de la propuesta	90
3.4.1 Diseño esquemático de la implementación de la propuesta	90
Conclusiones y recomendaciones	147
Conclusiones	147
Recomendaciones	148
Glosario de términos y siglas	150
Bibliografía	154
Linkografía	155
Anexo N° 01	157
Anexo N° 02	158
Anexo N° 03	160

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01 Curva imanadora	15
Gráfico N° 02 Bucle de Histéresis	16
Gráfico N° 03 Triangulo ley de ohm	19
Gráfico N° 04 Circuitos paralelos y en serie	20
Gráfico N° 05 Calificación del desarrollo	68
Gráfico N° 06 Eficiente participación	69
Gráfico N° 07 Establecer el diseño	70
Gráfico N° 08 Ventaja del diseño	71
Gráfico N° 09 Infraestructura necesaria	72
Gráfico N° 10 Calificación del proceso administrativo	73
Gráfico N° 11 Proveedores en el mercado	74
Gráfico N° 12 Factores que generan	75
Gráfico N° 13 Apoyo a la producción continua	76
Gráfico N° 14 Ventaja del control	77
Gráfico N° 15 Grado de verificación	82
Gráfico N° 16 Diagrama en bloque	92
Gráfico N° 17 Cálculo de la potencia	94
Gráfico N° 18 Corriente de compuerta	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01 Distancia en los puntos de contacto	30
Tabla N° 02 Calificación del desarrollo	68
Tabla N° 03 Eficiente participación	69
Tabla N° 04 Establecer el diseño	70
Tabla N° 05 Ventaja del diseño	71
Tabla N° 06 Infraestructura necesaria	72
Tabla N° 07 Calificación del proceso administrativo	73
Tabla N° 08 Proveedores en el mercado	74
Tabla N° 09 Factores que generan	75

Tabla N° 10 Apoyo a la producción continua	76
Tabla N° 11 Ventaja del control	77
Tabla N° 12 Frecuencia observada	78
Tabla N° 13 Frecuencia esperada	79
Tabla N° 14 Tabla de contingencia	81
Tabla N° 15 Datos para la decisión	82
Tabla N° 16 Tabla de verificación	83
Tabla N° 17 Desglose de recursos tecnológicos	88
Tabla N° 18 Desglose de recursos materiales	88
Tabla N° 19 Desglose de mano de obra	89
Tabla N° 20 Costos directos	89
Tabla N° 21 Costos indirectos	89
Tabla N° 22 Costo total	90
Tabla N° 23 Densidad de corriente	113
Tabla N° 24 Características para el cálculo de transformadores	115
Tabla N° 25 Medición del transformador	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01 Método de partículas magnéticas	9
Figura N° 02 Dominio magnético	10
Figura N° 03 Dominios magnéticos	11
Figura N° 04 Electromagnetismo	23
Figura N° 05 Conductor central	25
Figura N° 06 Imantación longitudinal	27
Figura N° 07 Imantación circular	29
Figura N° 08 Imantación longitudinal con yugo	32
Figura N° 09 Aparatos portátiles y móviles	34
Figura N° 10 Aparatos fijos	35
Figura N° 11 Esquema operativo de un yugo electromagnético	36
Figura N° 12 Sobre calentamiento del equipo	38
Figura N° 13 Esquema del anillo de ketos	39

Figura N° 14	Espécimen del anillo de ketos	39
Figura N° 15	Banco de magnetización	40
Figura N° 16	Transformador ideal sin carga	43
Figura N° 17	Transformador tipo acorazado	44
Figura N° 18	Transformador con núcleo de hierro caso ideal	45
Figura N° 19	Pérdidas de energía	47
Figura N° 20	Diodo	50
Figura N° 21	Circuito del Diodo	51
Figura N° 22	Tensión rectificada	52
Figura N° 23	Tiristores	53
Figura N° 24	Tiristor con conmutación	55
Figura N° 25	Discontinuidades inherentes	57
Figura N° 26	Discontinuidades de procesos	58
Figura N° 27	Discontinuidades de servicios	59
Figura N° 28	Clasificación de las discontinuidades	59
Figura N° 29	Flujo magnético longitudinal de una pieza	60
Figura N° 30	Discontinuidad o defecto superficial	61
Figura N° 31	Discontinuidad interna	61
Figura N° 32	Orientación de las discontinuidades	62
Figura N° 33	Tipos de núcleos	95
Figura N° 34	Relación de transformación	96
Figura N° 35	Altura de la ventana	101
Figura N° 36	Circuito en función	103
Figura N° 37	Resistencias del devano primario	103
Figura N° 38	Resistencias del devanado secundario	104
Figura N° 39	Pérdidas del núcleo	105
Figura N° 40	Reactancia de dispersión	107
Figura N° 41	Diseño del controlador de corriente	117
Figura N° 42	Corriente eficaz	118
Figura N° 43	Circuito de control de disparo del SCR	119
Figura N° 44	Circuito fusible varistor carga	123

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N° 3.1 Transformador de potencia	124
Foto N° 3.2 Transformador del circuito central	124
Foto N° 3.3 SCR	125
Foto N° 3.4 Tarjeta de control de voltaje y corriente	126
Foto N° 3.5 Relé de sobre carga	127
Foto N° 3.6 Fusible de 2 amperios	127
Foto N° 3.7 Shunt	128
Foto N° 3.8 Transformador de corriente	129
Foto N° 3.9 Diodo	129
Foto N° 3.10 Reóstato	130
Foto N° 3.11 Amperímetro	131
Foto N° 3.12 Ventilador	131
Foto N° 3.13 Luz piloto	132
Foto N° 3.14 Pulsante	133
Foto N° 3.15 Instalación del cableado del circuito de control	133
Foto N° 3.16 Instalación del cableado en los SCRs	134
Foto N° 3.17 Instalación del cableado del transformador de potencia	134
Foto N° 3.18 Ruteado del cableado para el tablero de control	134
Foto N° 3.19 Montaje del transformador de corriente a la salida del transformador de potencia	135
Foto N° 3.20 Vista lateral de la estructura mecánica del banco	135
Foto N° 3.21 Vista frontal de la estructura mecánica del banco	136
Foto N° 3.22 Fabricación y montaje del cabezal móvil del banco	136
Foto N° 3.23 Ubicación de la bandeja y el cabezal móvil a la estructura principal del banco	137
Foto N° 3.24 Sujeción de la bandeja y el cabezal móvil a la estructura	137
Foto N° 3.25 Apertura de orificios para los terminales de salida del equipo eléctrico	138
Foto N° 3.26 Apertura del orificio para el ventilador de enfriamiento de los componentes eléctricos	138

Foto N° 3.27 Vista frontal de la ubicación del ventilador	139
Foto N° 3.28 Vista interior del compartimiento eléctrico	140
Foto N° 3.29 Montaje del circuito de potencia a la estructura del banco	140
Foto N° 3.30 Montaje del soporte del panel de control a la estructura	141
Foto N° 3.31 Ruteado del cableado hacia el panel de control	141
Foto N° 3.32 Instalación de los diferentes componentes del tablero de control	142
Foto N° 3.33 Montaje de la señalética en el panel de control	142
Foto N° 3.34 Colocación de la señalética en la estructura del banco	143
Foto N° 3.35 Vista posterior del banco de magnetización	143
Foto N° 3.36 Banco de magnetización con sus respectivos componentes y señalización	144
Foto N° 3.37 Mediciones de corriente y voltaje de entrada y salida	145
Foto N° 3.38 Registro de los valores de las medidas realizadas	145

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE MAGNETIZACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES Y SUBSUPERFICIALES EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS EN EL CENTRO DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO DE AVIONES MILITARES, UBICADO EN LA BASE AÉREA COTOPAXI EN LA CIUDAD DE LATACUNGA”.

AUTORES: Marco Vinicio Basantes Baños
CI. N° 060292789-9
Marco Antonio Claudio Pérez
CI. N° 050231182-2

RESUMEN

La presente investigación, estableció la problemática de la falta de equipos de pruebas para ensayos no destructivos, con fines y aplicaciones técnicas dentro del campo aeronáutico lo cual es un factor que impide el desarrollo económico, de manera que se generó un análisis en el entorno para conocer los eventos que los causaren, la investigación que se utilizó es la de campo, ya que permitió conocer las falencias que al no diseñar un equipo de magnetización se limita la detección de discontinuidades en los materiales ferromagnéticos en la Base Aérea Cotopaxi, generando esto un bajo perfil competitivo de la institución, en la interpretación de los resultados, se generó información técnica lo que concluyó en la necesidad del diseño y construcción del equipo. De tal manera que el cambio está orientado a la ejecución del mismo con la finalidad de maximizar los recursos institucionales, promoviendo dinamismo mediante la generación de creatividad y tecnología, entonces el manejo de la aviación no será solo reactivo, sino proactivo al cambio tecnológico.

TOPIC:

“DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MAGNETIZATION BENCH FOR DETECTING SURFACE AND SUB-SURFACE DISCONTINUITIES IN FERROMAGNETIC MATERIAL IN THE ENGINEERING AND MAINTENANCE CENTER OF MILITARY AIRCRAFTS, LOCATED AT ‘BASE AEREA COTOPAXI’, IN LATACUNGA”

AUTHORS: Marco Vinicio Basantes Baños

Marco Antonio Claudio Pérez

ABSTRACT

This study established the problem linked with lack of testing equipment for non-destructive testing with purposes and technical applications within the field of aeronautics. It is a factor that impedes economic development. An analysis of the environment was created in order to learn about the events that cause them; the field research was applied since it let the detection of discontinuities in ferromagnetic material at “Base Aérea Cotopaxi”. It has generated a low competitive profile in the institution. On the other hand, technical information was generated in order for the interpretation of results. The design and construction of testing equipment was required. So that the change is aimed at the execution of it in order to maximize the institutional resources, promoting dynamism through the generation of creativity and technology, then the aviation management will not only be reactive, but also proactive in line with technological changes.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
Y APLICADAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica De Cotopaxi, yo Lic. Patricia Marcela Chacón Porras con la cédula de identidad N° 050221119-6 CERTIFICO que he realizado la respectiva revisión de la Traducción del Abstract; con el tema: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE MAGNETIZACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES Y SUBSUPERFICIALES EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS EN EL CENTRO DE INGENIERIA Y MANTENIMIENTO DE AVIONES MILITARES, UBICADO EN LA BASE AEREA COTOPAXI EN LA CIUDAD DE LATACUNGA". Cuyos autores son: Marco Vinicio Basantes Baños, Marco Antonio Claudio Pérez y director de tesis Ing. Jaime Marcelo Barrera Flores.

Latacunga, 20 de Enero del 2014

Docente:

Lic. Patricia Marcela Chacón Porras
C.I. 050221119-6

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Cotopaxi, ubicada en la región central del Ecuador, al noroeste de Sudamérica, en el continente Americano, se asienta el Centro de Ingeniería y Mantenimiento de Aviones Militares (CIMAM) en la Base Aérea Cotopaxi.

El Centro de Ingeniería y Mantenimiento de Aviones Militares se ha constituido en un organismo líder en el diseño, construcción, reparación, integración y modificación de sistemas aeronáuticos, a través de desarrollo de trabajos de ingeniería que por su naturaleza requieren ser ejecutados bajo normas y estándares militares y civiles de alta exigencia, los mismos que han obligado a elaborar una serie de procedimientos que permiten que el producto se enmarque dentro de los requerimientos del cliente, alcanzando el reconocimiento de empresas tanto nacionales como extranjeras. Los diferentes centros de mantenimiento de las Fuerzas Armadas de nuestro país han confiado en los trabajos realizados en sus aeronaves por el CIMAM, ya que además de que sus procesos cumplen con estándares de calidad, cuenta con un personal técnico calificado y con gran experiencia en el campo aeronáutico, lo que garantiza un servicio especializado con importantes resultados y en condiciones operacionales óptimas para el cumplimiento de cualquier misión.

En el CIMAM se realiza el mantenimiento e inspección de las diferentes partes mecánicas de los aviones de la flota aérea Ecuatoriana, que son indispensables pasadas ciertas horas de vuelo.

El personal encargado del mantenimiento y reparación de dichos aviones no posee un equipo completamente funcional que permita realizar pruebas no destructivas de las diferentes partes mecánicas.

De tal manera que la falta de equipos de pruebas para ensayos no destructivos, con fines y aplicaciones técnicas dentro del campo aeronáutico es un factor que impide el progreso económico y tecnológico de los países en vías de desarrollo,

en los cuales se ha tenido que depender de asesoramiento y tecnología extranjera, para poder mantener un nivel adecuado de acuerdo a las exigencias actuales de competitividad en la aviación.

Sin la existencia del mencionado equipo se producen problemas de gran importancia que evitan cumplir estrictamente cada uno de los procedimientos y técnicas necesarias para la inspección, mantenimiento y reparación de los aviones, lo cual causa retrasos en la entrega, incomodidad del personal técnico, e insatisfacción tanto del cliente interno y externo.

Para realizar pruebas no destructivas, el personal técnico del CIMAM, se ve obligado a depender de un servicio externo.

Se determinó mediante la siguiente problemática la factibilidad para el desarrollo del presente trabajo de tesis:

¿De qué manera en el Centro de Ingeniería y Mantenimiento de Aviones Militares (CIMAM), el no contar con un banco de magnetización limita la detección de discontinuidades en los materiales ferromagnéticos, en el rendimiento del talento humano, en tiempos de reparación y satisfacción del cliente interno y externo?

Por lo tanto se determina que la investigación es relevante porque existe una importancia, que en la actualidad significa el desarrollo tecnológico dentro de las empresas de aviación, el equipo que será construido para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales se realizará de forma técnica, ya que nos basamos en teorías y conceptos fundamentales de pruebas no destructivas, aplicables al mantenimiento en el área aeronáutica.

En el área técnica es muy importante la preparación del talento humano, lo cual muestra el gran interés y la necesidad de disponer de personal calificado, el mismo que no dispone de un equipo adecuado para cumplir de una manera

efectiva sus funciones, esto permitirá un desarrollo integral de la empresa incrementando así la productividad.

El diseño y construcción es factible de realización ya que se cuenta con el apoyo del CIMAM, por lo tanto permite tener un enfoque acerca de la situación actual y la perspectiva integrada que se pretende alcanzar en la utilización y adquisición de recursos materiales para la producción de la empresa.

La presente investigación tiene un interés por resolver problemas relacionados en el campo de pruebas de discontinuidades de materiales ferromagnéticos, teniendo resultados de detección de fallas, de una forma confiable para satisfacer los diferentes requerimientos expuestos por los clientes.

Los objetivos alcanzados fueron:

Objetivo General

- Diseñar y construir un banco de magnetización para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos en el Centro de Ingeniería y Mantenimiento de Aviones Militares, ubicado en la Base Aérea Cotopaxi en la ciudad de Latacunga.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar cada uno de los componentes que conforman el banco de magnetización con el fin de identificar puntos vulnerables - críticos y detectar problemas existentes.
- Establecer la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos mediante un análisis operacional.

- Proponer un modelo de banco de magnetización para detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos en el Centro de Ingeniería y Mantenimiento de Aviones Militares, ubicado en la Base Aérea Cotopaxi en la ciudad de Latacunga.

En este proyecto el diseño metodológico aplicado permitió utilizar los siguientes tipos de investigación:

La investigación de campo cuyo propósito es dar a conocer, comparar, ampliar, profundizar y deducir diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada, basándose en documentos, por lo tanto en el presente trabajo se utilizó la documentación acorde a las variables teóricas.

En tanto que en la bibliográfica, en el presente trabajo se empleó una modalidad que abarque tanto la investigación bibliográfica como la de campo o un sistema que involucre a estas dos u a otra. Lo que se le ha denominado como proyecto factible o de intervención social, ya que cumple con los requisitos que necesitamos para la propuesta.

En la investigación descriptiva, se acudió al lugar de los hechos, es decir al personal técnico y operativo de la institución para conocer sus requerimientos de un diseño.

En la investigación se buscó especificar las características del impacto del diseño y construcción de un banco de magnetización para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos.

Por lo tanto en la investigación se correlacionaron las variables en estudio, la independiente: banco de magnetización y la dependiente: detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos.

En la presente investigación se recurrió a determinados medios que operativicen dichos métodos, utilizando las técnicas y los instrumentos.

Se determinó entonces que en esta investigación se utilizará como técnicas la encuesta y la entrevista, el cual se colocará en el campo a través del instrumento del cuestionario.

En este contexto, la estructura del presente trabajo está conformada por los siguientes capítulos:

Capítulo I, El desarrollo de la fundamentación teórica, en el cual se detalló bibliográficamente las variables de estudio para generar un conocimiento científico en la investigación.

Capítulo II, El análisis e interpretación de resultados, de la investigación científica, lo cual permitió conocer las necesidades el diseño del banco de magnetización.

Capítulo III, En el desarrollo de la propuesta, se determinó la factibilidad operativa y económica lo cual permitió generar el diseño y la construcción del banco de magnetización.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Fundamentación teórica

1.1.1 Ensayos No Destructivos

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END, o en inglés NDT de nondestructive testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada. ((http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_no_destructivo, 2013).

1.1.2 Aplicaciones de los Ensayos no Destructivos

Los ensayos no destructivos se utilizan en una variedad de ramas que cubren una gran gama de actividades industriales.

- En la industria automotriz:
 - Partes de motores
 - Chasis

- En aviación e industria aeroespacial:
 - Exteriores
 - Chasis
 - Plantas generadoras

- Motores a reacción
- Cohetes espaciales

- En construcción:
 - Ensayos de integridad en pilotes y pantallas
 - Estructuras
 - Puentes

- En manufactura:
 - Partes de máquinas

- En ingeniería nuclear:
 - Pressure vessels

- En petroquímica:
 - Transporte por tuberías
 - Tanques de almacenamiento

- Misceláneos
 - Atracciones de parques de diversiones
 - Conservación-restauración de obras de arte. (http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_no_destructivo, 2013)

1.1.3 Clasificación de los Ensayos no Destructivos

La clasificación de las pruebas no destructivas se basa en la posición en donde se localizan las discontinuidades que pueden ser detectadas, por lo que se clasifican en: (http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_no_destructivo, 2013)

1.1.4 Pruebas no destructivas superficiales

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND superficiales son:

- **VT** – Inspección Visual
- **PT** – Líquidos Penetrantes
- **MT** – Partículas Magnéticas
- **ET** – Electromagnetismo

En el caso de utilizar VT y PT se tiene la limitante para detectar únicamente discontinuidades superficiales (abiertas a la superficie); y con MT y ET se tiene la posibilidad de detectar tanto discontinuidades superficiales como sub-superficiales (las que se encuentran debajo de la superficie pero muy cercanas a ella). (http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_no_destructivo, 2013)

1.1.5 Método de Partículas Magnéticas

El ensayo de Partículas Magnéticas es uno de los más antiguos que se conoce, encontrando en la actualidad, una gran variedad de aplicaciones en las diferentes industrias. Es aplicable únicamente para inspección de materiales con propiedades ferromagnéticas, ya que se utiliza fundamentalmente el flujo magnético dentro de la pieza, para la detección de discontinuidades.

Mediante este ensayo se puede lograr la detección de defectos superficiales y subsuperficiales (hasta 3 mm debajo de la superficie del material). El acondicionamiento previo de la superficie, al igual que en las tintas penetrantes, es muy importante, aunque no tan exigente y riguroso.

(<http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=55>, 2013)

La aplicación del ensayo de Partículas Magnéticas consiste básicamente en magnetizar la pieza a inspeccionar, aplicar las partículas magnéticas (polvo fino de limaduras de hierro) y evaluar las indicaciones producidas por la agrupación de las partículas en ciertos puntos. Este proceso varía según los materiales que se usen, los defectos a buscar y las condiciones físicas del objeto de inspección.

Para la magnetización se puede utilizar un banco estacionario, un yugo electromagnético, electrodos o un equipo portátil de bobina flexible, entre otros. Se utilizan los diferentes tipos de corrientes (alterna, directa, semi-rectificada, etc.), según las necesidades de cada inspección. El uso de imanes permanentes ha ido desapareciendo, ya que en éstos no es posible controlar la fuerza del campo y son muy difíciles de manipular.

(<http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=55>, 2013).

APLICACIONES:

- Detección de discontinuidades en materiales ferromagnéticos de cualquier tipo, en la superficie o cerca de ésta.

Método de Partículas Magnéticas

Figura N° 01



Fuente: (http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_166.phpht, 2013)

Elaborado por: Los Autores

1.1.6 Ensayo de partículas magnéticas

(Linda, 2008 pág. 19) Es un método de Ensayo No Destructivo que se usa para localizar discontinuidades en la superficie y cerca de la superficie, en materiales ferromagnéticos. Consiste básicamente en la magnetización del artículo bajo ensayo, aplicación de un medio de inspección que es magnético y la interpretación de las indicaciones del medio magnético.

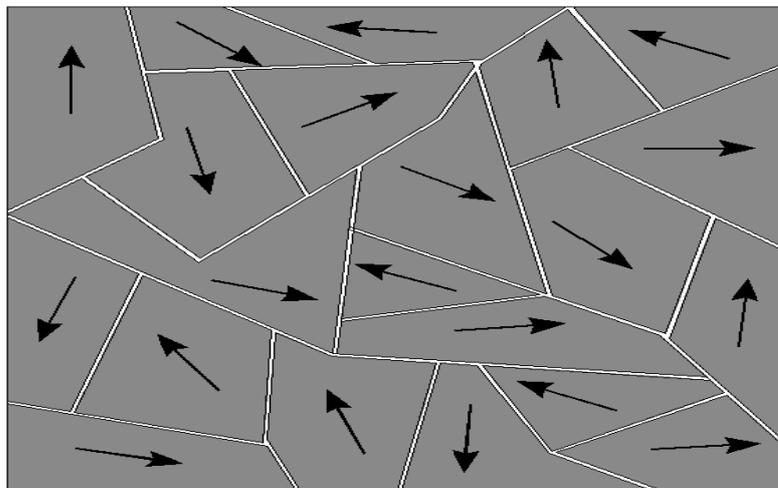
1.1.7 Magnetismo

Indica (Linda, 2008 pág. 20)

- **MAGNETO:** Una masa de hierro u otro material que atrae o repele otras masas similares, y que si está libre para girar, se alinea en dirección norte-sur. Los Magnetos tienen POLARIDAD.
- **MAGNETISMO:** Es el poder, que puede ser impartido a hierro y acero (por ejemplo) de atraer sustancias a las cuales esa misma fuerza puede ser impartida.
- **TEORÍA DEL MAGNETISMO**
Un "dominio magnético" o "di-polo", es el magneto permanente más pequeño que se conoce, teniendo polos norte-sur.

Dominio magnético

Figura N° 02



Fuente: (http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_166.phpht, 2013)
Elaborado por: Los Autores

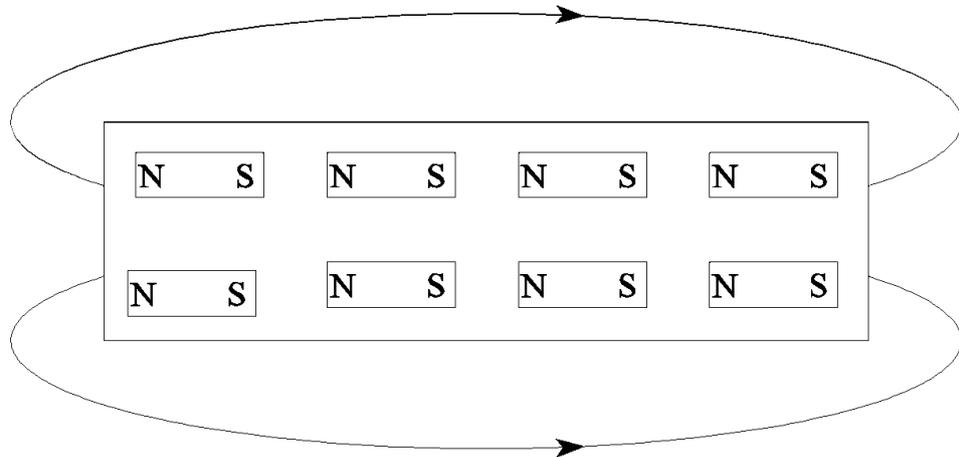
En una barra ferro magnético no magnetizada, estos dominios magnéticos orientados al azar, están esparcidos en todas direcciones.

Cuando la barra ferromagnética, se magnetiza, todos los polos similares se orientan en una misma dirección. Con los dominios magnéticos arreglados en este

orden, el material tiene una fuerza magnética total que es igual a la suma de todos los dominios magnéticos.

Dominios magnéticos

Figura N° 03



Fuente: (http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_166.phpht, 2013)
Elaborado por: Los Autores

1.1.8 Ley del magnetismo

(Linda, 2008 pág. 20) La LEY DE MAGNETISMO establece que: "DIFERENTES POLOS DE UN MAGNETO SE ATRAEN, Y POLOS IGUALES SE REPELEN".

1.1.9 Campo magnético

(Linda, 2008 pág. 21) El campo magnético es el campo donde las fuerzas magnéticas, actúan, o es el espacio alrededor del magneto, en el que materiales ferromagnéticos son atraídos.

El campo magnético se compone de líneas de fuerza o líneas de flujo.

➤ Propiedades de las líneas de fuerza o líneas de flujo

1. Las líneas de fuerza están en un estado de tensión longitudinal y por lo tanto tienden a contraerse en longitud.
2. Las líneas de fuerza toman trayectoria paralela y tienden a repelerse.

3. Líneas de fuerza nunca se cruzan.
4. Las líneas de fuerza salen del magneto por el polo norte y vuelven a entrar por el polo sur y completan su curva cerrada a través del magneto.
5. Las líneas de fuerza buscan la trayectoria de menor RELUCTANCIA para completar su círculo.
6. La concentración de líneas de fuerza determina la fuerza del campo magnético. Así, el campo es más fuerte cerca de los polos.

1.1.10 Substancias magnéticas

(Linda, 2008 pág. 21) Las substancias magnéticas se dividen en 3 categorías:

1. SUBSTANCIAS PARAMAGNETICAS: substancias que cuando colocadas en el campo magnético, se magnetizan débilmente en la dirección del campo por ejemplo: Platino, Potasio, Oxígeno
2. SUBSTANCIAS DIAMAGNÉTICAS: substancias que cuando colocadas en el campo magnético tienden a repeler ese campo, ej.: Oro, Bismuto y Cobre.
3. SUBSTANCIAS FERROMAGNETICAS: substancias que cuando colocadas en el campo magnético, pueden ser magnetizadas muy fuertemente por ese campo, por ejemplo: Níquel, Hierro, Cobalto, Ferrita.

1.1.11 Permeabilidad

(Linda, 2008 pág. 21) Todo material que resulta fuertemente atraído por un imán se dice que es ferromagnético y la medida en que tal material es ferromagnético se denomina su permeabilidad (μ). Esta es la facilidad con la que un campo magnético puede introducirse en un material; no es constante, sino que cambia considerablemente a medida que aumenta la densidad de flujo.

La densidad de flujo en cualquier punto de cualquier material depende de la fuerza magnética presente y de la permeabilidad de tal material.

$$B = \mu H \quad \text{o} \quad \mu = B/H \quad \text{Ec.01}$$

Dónde:

B = densidad de flujo en teslas

H = fuerza imanadora en amperios por metro

μ = permeabilidad en henrios por metro

Para cualquier valor de B o H el valor de μ es la pendiente de la curva (Gráfico 01) que muestra la variación que se produce en μ a medida que aumenta la fuerza magnética. La permeabilidad inicial es la pendiente de la curva B/H al comenzar a aplicar fuerza imanadora a un material no imanado. Esta es la parte de la curva en el punto "a" o cerca de éste. En este punto la relación B/H ó μ es menor que en el punto intermedio entre "a" y "b". En el punto "b", donde el material se halla saturado, μ disminuye hasta el valor que tendría en el vacío.

Aisladamente empleada la expresión "permeabilidad" se refiere a la permeabilidad máxima del material, que se representa por la porción más inclinada de la curva de histéresis.

La permeabilidad efectiva es el factor más importante en la inspección por partículas magnéticas. Es la relación simple entre el campo B en una pieza y la fuerza imanadora H, medida en el mismo punto en ausencia de la pieza. La permeabilidad efectiva queda determinada no solamente por las características del material, sino por la forma de la pieza.

1.1.12 Histéresis

(Linda, 2008 pág. 22) Cuando se imantan ciertos materiales ferromagnéticos, al retirarles la fuerza imanadora no vuelven completamente a su condición inicial. Para desimantar completamente el material se debe aplicar una cierta fuerza imanadora inversa, a menos que el material se caliente por encima del punto Curie correspondiente a dicho material o que se someta a un tratamiento mecánico.

Si a un espécimen virgen (completamente desimanado) se aplica un campo externo variable y se miden tanto el campo externo como el grado de imantación o densidad de flujo, se puede trazar, como se indica en el gráfico 02, una curva representativa del material. Esta se conoce como curva de histéresis magnética. Histéresis es el retraso del efecto magnético cuando se cambian las fuerzas imanadoras que actúan sobre un cuerpo ferromagnético.

La H representa la fuerza imanadora aplicada al espécimen y B la densidad de flujo dentro de éste.

El punto en el que la imantación y la fuerza aplicada es cero se representa por (o). Al aumentar la fuerza imanadora en pequeñas dosis el flujo aumenta rápidamente al principio reduciéndose progresivamente hasta que se alcanza el flujo máximo o el punto de saturación (a). Otro aumento en la fuerza imanadora H no aumentará la densidad de flujo B. El aumento en la densidad de flujo se indica por la línea de puntos o-a. Si la fuerza imanadora se reduce ahora gradualmente hasta cero la curva (a-b) mostrará la disminución correspondiente en la densidad de flujo. No obstante, en el espécimen aun queda algún magnetismo representado por el punto (b). El valor de este magnetismo se indica por la distancia (o-b) y se denomina magnetismo residual.

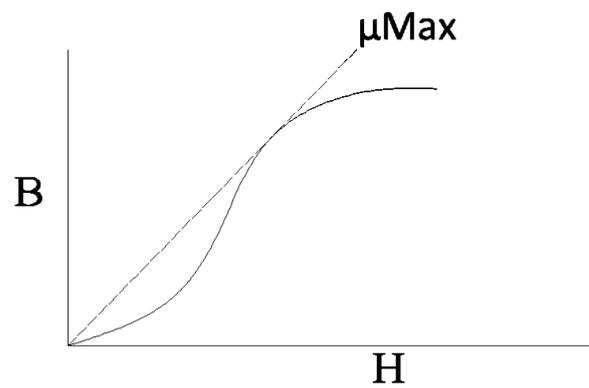
Si ahora se invierte la corriente imanadora y se aumenta lentamente, la densidad de flujo (magnetismo residual) dentro del espécimen disminuye y vuelve a cero en el punto (c). La distancia representada por (o-c) es la medida de la fuerza necesaria para reducir el campo magnético a cero y se conoce como fuerza coercitiva. Aumentando aún más la fuerza imanadora el espécimen se imana en la dirección opuesta hasta que, nuevamente, se llegue al punto (d) de saturación.

Si ahora la fuerza imanadora se reduce gradualmente a cero la densidad de flujo se reduce o disminuye hasta un cierto valor (e); no obstante, el espécimen retendrá aún .cierto magnetismo residual representado por o-e. Si ahora aumentamos constantemente la fuerza magnética en su dirección original la densidad del flujo

residual se reduce a cero en el punto (f) y aumenta después hasta el punto de saturación inicial (a). La curva representada por las líneas- a, b, c, d, f se denomina curva histéresis o lazo de histéresis.

CURVA IMANADORA

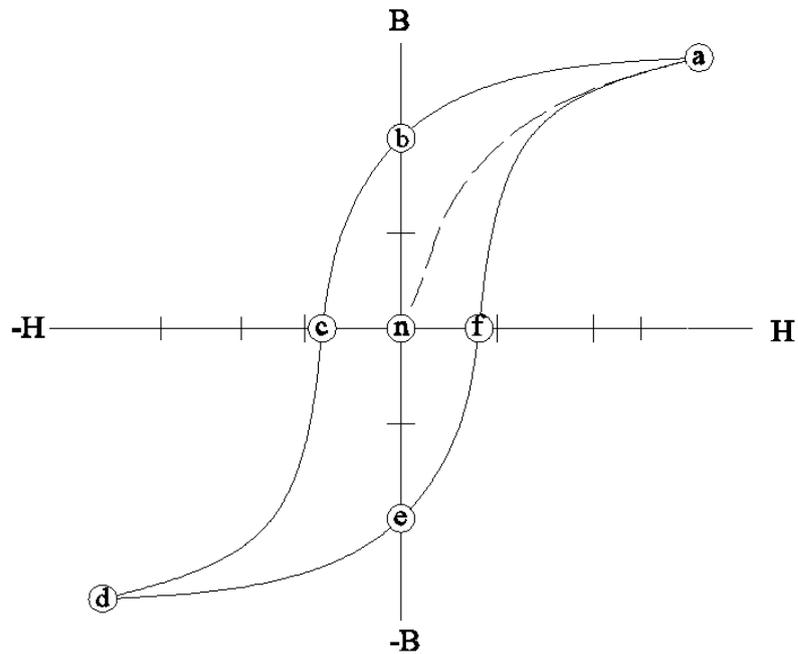
Gráfico N° 01



Fuente : (Linda, 2005 pág. 22)
Elaborado por: Los Autores

BUCLE DE HISTÉRESIS

Gráfico N° 02



Fuente : (Linda, 2005 pág. 22)

Elaborado por: Los Autores

Cuando este bucle de histéresis es delgado o estrecho generalmente significa que el espécimen es de fácil imantación, pero que posee un bajo magnetismo residual. Un bucle ancho indica que el material es más difícil de imanar pero retendrá un campo residual más potente.

1.1.13 Retentividad

(Linda, 2008 pág. 21) La retentividad es la expresión empleada para indicar la tendencia de un material a retener el magnetismo residual. En la curva de histéresis, la retentividad se representa por la distancia o-b. Esta distancia indica la intensidad del campo presente debido al magnetismo residual si se retira la fuerza imanadora H.

1.1.14 Fuerza Coercitiva

(Linda, 2008 pág. 22) La fuerza coercitiva es la expresión empleada para indicar la facilidad con la que el magnetismo residual de un material puede contrarrestarse por la aplicación de una fuerza imanadora. La fuerza coercitiva se representa por la distancia o-c. Esta es la intensidad de la fuerza imanadora H que se requiere para reducir a cero el campo magnético B en el material una vez imanado.

1.1.15 Densidad de flujo

(Linda, 2008 pág. 22) Para describir la intensidad de un campo magnético se consideran la densidad de flujo de dicho campo y la fuerza imanadora. Densidad de flujo es el número de líneas de fuerza o líneas de flujo por unidad de superficie en ángulos rectos en relación con la dirección del flujo. La unidad de la densidad de flujo es el tesla (T), y el símbolo de su cantidad es B. La fuerza imanadora que crea un flujo magnético se designa por medio del símbolo cuantitativo H y se mide en amperios por metro (A/m).

1.1.16 Elementos de electricidad y magnetismo

(Linda, 2008 pág. 22) La electricidad y el magnetismo no pueden verse. Se dejan sentir solamente por los efectos que producen tales como producción de luz y calor o por la atracción o movimiento de materiales. Se miden por medio de estos efectos, efectos que constituyen los fenómenos en los que se basa la inspección por partículas magnéticas.

1.1.17 Electricidad

Para (Destructivos, 2005 pág. 1) Una corriente eléctrica es el movimiento de electrones y la fuerza electromotriz (f.e.m.) es cualquier presión que pone estas partículas en movimiento o que detiene su movimiento.

Las fuerzas electromotrices pueden generarse por cinco métodos diferentes: fricción entre sustancias disimilares, acción química (como en baterías), acción termoeléctrica, contacto entre sustancias diferentes e inducción electromagnética. En cada uno de estos métodos, el resultado reside en la colección de cargas de un signo (electrones negativos), que dejan un número igual de cargas del signo opuesto (protones positivos). Para que una corriente eléctrica pueda fluir de un punto a otro a lo largo de un conductor, es preciso que exista una fuerza electromotriz o diferencia de potencial entre los dos puntos a lo largo del conductor. La unidad práctica de fuerza electromotriz o potencial es el "voltio".

El paso de una corriente eléctrica a través de una sustancia es impedido por la fricción y por las fuerzas de atracción que muestran algunos átomos y moléculas hacia los electrones. Estos factores inhibidores no son iguales en todas las sustancias. Si son pequeños, se dice que la sustancia es un buen conductor de electricidad. Cuando son grandes, se dice que la sustancia es un mal conductor de electricidad - o un aislante. En cualquier caso, la oposición al flujo de corriente se denomina "resistencia". Cuando en un circuito se requiere una resistencia determinada, se puede utilizar un "resistor" (también denominado resistencia).

La unidad práctica de resistencia es el "ohmio".

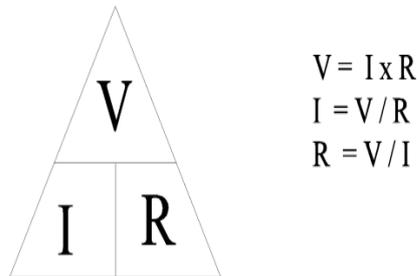
En el flujo de corriente eléctrica la unidad es el "amperio". El amperio es igual a un "coulomb" por segundo, mientras que el coulomb es la carga obtenida cuando $6,3 \times 10^{18}$ electrones libres se hallan en un cuerpo único eléctricamente cargado.

1.1.18 Ley de OHM

(Destructivos, 2005 pág. 3) Ohm estableció la relación entre estas unidades en 1826 denominándole "Ley de Ohm". Puede expresarse diciendo que un voltio de presión eléctrica (V) forzará un flujo de corriente de un amperio (I) a través de una resistencia eléctrica de un ohmio (R); expresado más sencillamente.

Triangulo ley de ohm

Gráfico N° 03



Fuente : (Linda, 2005 pág. 23)

Elaborado por: Los Autores

Tal y como aplicada a un circuito eléctrico completo, la Ley de Ohm manifiesta que la suma de las diferencias potenciales de las diversas partes del circuito es igual a la f.e.m del circuito. Así, en el circuito indicado para impulsar la corriente a través de la batería se requiere una porción de la f.e.m de dicha batería, el reóstato, la válvula, el conmutador y el cable. La válvula, conmutador, etc. ofrecen resistencia al flujo de la corriente. No se produce ninguna "acumulación" de corriente en ninguna parte del circuito, y en cualquier parte de éste o en cualquier momento la corriente es igual a la corriente del resto de las partes del circuito. Por otra parte, cuando el conmutador se halla "abierto", aun cuando exista una f.e.m en los terminales de la batería, por el circuito no fluye ninguna corriente. La electricidad sólo fluye en circuitos completos.

1.1.19 Circuitos Paralelos y en Serie

(Destructivos, 2005 pág. 3) Las resistencias que representan la válvula (R_5), el reóstato (R_2), el aparato de medida (R_3), etc. van conectadas en "serie". La resistencia (R) total del circuito es igual a la suma de las resistencias parciales.

Así:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \quad \text{Ec.02}$$

La resistencia total R' de las resistencias en paralelo, tales como el reóstato y la válvula (R_2 y R_5) en el gráfico N° 04 (b) nos es dada por:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} = \frac{R_2 + R_5}{R_2 \times R_5} \quad \text{Ec.03}$$

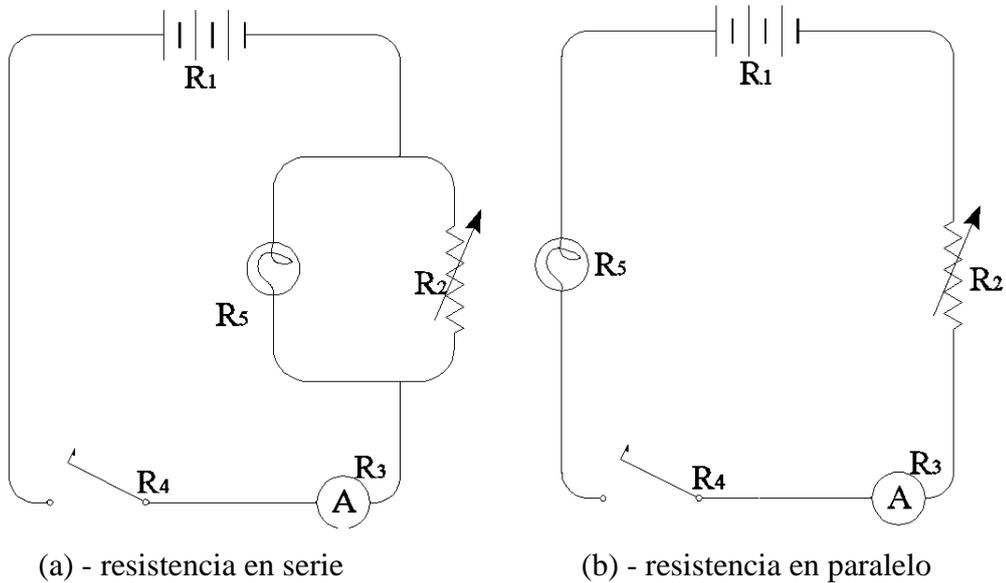
$$\text{Por lo tanto, } R' = \frac{R_2 \times R_5}{R_2 + R_5} \quad \text{Ec.04}$$

Y la resistencia del circuito completo en el gráfico N° 04 (b) será:

$$R = \frac{R_2 \times R_5}{R_2 + R_5} + R_1 + R_3 + R_4 \quad \text{Ec.05}$$

Circuitos paralelos y en serie

Gráfico N° 04



Fuente: **Destructivos, 2005** pág. 3
 Elaborado por: **Los autores**

1.1.20 Tipos de circuitos eléctricos

(Destructivos, 2005 pág. 6) No se ha hecho referencia a la resistencia de los conductores en estos circuitos. Por lo general, la resistencia de los hilos es pequeña si se compara con la resistencia total del circuito, de lo que puede inferirse que la resistencia del conductor es igual a cero.

1.1.21 Corriente Alterna y Continua

(Destructivos, 2005 pág. 6) Existen dos tipos básicos de corriente eléctrica y ambos se emplean en la inspección por partículas magnéticas. La corriente continua es una corriente que conserva siempre la misma dirección, pero cuya intensidad puede variar de forma regular. La corriente pulsante es una corriente continua, cuya intensidad varía de forma apreciable. La corriente alterna es una corriente que invierte su dirección, siendo primero positiva y después negativa, si bien alterna entre valores constantes máximos positivo y negativo respectivamente.

Se muestra un gráfico que indica un flujo de corriente continua en función del tiempo. Muestra que el valor inicial es cero, como si se accionara un generador desde su posición estática, y fuera alcanzando progresivamente su valor constante. El gráfico muestra una curva sinusoidal, que indica el movimiento ondulatorio de la onda; aquí se ha adaptado para mostrar el comportamiento de la corriente alterna en función del tiempo. El flujo de corriente cambia de positivo a negativo con cada medio ciclo. La fase positiva indica el flujo en una dirección (la misma que en la corriente continua de la Figura) y la fase negativa indica el flujo en la dirección inversa. En la corriente alterna de 60 ciclos, el ciclo completo de ambas fases se produce 60 veces por segundo.

El rectificador es un dispositivo empleado para convertir la corriente alterna en continua; permite que la corriente fluya en una dirección solamente. Cuando se aplica un rectificador único al flujo de corriente alterna representado en la Figura,

se produce una corriente rectificada de media onda. Con rectificadores más perfeccionados, se puede pasar toda la corriente alterna resultando el flujo que indica.

La corriente alterna industrial es de tres fases, en las que el generador comienza el ciclo de corriente alterna tres veces en 1/60 de segundo. Cuando esta corriente trifásica se rectifica la forma de la onda resultante es la que se indica.

Las tres formas de corriente continua que se indican son formas pulsantes en las que los impulsos son menos pronunciados según avanzamos en las ilustraciones. (Obsérvese que los cálculos eléctricos de las ecuaciones anteriores se limitan a aplicaciones simples de la DC. En las formas más complejas de corrientes alternas, a la resistencia simple se añade la inductancia, que es más difícil de calcular).

La corriente continua, la corriente alterna, y la corriente rectificada de alternancia simple se emplean como corrientes imanadoras en la inspección por partículas magnéticas. Cada una de éstas tiene sus propias ventajas y limitaciones según sea su aplicación específica.

1.1.22 Comparación entre Corriente Continua y Alterna para la Imantación

Para (**Destructivos, 2005 pág. 9**)

a) Corriente Alterna (AC)

Los campos magnéticos creados por la corriente alterna se limitan al metal situado en la superficie y próximo a la superficie de la pieza. El fenómeno responsable de que la corriente alterna tienda a fluir solamente a lo largo de las capas superficiales del metal se conoce como "efecto pelicular". El método de corriente alterna es, en consecuencia, el más eficaz para la localización de discontinuidades superficiales y no es apropiado para la detección de discontinuidades más profundas. El campo alterno añade también movilidad a las partículas y facilita una mejor indicación.

b) Corriente Continua (DC)

La corriente continua produce un campo que penetra en la pieza y es, por ello, más sensible que la corriente alterna para la detección de discontinuidades internas. La corriente trifásica rectificada de doble alternancia produce resultados fundamentalmente comparables a los de la corriente continua obtenida de un generador.

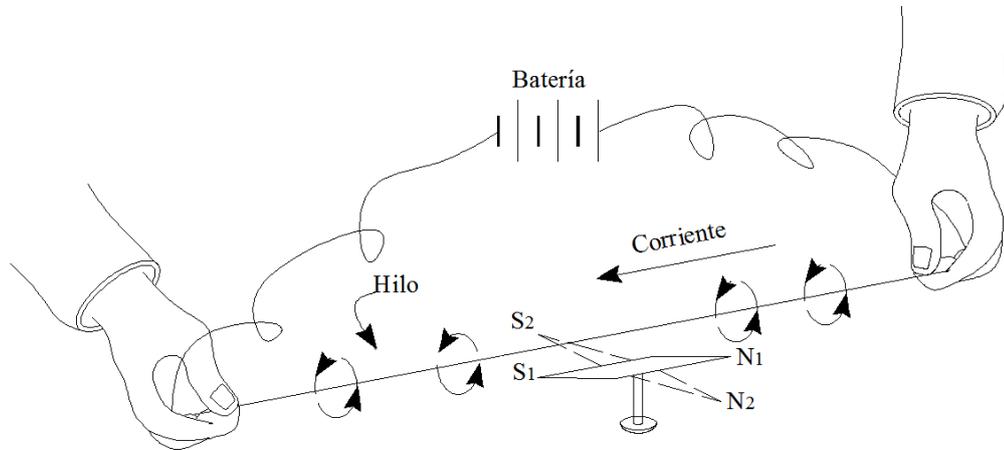
Una corriente monofásica rectificada de media onda permite máxima sensibilidad. Esto se debe a que el campo pulsante aumenta la movilidad de las partículas permitiendo que éstas se alineen más fácilmente en los campos de fuga. Además, las crestas de los impulsos producen una mayor fuerza imanadora.

1.1.23 Electromagnetismo

(Destructivos, 2005 pág. 11) En 1820 Oersted descubrió que la corriente eléctrica presenta efectos magnéticos. La aguja de una brújula colocada cerca de un hilo eléctrico recto portador de corriente continua, adoptará una posición perpendicular al hilo y a la corriente, lo que indica la presencia de un campo magnético en el conductor. Otros experimentos mostraron que el campo magnético circunda al conductor. Se muestra el giro de la aguja de la brújula de S_1-N_1 a S_2-N_2 cuando la corriente pasa por el hilo.

Electromagnetismo

Figura N° 04



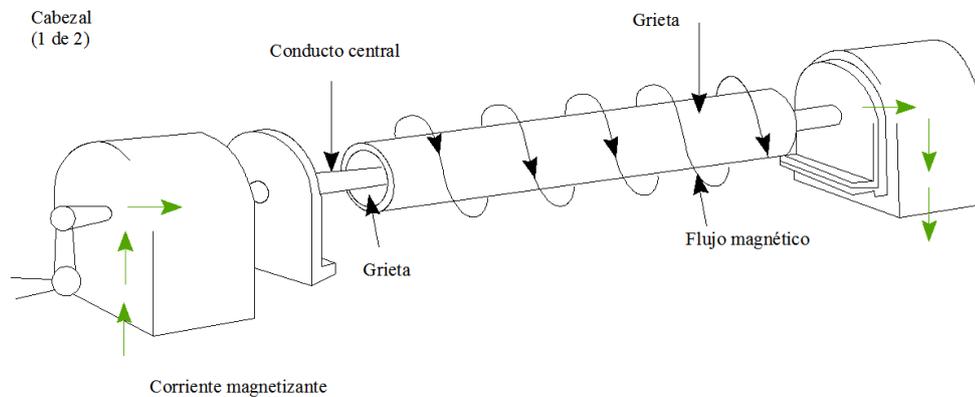
Fuente: **Destructivos, 2005** pág. 11
Elaborado por: **Los autores**

1.1.24 Conductor Portador de Corriente (Conductor Central)

(**Destructivos, 2005** pág. 13) Un elemento conductor, tal como un alambre o una varilla producen un campo magnético en torno suyo según se explica anteriormente, cuando a través del mismo se pasa una corriente. Esto, a su vez, establece un campo magnético en todo objeto que se halla próximo al primero. Este método se utiliza ampliamente cuando el conductor puede insertarse en un objeto tal como un aro o tubo. Este método del conductor central se explicará más adelante.

Conductor central

Figura N° 05



Fuente: **Destructivos, 2005 pág. 13**
Elaborado por: **Los autores**

1.1.25 Método Directo

(**Destructivos, 2005 pág. 13**) Cuando a través de un objeto se pasa directamente una corriente eléctrica se establece en el mismo un campo magnético de forma circular. Este método se emplea generalmente para objetos que pueden colocarse entre los cabezales de una máquina de partículas magnéticas. La intensidad del campo dependerá de la magnitud de la corriente, de la permeabilidad del material, del tamaño y forma del objeto y de la distancia recorrida por la corriente dentro del objeto.

1.1.26 Métodos de imantación y consideraciones sobre la intensidad del campo

1.1.26.1 Métodos de imantación

(**Destructivos, 2005 pág. 13**) Como quiera que sea la dirección del campo magnético debe ser la correcta con respecto a la discontinuidad, es importante conocer el procedimiento de imantación necesario para dar al campo la dirección debida. Para efectuar la inspección adecuada, el campo debe hallarse en la

dirección correcta, debe establecerse en el área correcta de la pieza que se inspecciona, y debe asimismo ser de la intensidad o potencia adecuada.

1.1.26.2 Dirección del Campo

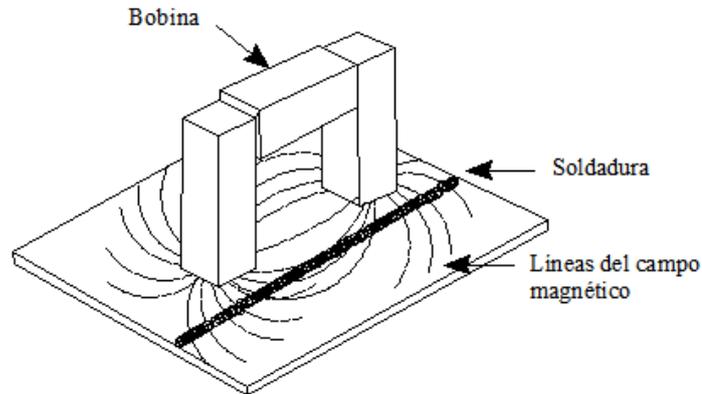
(Destructivos, 2005 pág. 15) Dado que la sensibilidad es mayor cuando el campo magnético en una pieza es perpendicular al eje mayor de un defecto, el método de imantación deberá seleccionarse de forma que produzca líneas de flujo perpendiculares al tipo de defecto esperado. Si se desea hallar efectos con varias orientaciones, entonces la pieza debe imanarse más de una vez de forma que produzca líneas de flujo en diferentes direcciones. En la mayoría de los trabajos, será suficiente imanar dos veces empleando la segunda vez un campo perpendicular al primero con objeto de que el defecto que se halle casi paralelo al primer campo sea casi perpendicular al segundo, algunos casos, un defecto situado a 45° aproximadamente con respecto de las líneas de flujo pudiera no ser visible. En el de inspecciones más críticas que requieren mayor o la más sensibilidad posible, pudiera ser necesario imanar varias veces en diferentes direcciones.

1.1.26.3 Imantación Longitudinal

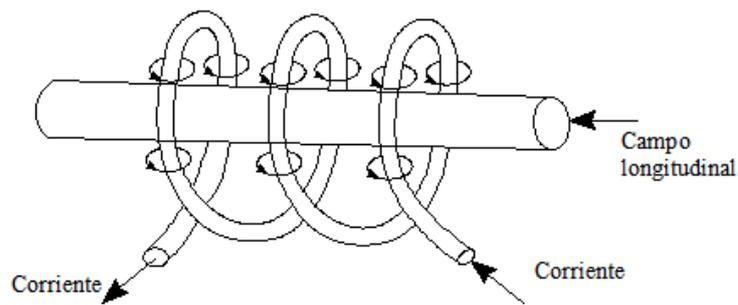
(Destructivos, 2005 pág. 16) Este método de imantación se efectúa induciendo un campo magnético en la pieza de forma tal que las líneas de fuerza que corren en la pieza sean aproximadamente paralelas al eje de la bobina imanadora (Figura N° 06) y que tiendan a seguir el contorno de la pieza. Cuando se utiliza un imán permanente o un electroimán, las líneas de fuerza actúan entre los polos y es necesario hacer el montaje de forma que dichas líneas sigan el contorno. Y en este caso también, la mejor sensibilidad se obtendrá cuando el flujo de corriente sea paralelo a la discontinuidad. Materiales tales como ejes, cilindros, vigas, etc. pueden imanarse por medio de un cable eléctrico flexible enrollado alrededor de la pieza. Cuando por el cable se pasa una corriente se convierte en un solenoide temporal.

Imantación Longitudinal

Figura N° 06



b) Campo longitudinal incluido por un yugo. Observe las diferentes direcciones que existe en el área de la soldadura.



a) Imantación longitudinal en el campo de una bobina

Fuente: **Destructivos, 2005** pág. 20
Elaborado por: **Los autores**

En la determinación de la densidad de campo adecuada para imantación longitudinal, se pueden emplear algunas reglas sencillas siempre y cuando se mantengan ciertas condiciones.

El número de amperios-vuelta (I_t) deberá ser $= 35000/(L/D)+2$ donde L/D es la relación longitud-diámetro de la pieza.

Las condiciones antes citadas son:

- que la longitud efectiva máxima de la bobina sea de 460 mm
- que la permeabilidad del material sea mayor de $628,3 \times 10^{-6}$ H/m (500 Gauss/Oersted)
- que el área de la sección transversal de la pieza no sea mayor de 1/10 de la de la bobina.
- que la pieza se coloque en la parte inferior de la bobina.

Para piezas con una relación L/D menor de 4 pero no menor de 2

$$It = \frac{45000}{L/D} \quad \text{Ec. 06}$$

Cuando la pieza se coloca en la bobina la fórmula aproximada se convierte en

$$It = \frac{1700 R M}{\mu \text{ eff}} \quad \text{Ec. 07}$$

Dónde:

t = número de vueltas

I = corriente en amperios

R = radio de la bobina en milímetros

$\mu \text{ eff}$ = permeabilidad efectiva en henrios por metro

$\mu \text{ eff}$ = $61/D-5$

(Destructivos, 2005 pág. 18) La mayoría de las piezas inspeccionadas tienen una relación L/D menor de 15 y la permeabilidad de la mayor parte de los materiales inspeccionados por el método de partículas magnéticas es superior a $628,3 \times 10^{-6}$ H/m; por lo tanto, las reglas anteriores son aplicables. Producen intensidades de campo magnético cuya densidad de flujo es del orden de 100 líneas/mm² lo que es aceptable en la mayoría de los casos en que se emplea la imantación por bobina.

1.1.26.4 Imantación Circular

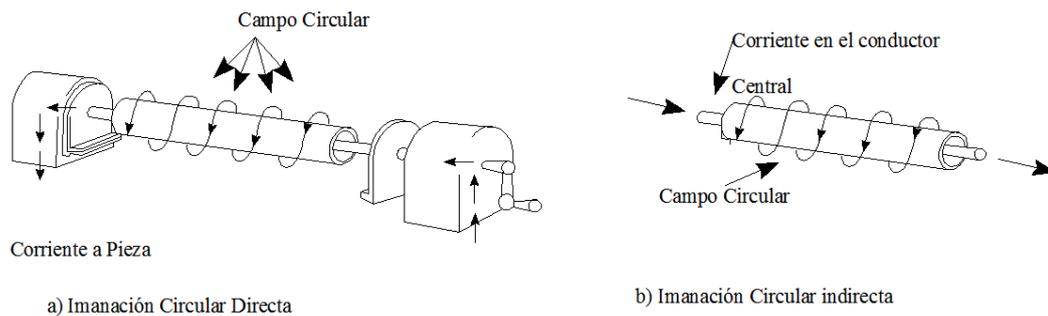
(Destructivos, 2005 pág. 21) El método de imantación circular se efectúa por la inducción de un campo magnético en la pieza de forma tal que las líneas de fuerza (en cualquier plano normal al eje de la pieza) tengan la forma de anillos concéntricos alrededor del eje de la pieza.

Esto se realiza pasando corriente directamente por la pieza o por un conductor que pase a través de un agujero en la pieza. La imantación circular es la más apropiada para detectar discontinuidades aproximadamente paralelas al eje de la pieza, o radiales en los extremos.

Cuando se efectúa la imantación circular, generalmente el campo queda contenido en los contornos de la pieza misma. Esto crea intensidad de campo máxima y, por lo tanto, sensibilidad también máxima a discontinuidades sub-superficiales.

Imantación Circular

Figura N° 07



Fuente: Destructivos, 2005 pág. 21
Elaborado por: Los autores

(Destructivos, 2005 pág. 21) Para la imantación circular, que se consigue pasando corriente por la pieza, la regla simple es empleando 40 A (cc)/mm del diámetro de la pieza. Para piezas menores, por lo general una corriente ligeramente menor es suficiente. Para piezas más grandes, esta regla puede requerir

corrientes más altas que las disponibles. En el caso de defectos superficiales, corrientes muy inferiores a las indicadas en esta regla son generalmente satisfactorias.

Cuando se emplean puntas de contacto, la corriente necesaria depende del grosor del material y de la separación de las puntas. La tabla siguiente muestra las recomendaciones de la Norma 109-63 de la American Society for Testing Materials. (A efectos de este manual las dimensiones se indican en unidades SI).

Distancia entre las Puntas de Contacto e Intensidad de la Corriente

Tabla N° 01

Distancia entre Puntas	Menos de 75 mm	Espesor de la Sección Mayores de 75mm
50 a 100 mm	200 a 300 A	300 a 400 A
101 a 150 mm	300 a 400 A	400 a 600 A
151 a 200 mm	400 a 600 A	600 a 800 A

Fuente: **Destructivos, 2005 pág. 21**
 Elaborado por: **Los autores**

1.1.26.5 Imantación Directa e Indirecta

(Destructivos, 2005 pág. 23) Cuando la corriente imanadora pasa directamente a través de la pieza, se llama Imantación Directa, conseguida por conducción. La Imantación Indirecta se consigue por inducción. La Imantación Indirecta se consigue inducción cuando la corriente imanadora pasa a través de un conductor auxiliar.

1.1.26.6 Imantación Local

(Destructivos, 2005 pág. 25) A menudo no resulta práctico imanar la totalidad de una pieza de grandes dimensiones. Tales piezas pueden imanarse por secciones solamente pasando una corriente por ciertas áreas o secciones y empleando contactos o puntas de contacto. Esto produce un campo circular local en la zona comprendida entre los puntos de contacto. Las puntas de contacto se aplican a la superficie a inspeccionarse y se sostienen firmemente en posición mientras pasa la corriente. Las puntas de contactos y las zonas a inspeccionarse deberán hallarse suficientemente limpias para permitir el paso de elevadas corrientes sin que se produzca arco o quemaduras. Por esta razón, se aconseja un circuito abierto de bajo voltaje (2 a 16 V). El procedimiento habitual es establecer contacto directo con el espécimen, y cuando se necesita una segunda inspección, colocar las puntas de contacto en ángulos rectos con respecto a la línea de la primera.

Para evitar la formación de arco, es obligatorio disponer de un método apropiado para conectar y desconectar la corriente imanadora mientras que las puntas de contacto reposan sobre la pieza de trabajo.

1.1.26.7 Imantación Longitudinal con Yugo

(Destructivos, 2005 pág. 26) El método de imantación con yugo consiste en la creación de un campo longitudinal entre los polos magnéticos de un material tal como hierro dulce, conformado en forma de herradura. Alrededor de la porción comprendida entre ambos brazos se enrolla una bobina, que puede alimentarse con corrientes continuas, alternas o ambas, generando un campo que se completa en el material inspeccionado al establecer el contacto. El campo de distribución es longitudinal entre los brazos y un tanto radial alrededor de los polos; por lo tanto, la orientación probable de las discontinuidades detectables será transversal al campo magnético.

Imantación Longitudinal con Yugo

Figura N° 08



Fuente: **Destructivos, 2005** pág. 71

Elaborado por: **Los autores**

1.1.27 Equipo y materiales para la inspección por partículas magnéticas

(**Destructivos, 2005** pág. 71) El equipo y materiales empleados en la inspección por partículas magnéticas tratan de aplicaciones simples de principios fundamentales de física y electromagnetismo, Diferencias en la característica operativa del equipo (por ejemplo yugo magnético comparado con la operación de un aparato que funcione con corriente rectificadora de media onda) y variaciones deliberadas en la composición del material de inspección (por ejemplo polvo negro o fluorescente como medio indicador) pueden afectar notablemente las posibilidades de la inspección. La influencia del equipo sobre los resultados de la inspección dependerá fundamentalmente de la intensidad y tipo de las corrientes eléctricas generadas por la unidad. La concentración, tipo, tamaño, color, etc. de las partículas que comprenden los polvos magnéticos, y el método de su aplicación, hacen que las variantes de la inspección constituyan un factor importante en el desarrollo de la inspección.

Es por lo tanto de importancia práctica fundamental que la construcción y operación del equipo, la composición de los materiales de la inspección, y las técnicas empleadas en su evaluación sean conocidas y comprendidas por el técnico u operador.

El equipo empleado en la generación de campos magnéticos puede dividirse en dos grupos:

- (a) Equipo basado en campos generados eléctricamente.
- (b) Equipo que emplea imanes permanentes.

En la práctica el primer grupo es el que se emplea más ampliamente. No obstante, los imanes permanentes constituyen elementos útiles de inspección y aún cuando sus aplicaciones pueden ser limitadas, deben considerarse.

1.1.28 Equipo imantante

1.1.28.1 Aparatos Portátiles y Móviles

(Destructivos, 2005 pág. 72) Se dan muchos casos en que es preferible que sea el equipo el que se traslada al lugar donde se halla el material para la inspección por partículas magnéticas. Las unidades o equipos para este fin varían, desde un equipo con capacidad de 1000A que puede trasportarse a mano, hasta equipo mucho más pesado, sobre ruedas, cuya potencia máxima de salida puede ser de 6000A. Las unidades portátiles funcionan con voltajes de 120, 240 y 550 V y suministran corrientes imanadoras alternas o continuas a las sondas, bobinas o cabezales de contacto para su uso con partículas de inspección tanto secas como húmedas. Una de las características de este tipo de equipo es el de que frecuentemente tienen incorporadas unidades de desimanación gradual. La Figura N° 09 (a) ilustra una pequeña unidad o aparato que funciona con un voltaje de 120 V y una capacidad máxima de 700 A. El equipo de la Figura N° 09 (b) tiene capacidad de hasta 6000 A con control gradual de corriente AC o DC.

Aparatos Portátiles y Móviles

Figura N° 09



Fuente: **Destructivos, 2005 Pag 71**
Elaborado por: **Los autores**

1.1.28.2 Aparatos Fijos

(**Destructivos, 2005 pág. 73**) Estas unidades son más apropiadas en casos en los que es más conveniente, práctico o económico transportar el material que deba inspeccionarse al lugar de la inspección. El equipo fijo puede diseñarse para aplicaciones especiales en inspecciones de artículos de mucho o poco volumen, y tanto pequeños como grandes. Entre los ejemplos de inspecciones especializadas pueden citarse la inspección de cigüeñales diesel de 5m y grandes cantidades de pernos de alta resistencia. Las unidades fijas pueden ser de corriente alterna y/o continua, utilizando diversos tipos de control. En la inspección fluorescente por vía húmeda en la que las partículas y el medio pueden recuperarse y reutilizarse de nuevo, las unidades fijas son ideales. Estos tipos de aparatos se prestan a

procedimientos de inspección de artículos de producción automática o semiautomática. La Figura N° 10 muestra uno de estos tipos de aparato.

Aparatos fijos

Figura N° 10



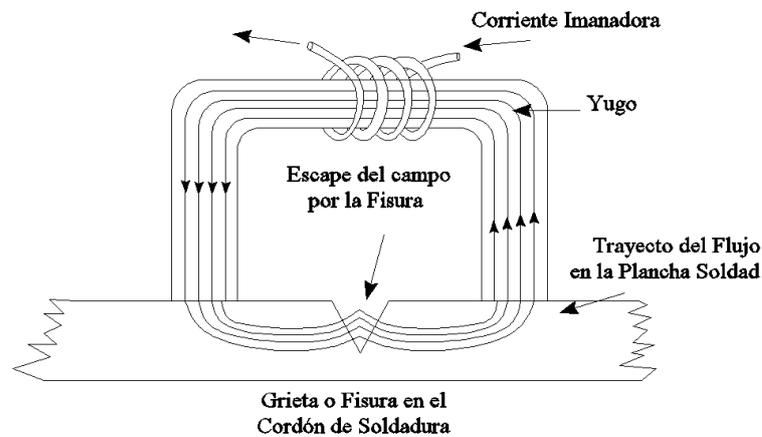
Fuente: **Destructivos, 2005** pág 73
Elaborado por: **Los autores**

1.1.28.3 Yugos

(Destructivos, 2005 pág. 73) El yugo es el generador más simple de campos magnéticos; básicamente consiste en una barra de hierro dulce o en un núcleo en forma de U, y un conductor enrollado alrededor de la porción central del núcleo. Debido a la alta permeabilidad del hierro dulce (y por lo tanto a su muy baja retentividad), cuando pase una corriente por la bobina se inducirá un fuerte campo longitudinal en el núcleo.

ESQUEMA OPERATIVO DE UN YUGO ELECTROMAGNÉTICO

Figura N° 11



Fuente: **Destructivos, 2005** pág 73
Elaborado por: **Los autores**

(**Destructivos, 2005** pág. 73) Los extremos del yugo se polarizan fuertemente y el circuito magnético se cierra en el aire, o con todo otro material ferromagnético que conecte los brazos del yugo; la intensidad del campo es función del número de espiras en la bobina y de la intensidad de la corriente que pasa por la misma.

La mayoría de los yugos han sido diseñadas para funcionar con corriente alterna de 115 V. Otros diseños requieren corriente alterna de 230 V mientras que otros aún funcionan por medio de baterías (los aparatos accionados con batería presentan ventajas únicas en las inspecciones sobre el terreno).

Los modelos más simples producen campos de corriente continua o alterna, según sea su fuente de alimentación. Los yugos más complejos comprenden un conmutador selector de AC/DC y un dispositivo de control para aumentar o reducir la corriente. Existen yugos de varios tamaños y con una separación promedio entre brazos de 150 a 200 mm. Los modelos con extremos flexibles permiten su ajuste a contornos superficiales diversos.

En la inspección por partículas magnéticas los principales atributos de los yugos son:

- (a) son pequeñas y portátiles,
- (b) pueden funcionar por medio de baterías en áreas alejadas de líneas eléctricas,
- (c) pueden emplearse en espacios limitados,
- (d) no tienen tendencia a producir puntos endurecidos como sucede con la imanación por puntas de contacto.

1.1.29 Las limitaciones inherentes a los yugos

(Destructivos, 2005 pág. 75)

(a) Tienen tendencia a sobrecalentarse, especialmente cuando se usan de modo continuo; por ello su uso debería limitarse solamente a ciclos periódicos.

(b) Como quiera que los yugos no van por lo general equipadas con amperímetros, la intensidad del campo no puede relacionarse directamente al flujo de corriente y deberá medirse por otros medios.

Las siguientes son algunas de las aplicaciones más importantes de la imantación por yugo:

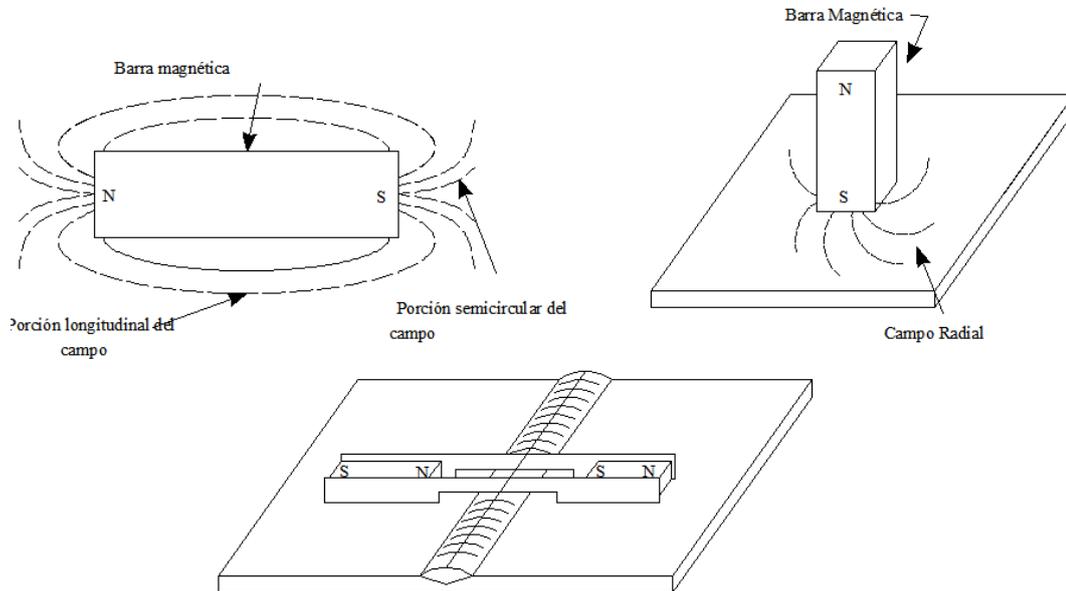
- (1) inspección de mantenimiento en servicio,
- (2) verificación puntual de soldaduras, especialmente entre pasadas,
- (3) investigación de áreas sospechosas (búsqueda de fallas).

1.1.30 Sobrecalentamiento del Equipo

(Destructivos, 2005 pág. 76) Los aparatos de inspección por partículas magnéticas pueden funcionar durante años con solo un mantenimiento periódico regular. Si se produce una avería importante la razón más probable será la de sobrecalentamiento interno o externo.

Sobrecalentamiento del equipo

Figura N° 12



Fuente: **Destructivos, 2005** pág 73
Elaborado por: Los autores

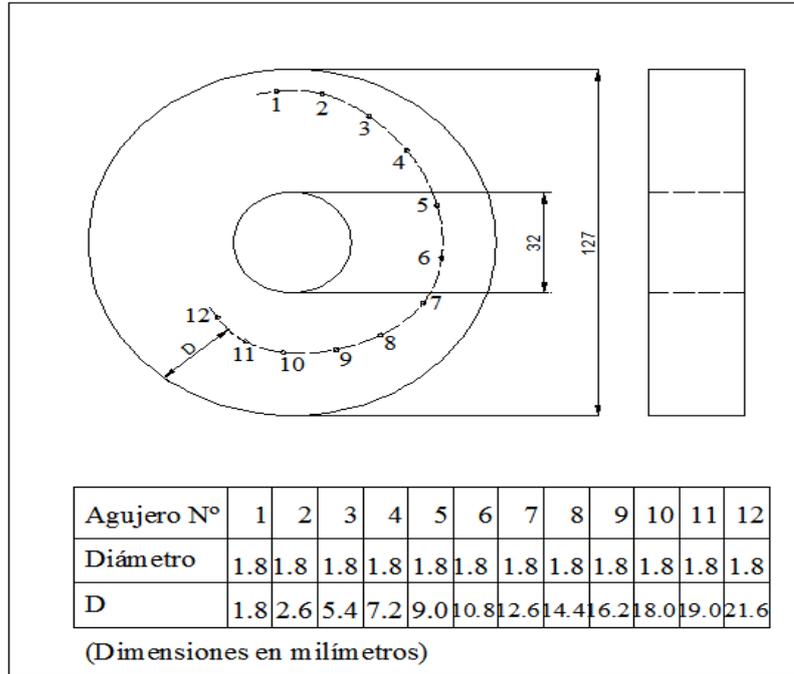
Combinación de dos barras magnéticas para la inspección de soldadura IMANES PERMANENTES

1.1.31 Anillo de Ketos

(**Destructivos, 2005** pág. 77) El anillo de Ketos (Figura N° 13y 14) es un ejemplo del tipo de dispositivo que puede emplearse para la comprobación de un aparato. Se inserta un conductor central en el agujero aplicándosele una corriente, después de lo cual se expone al medio indicador (medio líquido de una unidad fija). La efectividad del sistema puede determinarse empleando los agujeros ciegos de pequeños diámetros como indicadores de la fuga de flujo en el diámetro exterior del anillo. El método del Anillo de Ketos puede emplearse para precisar la condición del medio líquido o para especificar la potencia de salida de un sistema.

Esquema del Anillo de Ketos mostrando discontinuidades artificiales sub superficiales

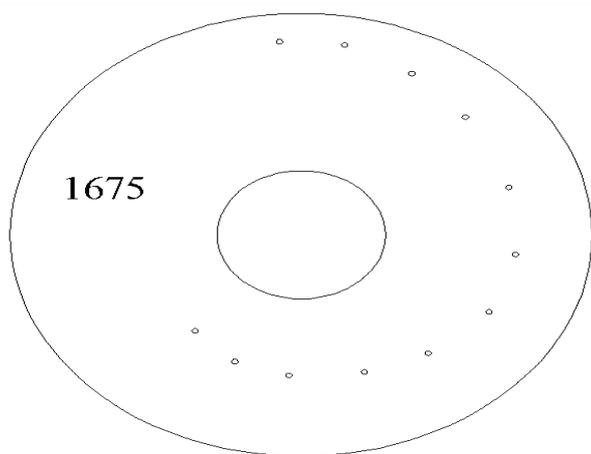
Figura N° 13



Fuente: **Destructivos, 2005** pág 77
 Elaborado por: **Los autores**

Espécimen del Anillo de Ketos

Figura N° 14



Fuente: **Destructivos, 2005** pág 77
 Elaborado por: **Los autores**

1.1.32 Banco de magnetización

(Destructivos, 2005 pág. 77) Las bancadas o bancos de magnetización están diseñados para la detección de defectos superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. Se utilizan para la inspección mediante ensayos por partículas magnéticas de piezas medianas y grandes.

Un banco de magnetización está formado por dos partes una parte mecánica y la otra parte eléctrica.

BANCO DE MAGNETIZACIÓN

Figura N° 15



Fuente: **Destructivos, 2005 pág 77**
Elaborado por: **Los autores**

La parte mecánica básicamente permite el alojamiento de los diferentes circuitos eléctricos y también la ubicación de los componentes que van a ser inspeccionados.

(Destructivos, 2005 pág. 77) La parte eléctrica constituye el corazón mismo de este equipo y de acuerdo a las necesidades del usuario puede ser diseñada para generar rangos de corriente desde 500 amperios hasta 20000 amperios, esto se basa en el tamaño de los objetos o partes a chequearse.

Estas bancadas permiten la aplicación de distintas técnicas de magnetización (AC, DC).

- Magnetización circular mediante paso de corriente a través de la pieza a inspeccionar.
- Magnetización circular de piezas con agujero por paso de corriente a través de conductor central.
- Magnetización longitudinal por paso de flujo magnético entre cabezales.

1.1.32.1 Componentes de un banco de magnetización

1.1.32.1.1 El Transformador

Para (CHAPMAN, 2000 pág. 61) “Un transformador es un dispositivo que cambia potencia eléctrica alterna de un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna a otro voltaje mediante la acción de un campo magnético. Consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas no están (usualmente) conectadas en forma directa. La única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo.”.

Según (FREILE, 2003 pág. 161) el transformador es una maquina eléctrica estática destinada a funcionar con corriente alterna, constituida por dos arrollamientos, primario y secundario, que permite transformar la energía eléctrica, con unas magnitudes V-I determinadas, a otras con valores en general diferentes.”

La importancia de los transformadores se debe a que gracias a ellos ha sido posible el enorme desarrollo en la utilización de la energía eléctrica, haciendo posible la realización práctica y económica del transporte de la energía a grandes distancias.

Según (HARPER, Enriquez, 2007 pág. 48), “El transformador es un dispositivo que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro conservando la frecuencia constante, lo hace bajo el principio de inducción electromagnética, tiene circuitos eléctricos que están eslabonados magnéticamente y aislados eléctricamente, usualmente lo hace con un cambio de voltaje, aunque esto no es necesario”.

1.1.32.1.2 Principio de funcionamiento

Según (GURÚ, 2001 pág. 254) transformador basa su principio de operación en la ley de inducción electromagnética de Faraday, es decir se basa en la operación mutua de fenómenos eléctricos y magnéticos, no contiene partes móviles y su f.e.m se induce por la variación del flujo magnético. En el análisis de transformadores se utilizan algunos términos que resulta de gran importancia distinguirlos para su mejor utilización, enseguida se indican algunos de estos términos.

Primario: Se refiere al lado del transformador que recibe la energía para su excitación, pudiendo ser el lado de baja tensión o de alta tensión.

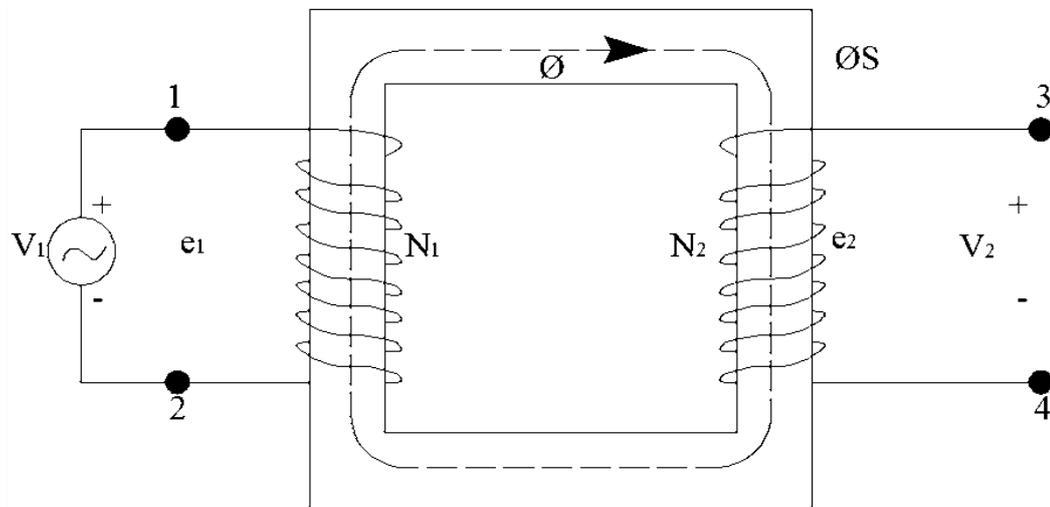
Secundario: Se refiere al lado donde se induce la f.e.m, pudiendo ser el lado de baja tensión o de alta tensión.

Alta Tensión: Es el devanado de mayor tensión del transformador, pudiendo ser el primario en caso de un transformador reductor o el secundario en caso de un transformador elevador.

Baja Tensión: Es el devanado de menor tensión del transformador, pudiendo ser el primario en caso de un transformador elevador o el secundario en caso de un transformador reductor. En la Figura N° 16 se observa el circuito equivalente de un transformador ideal sin carga, en este caso de acuerdo a las definiciones anteriores, el devanado del lado izquierdo recibe el nombre de primario, y el devanado de la derecha que se encuentra circuito abierto reciben nombre de secundario.

Transformador ideal sin carga.

Figura N° 16



Fuente: (B.S. Gurú, "Transformers", en Electric Machinery and transformers, pág.205).
Elaborado por: Los autores

1.1.32.1.3 Construcción del transformador

Las partes principales que componen un transformador son las siguientes:

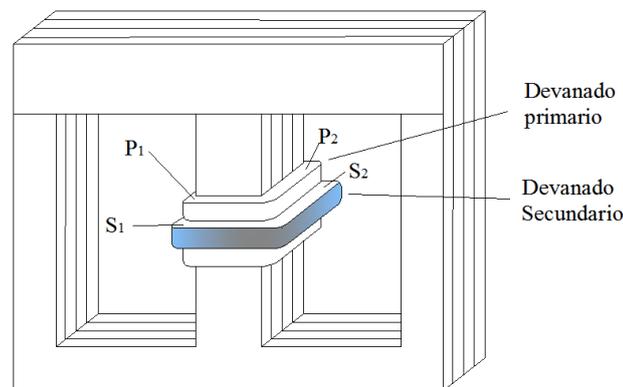
1. Núcleo.
2. Devanados primario y secundario.
3. Sistema de enfriamiento y aislamiento.
4. Tanque.
5. Accesorios.

El circuito magnético o núcleo tiene como función conducir el flujo magnético generado del transformador, además de concatenar a magnéticamente los circuitos eléctricos del primario y secundario. Está formado por laminaciones de acero al alto silicio de grano orientado y pérdidas bajas, además de una alta permeabilidad magnética. El devanado primario y secundario componen los circuitos eléctricos del transformador su función es crear un campo magnético para inducir una fuerza electromotriz en el secundario y transferir potencia eléctrica del primario y secundario de acuerdo con la ley de inducción electromagnética de Faraday. El

sistema de enfriamiento y aislamiento lo conforman materiales aislantes diversos como por ejemplo: cartón prensado, papel kraft, esmaltes, barnices y el propio aceite aislante o dieléctrico. En la Figura N° 17 se puede apreciar un transformador con núcleo tipo acorazado, como se observa ambos devanados se colocan en el centro del núcleo. Éste tipo de núcleo se recomienda utilizar en transformadores de potencia con rangos altos de voltaje.

Transformador tipo acorazado.

Figura N° 17



Fuente: (B.S. Gurú, “Transformers”, en *Electric Machinery and transformers*, pág.204).
Elaborado por: Los autores

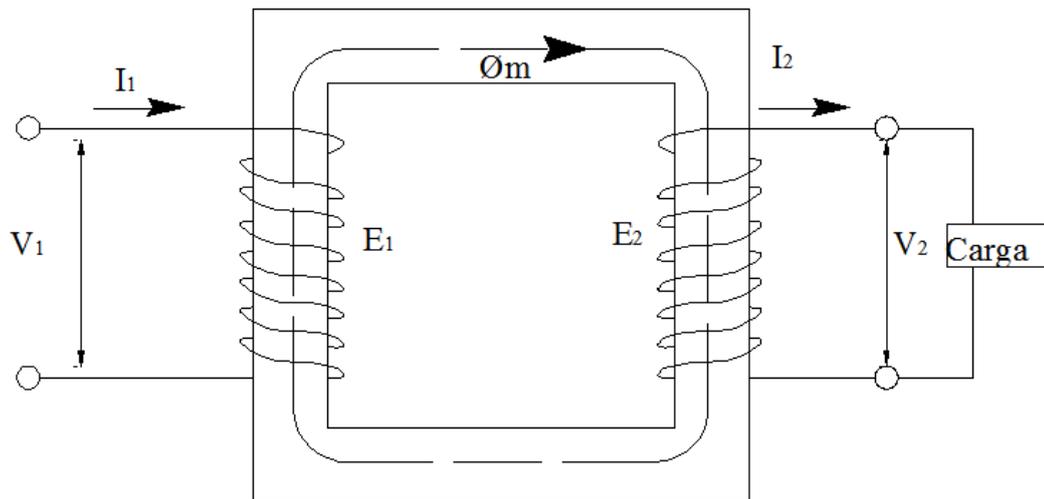
1.1.32.1.4 Relaciones en un transformador ideal

Según (L, Kosow I, 2003 pág. 596) Consideremos un transformador ideal con núcleo de hierro como el de la Figura N° 18 en el que los flujos de dispersión ϕ_1 y $\phi_2 = 0$ y $K = 1$. Un transformador de este tipo posee solo flujo mutuo ϕ_m , común a ambas bobinas primaria y secundaria. Cuando V_1 es positiva en un instante dado, como muestra la Figura N° 18, la corriente primaria I_1 da lugar a un flujo mutuo del sentido indicado. La tensión primaria inducida, E_1 , de acuerdo con la convención de puntos y la ley de Lenz, da lugar a una polaridad positiva en la parte superior de la bobina primaria, que en cada instante se opone a la tensión aplicada V_1 . De manera parecida, en el secundario, para el sentido indicado de ϕ_m que se muestra, la polaridad positiva de E_2 debe ser tal que cree un flujo desmagnetizante que se oponga a ϕ_m (ley de Lenz). Una carga conectada en los

bornes del secundario da lugar a una intensidad secundaria I_2 que circula en respuesta a la polaridad de E_2 y origina un flujo desmagnetizante.

Transformador con núcleo de hierro caso ideal

Figura N° 18



Fuente: L, 2003 pág. 596
Elaborado por: Los autores

1.1.33 Transformadores de corriente

Es aquel dispositivo capaz de modificar alguna característica de la energía eléctrica y su principio estructural en dos bobinas con dos o más devanados o arrollamientos alrededor de un centro común llamado núcleo. El núcleo es el elemento encargado de acoplar magnéticamente los arrollamientos de las bobinas primaria y secundaria del transformador. Esta construido superponiendo numerosas chapas de aleación acero – silicio, fin de reducir las pérdidas por histéresis magnética y aumentar la resistividad del acero. Su espesor suele oscilar entre 0,30 y 0,50 mm. La forma más sencilla de construir el núcleo de un transformador es la que consta de tres columnas, las cuales se cierra por las partes superior e inferior con otras dos piezas llamadas yugo o culata.

(//www.hiru.com/fisica/transformadores-de-corriente-transporte-de-energia),
2013)

Los transformadores tienen la capacidad de transformar el voltaje y la corriente a niveles más altos o más bajos. No crean por supuesto, la energía a partir de la nada; por lo tanto, si un transformador aumenta el voltaje de una señal, reduce su corriente; y si reduce el voltaje de la señal, eleva la corriente. En otras palabras, la energía que fluye a través de un transformador, no puede ser superior a la energía que haya entrado en él. Si se supone que en un transformador eléctrico no se producen pérdidas por efecto Joule ni otras formas de disipación de energía, y aplicando las leyes de Ohm y Faraday a estos sistemas, se obtiene que:

$$V_2 = -\frac{N_2}{N_1} E \quad \text{Ec. 08}$$

Siendo E la fuerza electromotriz aplicada al primario, V_2 el voltaje resultante en el secundario y N_1 y N_2 el número de espiras o vueltas del primario y el secundario, respectivamente.

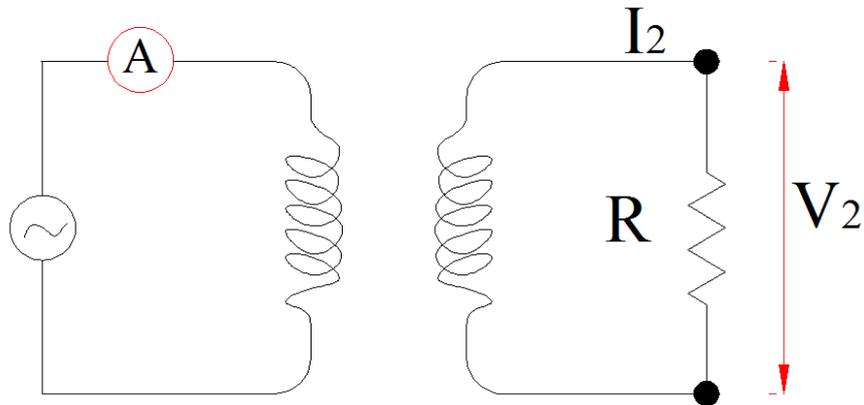
- Si $N_2 > N_1$, el voltaje aumenta (transformador elevador).
- Si $N_2 < N_1$, el voltaje disminuye (transformador reductor).

En ausencia de pérdidas energéticas, se tiene que la potencia aparente, calculada como el producto de la intensidad eficaz por el voltaje eficaz, se conserva entre el arrollamiento primario y el secundario.

$$S = I_{ef} V_{ef} = cte \quad \text{Ec. 09}$$

Perdidas de energía

Figura N° 19



Fuente:([//www.hiru.com/fisica/transformadores-de-corriente-transporte-de-energia](http://www.hiru.com/fisica/transformadores-de-corriente-transporte-de-energia)), 2013)
Elaborado por: Los autores

Al cerrar el secundario de un transformador se modifica la corriente que circula por el arrollamiento primario. El amperímetro interpuesto en el circuito de la ilustración detectará, en tal caso, el flujo de la corriente eléctrica.

1.1.34 Relación de corriente

Cuando no existen pérdidas en el núcleo del transformador, la potencia en el secundario es igual a la potencia en el primario. La relación de corriente es el inverso de la relación de voltaje; esto es, aumentar el voltaje en el secundario significa disminuir la corriente en el primario y viceversa. El secundario no genera potencia, solo la toma del primario. Por tanto, el aumento o disminución de la corriente, en términos de la que circula por el secundario (I_S), está determinada por la resistencia de carga conectada a través de este.

Como ayuda para llevar a cabo estos cálculos, recuérdese que el lado que tiene el mayor voltaje es por el que circula la menor corriente. El voltaje V y la corriente I en el primario y en el secundario se encuentran en la misma proporción que el número de vueltas en el primario y en secundario.

(//www.hiru.com/fisica/transformadores-de-corriente-transporte-de-energia),
2013)

1.1.35 Clasificación de los Transformadores.

Para (GURÚ, 2001 pág. 276) Los transformadores pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios:

- Según el tipo de núcleo, es decir, según la forma del circuito magnético: de columnas, acorazado o toroidal.

- Según la aplicación:
 - De potencia. Utilizados para distribuir energía entre centrales generadoras y subestaciones transformadoras; por tanto, trabajan en alta y media tensión (varias decenas de KV). De potencias entre 1MVA y 20 MVA.
 - De distribución. Utilizados para la alimentación de edificios, empresas, centros comerciales, etc. Manejan potencias inferiores a 1MVA y tensiones del orden de algunas decenas de KV.
 - De baja potencia. Normalmente se utilizan como reductores de tensión para fuentes de alimentación o para funciones de seguridad.
 - De medida y protección. Se utilizan para reducir los niveles de tensión o corriente de forma que sea posible la medida con voltímetros y amperímetros convencionales o bien para proteger contra excesos de corrientes o tensiones (mediante relés de protección). Los hay de dos tipos:

- Transformadores de tensión
- Transformadores de corriente

Los transformadores de potencia y de distribución se pueden clasificar, a su vez, considerando diferentes aspectos, como por ejemplo:

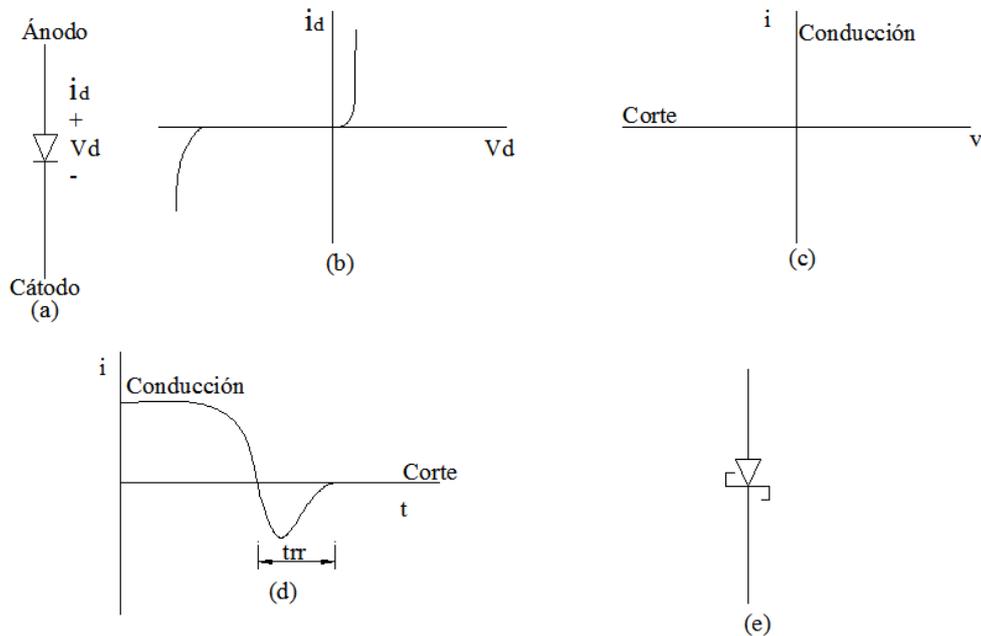
- Función:
 - Elevador
 - Reductor
 - Estabilizador
- Numero de fases
 - Monofásicos
 - Trifásicos
 - Polifásicos
- Ubicación: De instalación exterior(a la intemperie) o interior
- Ventilación: natural o forzada
- Agente refrigerante: refrigeración en seco o por aceite”

1.1.36 El diodo

Según **(DANIEL, Hart, 2001 pág. 3)** “El diodo es el interruptor electrónico más simple. No se puede controlar, en el sentido de que son las tensiones y corrientes del circuito los que determinan los estados de conducción (activado) y de corte (desactivado) del diodo. El diodo esta polarizado en directa (conducción) cuando la corriente i_d , es positiva y esta polarizado en inversa (en corte) cuando la tensión V_d , es negativa. En el caso ideal, el diodo se comporta como un cortocircuito cuando esta polarizado en directa y se comporta como un circuito abierto cuando esta polarizado en inversa. Las curvas características corrientes- tensión real e ideal.

Diodo

Figura N° 20



Fuente: **Daniel, 2001** pág. 4

Elaborado por: **Los autores**

1.1.37 Rectificador de media onda

Según (**DANIEL, Hart, 2001** pág. 65) “Un rectificador convierte corriente alterna en corriente continua. La finalidad de un rectificador puede ser generar una salida continua pura o proporcionar una onda de tensión o corriente que tenga una determinada componente continua.

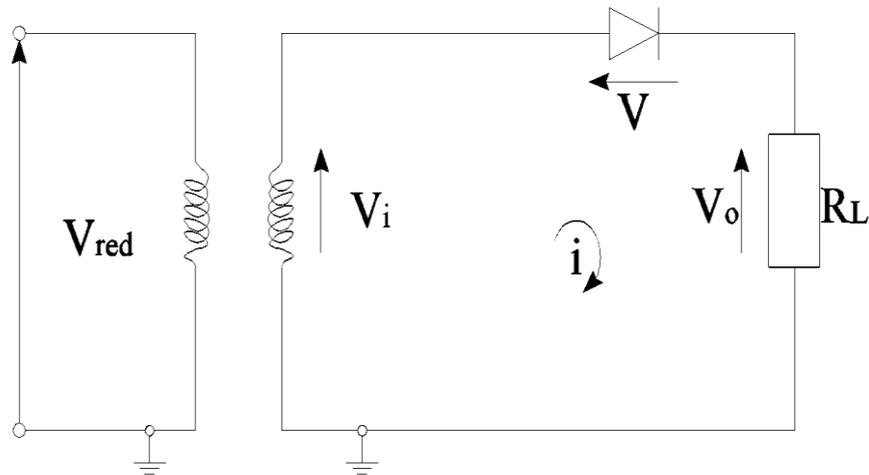
En la práctica, el rectificador de media onda se utiliza principalmente en aplicaciones de baja potencia, ya que la corriente media de la red de suministro no será cero y una corriente media distinta de cero puede causar problemas en el funcionamiento de los transformadores”

El rectificador de media onda es un circuito empleado para eliminar la parte negativa o positiva de una señal de corriente alterna de entrada (V_i) convirtiéndola en corriente directa de salida (V_o).

Es el circuito más sencillo que puede construirse con un diodo.

Circuito del diodo

Figura N° 21



Fuente: (http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/tema4/Paginas/Pagina3.htm), 2013)

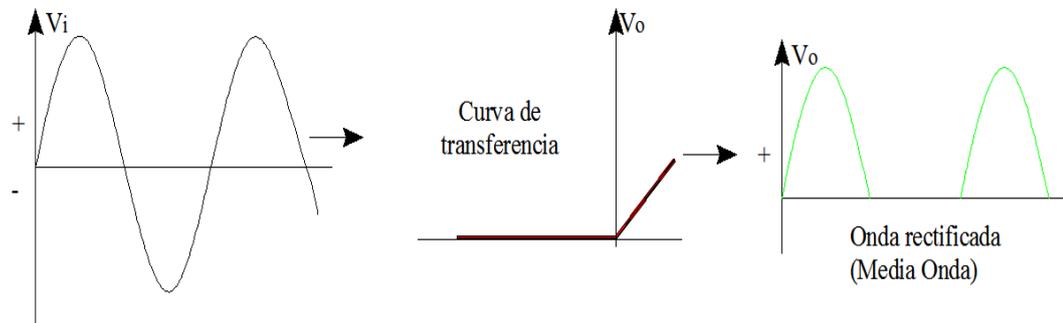
Elaborado por : Los autores

1.1.38 Tensión rectificada

En las figuras siguientes vamos a ver, la curva de transferencia, que relaciona las tensiones de entrada y salida, tiene dos tramos: para tensiones de entrada negativas la tensión de salida es nula, mientras que para entradas positivas, las tensiones son iguales. El resultado es que en la carga se ha eliminado la parte negativa de la señal de entrada. (<http://aaho96.blogspot.com/2012/05/diodos-rectificadores.html>), 2013)

Tensión rectificada

Figura N° 22



Fuente: (<http://aaho96.blogspot.com/2012/05/diodos-rectificadores.html>), 2013)

Elaborado por: Los autores

1.1.39 Tiristores

Según (DANIEL, Hart, 2001 pág. 4) Los tiristores son interruptores electrónicos utilizados en circuitos electrónicos de potencia donde es necesario controlar la activación del interruptor. Los tiristores constituyen una familia de dispositivos de tres terminales, entre los que se encuentran: el rectificador controlado de silicio (SCR), el triac, el tiristor de bloqueo por puerta (GTO) y el tiristor MCT o tiristor controlado por MOS (metal-oxido-semiconductor). Los tres terminales son el ánodo, el cátodo, y la puerta.

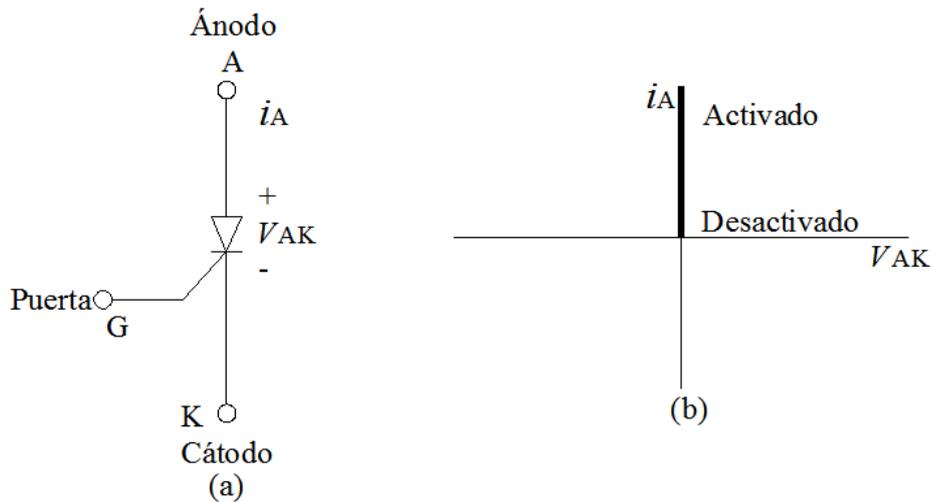
A veces se utilizan los términos tiristor y SCR como sinónimos. Los tiristores pueden soportar altas corrientes y altas tensiones de bloqueo en aplicaciones de alta potencia, pero las frecuencias de conmutación están limitadas a valores de entre 10 y 20 KHz, aproximadamente.

Para que el SCR entre en conducción, hay que aplicar una corriente de puerta cuando la tensión ánodo-cátodo sea positiva. Una vez que el dispositivo haya entrado en conducción, la señal de puerta deja de ser necesaria para mantener la corriente de ánodo. EL SCR continuara conduciendo mientras la corriente de ánodo siga siendo positiva y esté por encima de un valor mínimo, denominado

nivel de mantenimiento. Las Figuras N°23 (a) y 23 (b) muestran el SCR y la característica corriente-tensión ideal.”

Tiristores

Figura N° 23



Fuente: DANIEL, Hart, 2001pág. 5
Elaborado por. Los autores

1.1.40 Técnicas de conmutación de tiristores

(MUHAMMAD, Rashid, 2005 pág. 239) Por lo común un tiristor se activa mediante un pulso de señal de compuerta. Cuando el tiristor está en modo de conducción, su caída de voltaje es pequeña, entre 0,25 y 2 V, valor despreciado en este capítulo. Una vez activado el tiristor y satisfechos los requisitos de la carga, por lo general es necesario desactivarlo; esto significa que ha cesado la conducción directa del tiristor y que la reaplicación de un voltaje positivo al ánodo no causará un flujo de corriente, sin la correspondiente aplicación de la señal de compuerta. La conmutación es el proceso de desactivación de un tiristor, y por lo general causa la transferencia del flujo de corriente a otras partes del circuito.

Normalmente, para llevar a cabo la desactivación en un circuito de conmutación se utilizan componentes adicionales. Junto con el desarrollo de los tiristores, se han desarrollado muchos circuitos de conmutación, cuyo objetivo es reducir el proceso de desactivación de los tiristores.

Existen muchas técnicas para conmutar un tiristor. Sin embargo, éstas pueden ser clasificadas en dos grupos muy generales:

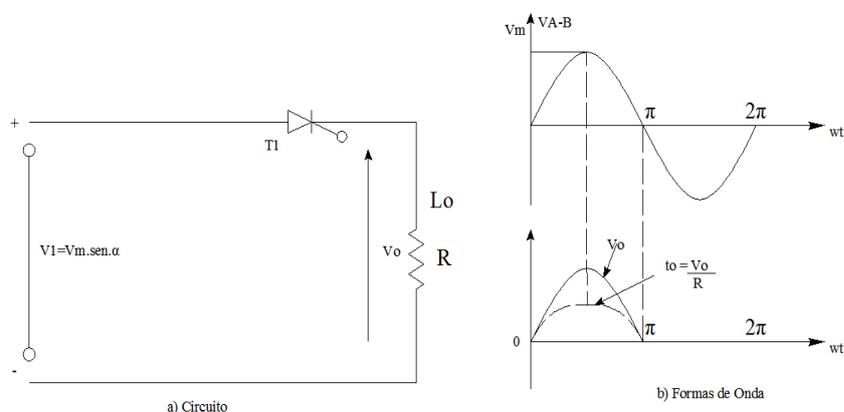
1. Conmutación natural
2. Conmutación forzada

1.1.41 Conmutación Natural

Para (MUHAMMAD, Rashid, 2005 pág. 240) Si el voltaje de la alimentación (o de la entrada) es de CA, la corriente del tiristor pasa a través de un cero natural, y a través del tiristor aparece un cero inverso. El dispositivo queda entonces desactivado en forma automática debido al comportamiento natural del voltaje de la alimentación. Esto se conoce como conmutación natural o conmutación en línea.

TIRISTOR CON CONMUTACIÓN

Figura N° 24



Fuente: MUHAMMAD, Rashid, 2005 pág. 240
Elaborado por: Los autores

1.1.42 Conmutación forzada

Dice (MUHAMMAD, Rashid, 2005 pág. 240) En algunos circuitos de tiristor, el voltaje de entrada es de DC. , para desactivar el tiristor, la corriente en sentido directo del tiristor se obliga a pasar por cero utilizando un circuito adicional conocido como circuito de conmutación. Esta técnica se conoce como conmutación forzada y por lo general se aplica a los convertidores de DC a DC (pulsadores) y en conversores de DC a AC (inversores).

1.1.43 Materiales metálicos

Para (Destructivos, 2005 pág. 33) Se denomina metal a los elementos químicos caracterizados por ser buenos conductores del calor y la electricidad. Poseen alta densidad y son sólidos en temperaturas normales (excepto el mercurio); sus sales forman iones electropositivos (cationes) en disolución.

La ciencia de materiales define un metal como un material en el que existe un solapamiento entre la banda de valencia y la banda de conducción en su estructura electrónica (enlace metálico). Esto le da la capacidad de conducir fácilmente calor y electricidad, y generalmente la capacidad de reflejar la luz, lo que le da su

peculiar brillo. En ausencia de una estructura electrónica conocida, se usa el término para describir el comportamiento de aquellos materiales en los que, en ciertos rangos de presión y temperatura, la conductividad eléctrica disminuye al elevar la temperatura, en contraste con los semiconductores.

El concepto de metal se refiere tanto a elementos puros, así como aleaciones con características metálicas, como el acero y el bronce. Los metales comprenden la mayor parte de la tabla periódica de los elementos y se separan de los no metales por una línea diagonal entre el boro y el polonio. En comparación con los no metales tienen baja electronegatividad y baja energía de ionización, por lo que es más fácil que los metales cedan electrones y más difícil que los ganen.

Ahora bien, podemos subdividir a los materiales metálicos en dos grupos importantes: los ferrosos y los no ferrosos.

Ferrosos: a este grupo pertenece el hierro y sus derivados: el acero y la fundición.

No ferroso: este grupo está formado por los demás metales y sus aleaciones.

(<http://www.arqhys.com/construccion/metalicos-materiales.html#9705>, 2013)

1.1.44 Materiales metálicos ferromagnéticos

Los materiales ferromagnéticos, compuestos de hierro y sus aleaciones con cobalto, tungsteno, níquel, aluminio y otros metales, son los materiales magnéticos más comunes y se utilizan para el diseño y constitución de núcleos de los transformadores y maquinas eléctricas. En un transformador se usan para maximizar el acoplamiento entre los devanados, así como para disminuir la corriente de excitación necesaria para la operación del transformador. En las maquinas eléctricas se usan los materiales ferromagnéticos para dar forma a los campos, de modo que se logren hacer máximas las características de producción de par. Los materiales ferromagnéticos poseen las siguientes propiedades y características que se detallan a continuación.

1.2 Discontinuidad en los materiales

(Destructivos, 2005 pág. 36) Se considera como discontinuidad en un material a todas aquellas fallas indicaciones y discrepancias que afecten directamente al correcto funcionamiento del material, parte o producto. Los diferentes tipos de discontinuidades pueden dividirse en tres categorías:

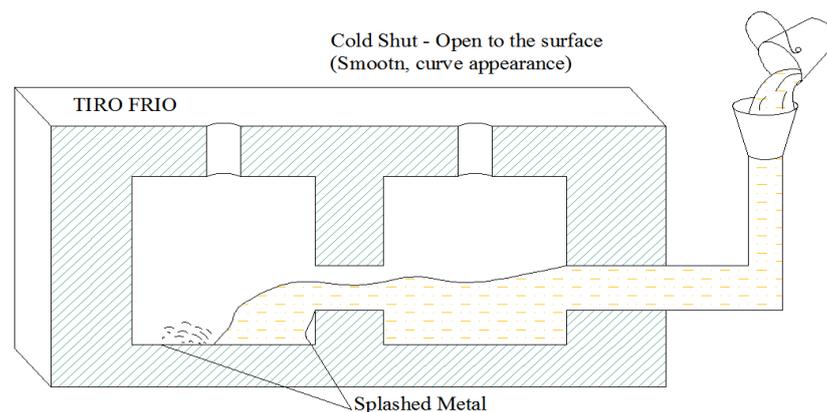
- Inherentes
- De proceso
- Servicio

1.2.1 Discontinuidades inherentes

(Destructivos, 2005 pág. 39) Las discontinuidades inherentes se forman usualmente cuando el material es derretido, están relacionadas con el derretido, vaciado y solidificación, usualmente causadas por una inadecuada alimentación, vaciado excesivo o gases atrapados.

Discontinuidades inherentes

Figura N° 25



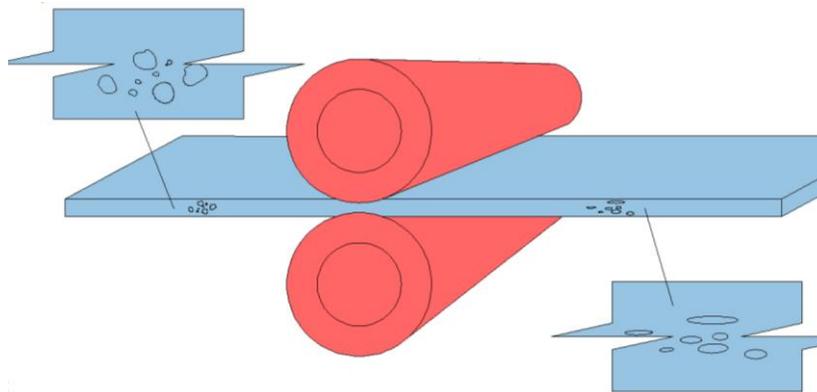
Fuente : Destructivos, 2005 pág. 39
Elaborado por: Los autores

1.2.2 Discontinuidades de proceso

(Destructivos, 2005 pág. 41) Son aquellas que se encuentran o se producen durante el proceso de formado, incluyendo la rodadura, la forja, la soldadura, el maquinado, el esmerilado y el tratamiento al calor.

Discontinuidades de proceso

Figura N° 26



Fuente : Destructivos, 2005 pág. 39
Elaborado por: Los autores

1.2.3 Discontinuidades de servicio

Relacionadas con varias condiciones de servicio como el estrés, corrosión, fatiga y erosión.

Discontinuidades de servicio

Figura N° 27



Fuente : Destructivos, 2005 pág. 39
Elaborado por: Los autores

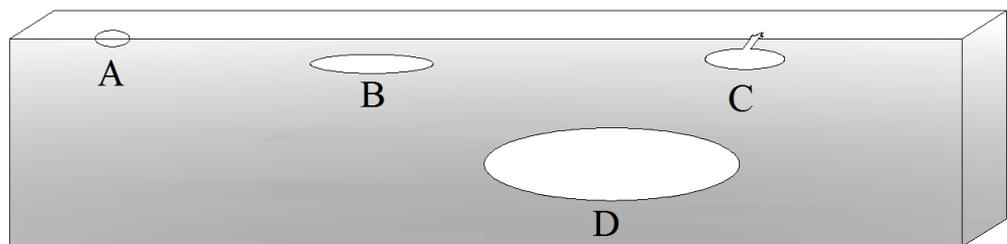
1.2.4 Clasificación de las discontinuidades de acuerdo a su ubicación

(Destructivos, 2005 pág. 45) Las discontinuidades se pueden clasificar en cuatro tipos:

- Superficiales (A)
- Sub superficiales (B)
- Sub superficiales abiertas a la superficie (C)
- Internas (D)

Clasificación de las discontinuidades

Figura N° 28



Fuente : Destructivos, 2005 pág. 45

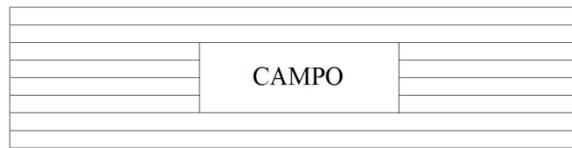
Elaborado por: Los autores

1.2.5 Discontinuidades detectables con partículas magnéticas

(Destructivos, 2005 pág. 52) Como sabemos el método de Partículas Magnéticas nos permite detectar discontinuidades superficiales y sub superficiales en materiales ferromagnéticos, es decir en aquella cuya estructura está compuesta por hierro (Fe).

Flujo magnético longitudinal de una pieza de material imanado.

Figura N° 29



Fuente : **Destructivos, 2005 pág. 39**

Elaborado por: **Los autores**

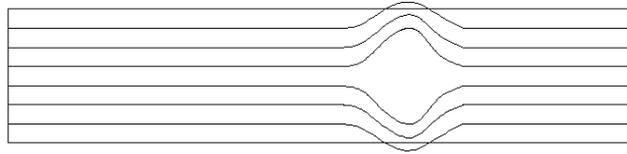
En ausencia de grietas o discontinuidades, las líneas del campo magnético pasan de un extremo al otro del objeto sin salir a la superficie.

1.2.6 Discontinuidad o Defecto Superficial y Subsuperficial

(**Destructivos, 2005 pág. 63**) En presencia de una discontinuidad o defecto, algunas líneas del campo magnético pudieran salir del objeto y al espacio. Si sobre la superficie del objeto mostrado en la Figura N° 30 rociamos partículas ferromagnéticas muy pequeñas, resultarán atraídas y retenidas por el campo de fuga en la región de la discontinuidad. Aún cuando esta pudiera ser muy pequeña para ser visible al ojo desnudo, el campo magnético podría aún resultar suficientemente perturbado como para atraer un número suficiente de pequeñas partículas que permitan formar una indicación visible. Estas partículas pueden colorearse para hacerlas más visibles y hacer así que el método de inspección sea más sensible. Aún cuando la discontinuidad no se abra sobre la superficie, el campo pudiera perturbarse lo suficiente como para que salga del objeto. Las partículas magnéticas pueden resultar por lo tanto atraídas a la superficie inmediatamente encima del defecto.

Discontinuidad o Defecto Superficial

Figura N° 30



Fuente : **Destructivos, 2005** pág. 63

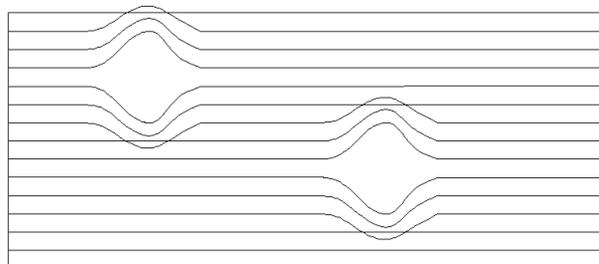
Elaborado por: **Los autores**

1.2.7 Discontinuidad Interna

(**Destructivos, 2005** pág. 56) Una discontinuidad oculta en el interior de un objeto pudiera no perturbar las líneas de fuerza para hacerlas salir de la superficie. En este caso no habrá atracción de partículas ni indicación superficial.

Discontinuidad Interna

Figura N° 31



Fuente : **Destructivos, 2005** pág. 56

Elaborado por: **Los autores**

Se ha visto el efecto de una grieta, y en la el efecto de una discontinuidad próxima a la superficie sobre el campo magnético. Dado que la permeabilidad del aire es mucho menor que la de los materiales ferromagnéticos, las líneas de flujo tienden a pasar por el espacio exterior más allá de los límites del material. Este efecto puede predecirse matemáticamente empleando la relación.

$$\mathbf{B} = \mathbf{u.H}$$

Ec. 10

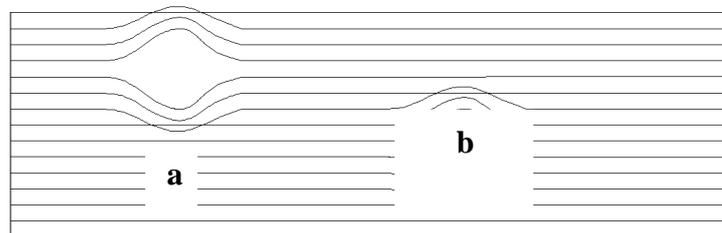
Si reducimos el valor de u sin que cambie H , el valor de B será menor. Esto quiere decir que en el aire existirá una menor densidad de flujo. El flujo o campo en el espacio exterior encima de una discontinuidad se conoce como flujo o campo de fuga.

1.2.8 Orientación de las Discontinuidades

(Destructivos, 2005 pág. 71) Una discontinuidad de orientación paralela al campo magnético en el objeto producirá un efecto mucho menor sobre el campo que una discontinuidad que sea perpendicular al campo.

Orientación de las Discontinuidades

Figura N° 32



Fuente : Destructivos, 2005 pág. 71
Elaborado por: Los autores

Como quiera que la discontinuidad “b” en la Figura N° 32 apenas interrumpe la continuidad del campo magnético, las partículas magnéticas atraídas al mismo serían muy pocas, si es que lo son. No obstante, la discontinuidad “a” produce una alteración considerable en el campo magnético haciendo que algunas líneas de flujo salgan fuera del material. Las partículas magnéticas serían más fácilmente atraídas a la superficie cerca de “a”, haciendo así que la discontinuidad sea mucho más detectable.

La sensibilidad de este método de inspección será mucho mejor para aquellas discontinuidades que tengan una orientación de 90° con relación al campo produciendo resultados aceptables aun cuando el ángulo de tal orientación se reduzca hasta unos 75° .

CAPÍTULO II

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

2.1 Antecedentes investigativos

En el desarrollo del proceso investigativo, se tomó en consideración el siguiente trabajo:

De la escuela Politécnica Nacional de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, con el tema: Diseño y construcción de un control de corriente para el equipo de magnetización de banco para la detección de discontinuidades en materiales ferromagnéticos, del Sr. Rueda Panchano Carlos.

2.2 Antecedentes históricos

El CIMAM nació como un requerimiento de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, para proporcionar soluciones a los problemas técnico-operacionales de la flota de aviones militares, así como, a los equipos y sistemas de la CIMAM, fortaleciendo el poder aeronáutico del Ecuador a través de la autosuficiencia tecnológica.

Para cumplir con las tareas de modificación, integración, desarrollo y modernización de sistemas y aeronaves, el CIMAM ha tenido que incursionar en varios campos de la ingeniería, específicamente en las áreas de: aeronáutica, mecánica, electrónica y armamento, obteniéndose como resultado el impulso de las secciones de: Aerodinámica, Estructuras, Materiales Compuestos, Propulsión, Performance, Adquisición de Datos, Telemática, Dispositivos Electrónicos, Control, Guiado y Navegación, entre otros. Durante su corto tiempo de vida este centro a desarrollado trabajos que por su relevancia y tecnología le han significado para la Fuerza Aérea Ecuatoriana un ahorro de más de diez millones de dólares.

La experiencia adquirida por el CIMAM durante sus años de operación, apoyada en sus recursos (hardware y software) y la capacitación de su personal, le han permitido incursionar en proyectos multidisciplinarios que involucran los esfuerzos de todas las áreas (electrónica, estructuras y aerodinámica), además de permitirle asesorar y colaborar con las otras ramas de las Fuerzas Armadas del Ecuador en los problemas que presentan los materiales aeronáuticos, incluso a la empresa privada, quienes se han visto beneficiados de las capacidades adquiridas por este centro.

2.3 Filosofía institucional

La filosofía institucional se encamina al cumplimiento de elementos como la misión y visión de tallados de la siguiente manera:

Visión

Constituirse en un Centro de Ingeniería y Mantenimiento de aeronaves militares, con altos estándares de calidad, líder en el campo aeronáutico y reconocido tanto a nivel nacional como internacional.

Misión

Proveer servicios aeronáuticos especializados en las áreas de Ingeniería, Mantenimiento, Modificación y Modernización de aviones militares.

2.4 Análisis de la infraestructura tecnológica de la institución

El CIMAM se ha constituido en un organismo líder en el diseño, construcción, reparación, integración y modificación de sistemas aeronáuticos, a través de desarrollo de trabajos de ingeniería que por su naturaleza requieren ser ejecutados bajo normas y estándares militares y civiles de alta exigencia, los mismos que han obligado a elaborar una serie de procedimientos que permiten que el producto se enmarque dentro de los requerimientos del cliente, alcanzando el reconocimiento de empresas tanto nacionales como extranjeras.

Los diferentes centros de mantenimiento de las Fuerzas Armadas de nuestro país han confiado en los trabajos realizados en sus aeronaves por el CIMAM, ya que además de que sus procesos cumplen con estándares de calidad, cuenta con un personal técnico calificado y con gran experiencia en el campo aeronáutico, lo que garantiza un servicio especializado con importantes resultados y en condiciones operacionales óptimas para el cumplimiento de cualquier misión.

El centro ha forjado su know-how gracias a la investigación y el ingenio de todo su equipo de trabajo, que con esfuerzo y dedicación ha dejado su huella en cada uno de los proyectos ejecutados.

2.5 Análisis e Interpretación de resultados

Análisis

El análisis de la información en el proceso investigativo, se lo ha realizado en base a los objetivos planteados. La estadística constituyó una herramienta fundamental para el análisis de la información mediante la utilización del programa EXCEL. De tal manera que se estableció un análisis de los resultados de la información recopilada, el cual se demuestra por cuadros de sumatorias tanto en las diferentes variables de la problemática en estudio como sus diferentes frecuencias, realizando un análisis exhaustivo de cada una de las preguntas, el cual se representó por medio de gráficos con descripciones de los datos.

Interpretación

El objetivo de la interpretación es buscar un significado más amplio a las respuestas mediante su enlace con otros conocimientos disponibles. Ambos propósitos, por supuesto, presiden la totalidad del proceso de investigación, todas las fases precedentes han sido tomadas y ordenadas para hacer posible la realización de estos dos últimos momentos, entonces la recopilación de datos es el registro sistemático de la información; el análisis de datos supone el trabajo de descubrir patrones y tendencias en las series de datos; la interpretación de datos supone la explicación de esos patrones y tendencias de manera que se conocen los cambios que se necesitan efectuar en la institución.

Pregunta N° 01

¿Cómo califica el desarrollo tecnológico de las empresas de aviación?

Calificación del desarrollo

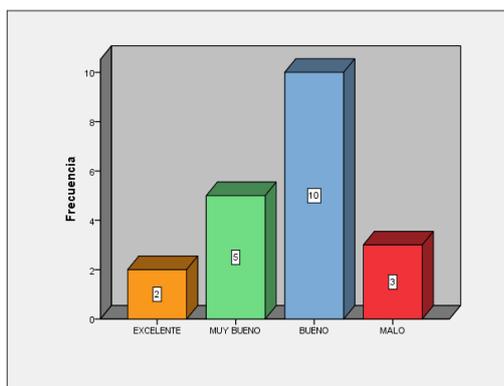
Tabla N° 02

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
EXCELENTE	2	10,0	10,0	10,0
MUY BUENO	5	25,0	25,0	35,0
BUENO	10	50,0	50,0	85,0
MALO	3	15,0	15,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

Fuente: **Personal Técnico**
Elaborado por: **Los autores**

Calificación del desarrollo

Gráfico N° 05



Análisis e interpretación

El 10% del total de personas encuestadas califican el desarrollo tecnológico de las empresas de aviación como Excelente, el 25% lo califican como Muy bueno un 50% lo califican como Bueno, y el 15% de encuestados lo califican como Malo.

La mitad de los encuestados, indican que el desarrollo tecnológico de las empresas de aviación, es buena, es decir existe apertura a generar cambios, en el cual la innovación es parte del progreso.

Pregunta N° 02

¿En el sector de la aviación existen todos los recursos materiales y humanos para una eficiente participación en el mercado?

Eficiente participación

Tabla N° 03

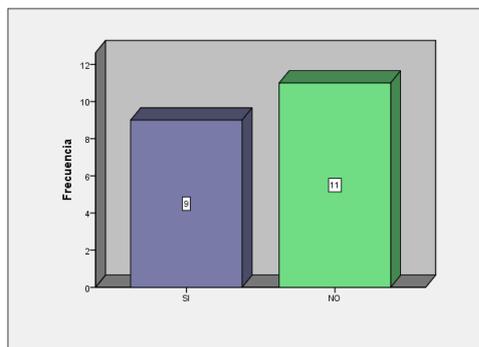
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
SI	9	45,0	45,0	45,0
NO	11	55,0	55,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

Fuente: Personal Técnico

Elaborado por: Los autores

Eficiente participación

Gráfico N° 06



Análisis e interpretación

Según la encuesta el 45% del total de personas encuestadas consideran que en el sector de la aviación SI existen todos los recursos materiales y humanos para una eficiente participación en el mercado, y el 55% consideran que NO existen los recursos para la participación en el mercado.

La mayoría de los encuestados, manifiestan que en el sector de la aviación si existen todos los recursos materiales y humanos para una eficiente participación en el mercado, lo cual debe ser aprovechado para generar investigación y desarrollo y encaminarlo para fortalecerlo como industria.

Pregunta N° 03

¿Considera necesario establecer el diseño y construcción de un banco de magnetización?

Establecer el diseño

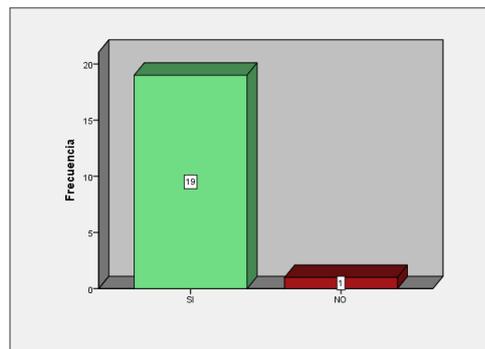
Tabla N° 04

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
SI	19	95,0	95,0	95,0
NO	1	5,0	5,0	100,0
Válidos Total	20	100,0	100,0	

Fuente: **Personal Técnico**
Elaborado por: **Los autores**

Establecer el diseño

Gráfico N° 07



Análisis e interpretación

El 95% del total de personas encuestadas Si considera necesario establecer el diseño y construcción de un banco de magnetización, y el 5% NO lo considera necesario

Para la mayoría de los encuestados si es necesario establecer el diseño y construcción de un banco de magnetización, ya que el mismo será un puente de entrada al desarrollo tecnológico en el sector, para posteriormente generar un mercado ofertante del producto en el sector de la aviación.

Pregunta N° 04

¿Cuál sería la ventaja del diseño y construcción de un banco de magnetización?

Ventaja del diseño

Tabla N° 05

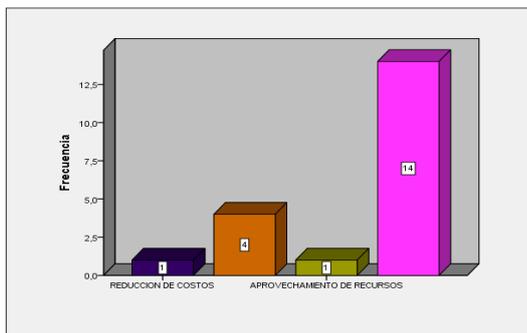
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	REDUCCION DE COSTOS	1	5,0	5,0
	INNOVACION TECNOLÓGICA	4	20,0	25,0
	APROVECHAMIENTO DE RECURSOS	1	5,0	30,0
	TODAS	14	70,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0

Fuente: **Personal Técnico**

Elaborado por: **Los autores**

Ventaja del diseño

Gráfico N° 08



Análisis e interpretación

Según la encuesta el 5% del total de personas encuestadas manifiestan que la ventaja del diseño y construcción del banco de magnetización sería la Reducción de costos, el 20% manifiesta que la ventaja sería la Innovación tecnológica, otro 5% manifiesta que sería el Aprovechamiento de los recursos, y el 70% manifiesta que serían Todas.

Se indica por un alto número de encuestados, que el diseño y construcción de un banco de magnetización, generará la oportunidad de muchas cosas y por ende las ventajas serían múltiples, de tal manera que la gestión administrativa, financiera y técnica debe direccionarse a establecer este elemento.

Pregunta N° 05

¿En la institución existe la infraestructura necesaria para este tipo de desarrollo tecnológico?

Infraestructura necesaria

Tabla N° 06

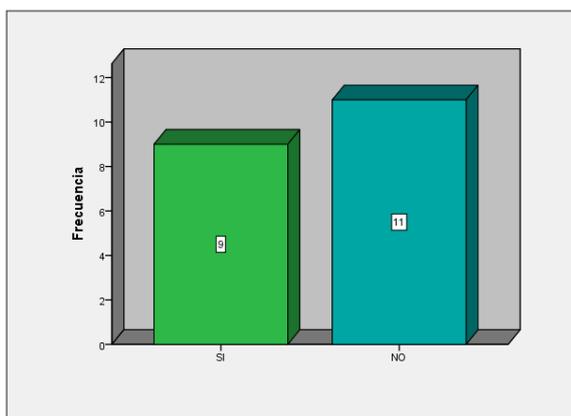
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos SI	9	45,0	45,0	45,0
NO	11	55,0	55,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

Fuente: Personal Técnico

Elaborado por: Los autores

Infraestructura necesaria

Gráfico N° 09



Análisis e interpretación

El 45% del total de personas encuestadas manifiestan que en la institución SI existe la infraestructura necesaria para este tipo de desarrollo tecnológico, y el 55% manifiestan que NO existe

La mayor parte de los encuestados, manifiestan que no existe la infraestructura necesaria, de tal manera que es importante establecer acciones enfocadas a la disponibilidad física para ejecutar este tipo de proyectos y entonces ser referente institucional en el medio.

Pregunta N° 06

¿Cómo califica el proceso administrativo para efectuar el diseño y construcción del banco de magnetización en la institución?

Calificación del proceso administrativo

Tabla N° 07

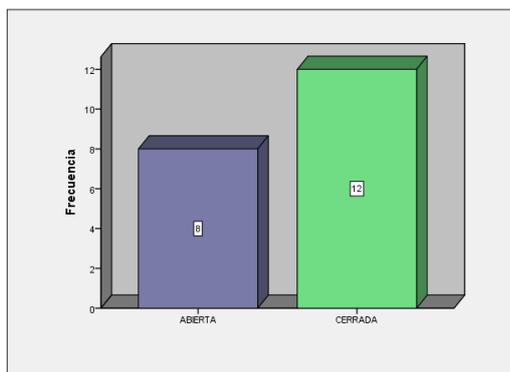
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
ABIERTA	8	40,0	40,0	40,0
CERRADA	12	60,0	60,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

Fuente: Personal Técnico

Elaborado por: Los autores

Calificación del proceso administrativo

Gráfico N° 10



Análisis e interpretación

El 40% del total de personas encuestadas califican el proceso administrativo para efectuar el diseño y construcción de la banca de magnetización en la institución como Abierta, y el 60% la califica como Cerrada.

Se indica por la mayoría de los encuestados, que la gestión administrativa está cerrada a la generación de un proyecto de estos, debido a que existe burocracia que no permite generar una apertura para aprovechar cada uno de los recursos institucionales limitando esto el progreso en innovación técnica.

Pregunta N° 07

¿Existe en el mercado proveedores de este instrumento tecnológico?

Proveedores en el mercado

Tabla N° 08

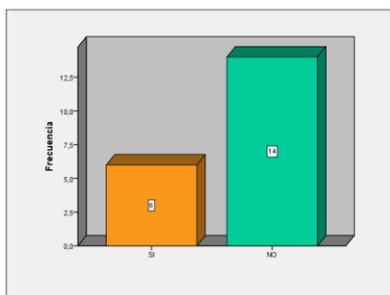
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
SI	6	30,0	30,0	30,0
Válidos NO	14	70,0	70,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

Fuente: **Personal Técnico**

Elaborado por: **Los autores**

Proveedores en el mercado

Gráfico N° 11



Análisis e interpretación

Según la encuesta el 30% del total de personas encuestadas consideran que SI existe en el mercado proveedores de este instrumento tecnológico, y el 70% de encuestados consideran que NO existe en el mercado.

Para un alto número de encuestados, indican que en el mercado, no existe proveedores de este instrumento tecnológico, lo cual se debe tener en cuenta para generar una oportunidad de aprovisionamiento en el mercado ya si la institución encabeza el aprovisionamiento en el sector de la aviación en base a innovación, desarrollo y creatividad.

Pregunta N° 08

¿Cuáles son los factores que generan que la institución se convierta en un proveedor de un banco de magnetización?

Factores que generan

Tabla N° 09

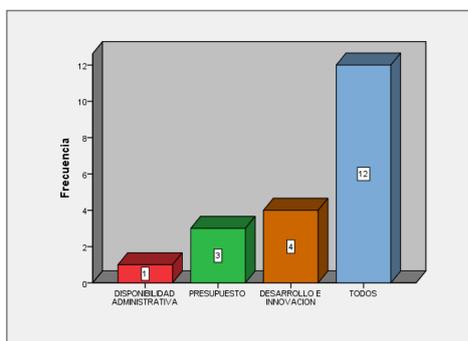
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	DISPONIBILIDAD ADMINISTRATIVA	1	5,0	5,0
	PRESUPUESTO	3	15,0	20,0
	DESARROLLO E INNOVACION	4	20,0	40,0
	TODOS	12	60,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0

Fuente: Personal Técnico

Elaborado por: Los autores

Factores que generan

Gráfico N° 12



Análisis e interpretación

El 5% del total de personas encuestadas consideran que los factores que generan que la institución se convierta en un proveedor de un banco de magnetización es la Disponibilidad administrativa, el 15% considera que es el Presupuesto, un 20% considera que es el Desarrollo e innovación y el 60% consideran que son Todos. Manifiestan un alto número de los encuestados, que en la institución existen todos, los elementos administrativos, financieros para generar este proyecto de tal manera que se debe incentivarlo para así poder ser referente de innovación tecnológica en el medio.

Pregunta N° 09

¿Considera necesario que la institución apoye la producción continua de este proyecto tecnológico para convertirse en proveedor en el mercado de aviación?

Apoyo a la producción continua

Tabla N° 10

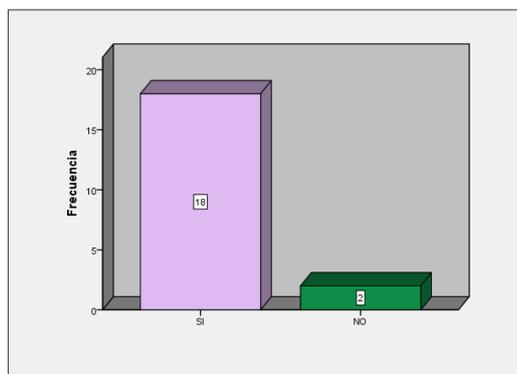
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos SI	18	90,0	90,0	90,0
NO	2	10,0	10,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

Fuente: Personal Técnico

Elaborado por: Los autores

Apoyo a la producción continua

Gráfico N° 13



Análisis e interpretación

Según el 90% del total de personas encuestadas consideran que SI es necesario que la institución apoye la producción continua de este proyecto tecnológico para convertirse en proveedor en el mercado de aviación, y el 10% consideran que NO es necesario.

Es importante para un alto número de los encuestados, que la institución apoye este tipo de proyectos, con la finalidad de generar un mercado abierto al producto y entonces poder ser proveedor interno y externo.

Pregunta N° 10

¿Cuál es la ventaja de generar un control sobre las discontinuidades superficiales y subsuperficiales?

Ventaja del control

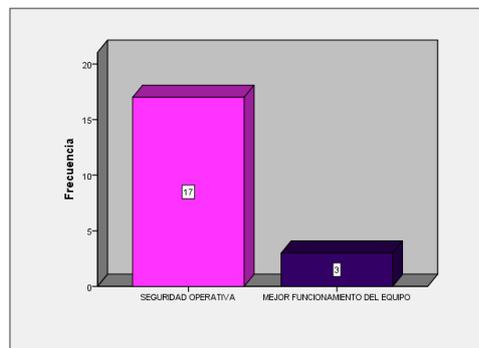
Tabla N° 11

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
SEGURIDAD OPERATIVA	17	85,0	85,0	85,0
MEJOR FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO	3	15,0	15,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

Fuente: **Personal Técnico**
Elaborado por: **Los autores**

Ventaja del control

Gráfico N° 14



Análisis e interpretación

El 85% del total de personas encuestadas manifiestan que la ventaja de generar un control sobre las discontinuidades superficiales y subsuperficiales es la Seguridad operativa y el 15% restante manifiesta que es el Mejor funcionamiento del equipo.

Se indica por un alto número de los encuestados, que la ventaja de generar un control sobre las discontinuidades superficiales y subsuperficiales es la generación de la seguridad operativa ya que generará mejor utilización de los recursos.

2.6 Verificación de la hipótesis

Para verificar la hipótesis se utilizó la prueba estadística del chi-cuadrado que es un estadígrafo no paramétrico o de distribución libre que nos permite establecer correspondencia entre valores observados y esperados, llegando hasta la comparación de distribuciones enteras, es una prueba que permite la comprobación global del grupo de frecuencias esperadas calculadas a partir de la hipótesis que se quiere verificar.

Combinación de frecuencias

Para establecer la correspondencia de las variables se eligió dos preguntas al azar a través del formulario de encuestas de cada una de las variables, en el cual la probabilidad de la pregunta permitió efectuar el proceso de combinación, posteriormente.

Frecuencia Observada

Tabla N° 12

Frecuencias Observada			
Preguntas	SI	NO	Subtotal
	SI	NO	
2.-¿En el sector de la aviación existen todos los recursos materiales y humanos para una eficiente participación en el mercado?	9	11	20
9.- ¿Considera necesario que la institución apoye la producción continua de este proyecto tecnológico para convertirse en proveedor en el mercado de aviación?	18	2	20
Total	27	13	40

Fuente: **La encuesta**

Elaborado por: **Los autores**

Combinación de frecuencias

Para establecer las frecuencias observadas se establece el cálculo de correspondiente a la correlación, lo cual da lugar a la correspondencia de los valores observados.

Frecuencia Esperada

Tabla N° 13

Frecuencia Esperada		
2.-¿En el sector de la aviación existen todos los recursos materiales y humanos para una eficiente participación en el mercado?	Si	$(27 * 20) /40 = 13,50$
	No	$(13 * 20) /40 = 6,50$
9.- ¿Considera necesario que la institución apoye la producción continua de este proyecto tecnológico para convertirse en proveedor en el mercado de aviación?	Si	$(27 * 20) /40 = 13,50$
	No	$(13 * 20) /40 = 6,50$

Fuente: **La encuesta**

Elaborado por: **Los autores**

Modelo Lógico

H₀ = - El Diseño y construcción de un banco de magnetización no permitirá mejorar la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos en el centro de ingeniería y mantenimiento de aviones militares, ubicado en la Base Aérea Cotopaxi en la ciudad de Latacunga

H₁= El Diseño y construcción de un banco de magnetización si permitirá mejorar la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales

ferromagnéticos en el centro de ingeniería y mantenimiento de aviones militares, ubicado en la Base Aérea Cotopaxi en la ciudad de Latacunga

Nivel de Significación

El nivel de significación con el que se trabaja es del 5%.

$$X^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E} \quad \text{Ec.11}$$

En donde:

X^2 = Chi-cuadrado

\sum = Sumatoria

O = Frecuencia observada

E = Frecuencia esperada o teórica

Nivel de Significación y Regla de Decisión

Grado de Libertad

Para determinar los grados de libertad se utiliza la siguiente fórmula:

$$GL = (f-1) (c-1)$$

$$GL = (2-1) (2-1)$$

$$GL = 1*1$$

$$GL = 1$$

Grado de significación

$$\alpha = 0.05$$

En donde:

O = Frecuencia Observada

E = Frecuencia Esperada

O-E = Frecuencias observada- frecuencias esperadas

$O-E^2$ = Resultado de las frecuencias observadas y esperadas al cuadrado

$O-E^2 / E$ = Resultado de las frecuencias observadas y esperadas al cuadrado dividido para las frecuencias esperadas

En tanto que el cálculo de las frecuencias esperadas se efectúa de la multiplicación de los totales de cada extremo de la tabla dividido para el gran total, para la tabla de frecuencias esperadas.

Tabla de Contingencia

Tabla N° 14

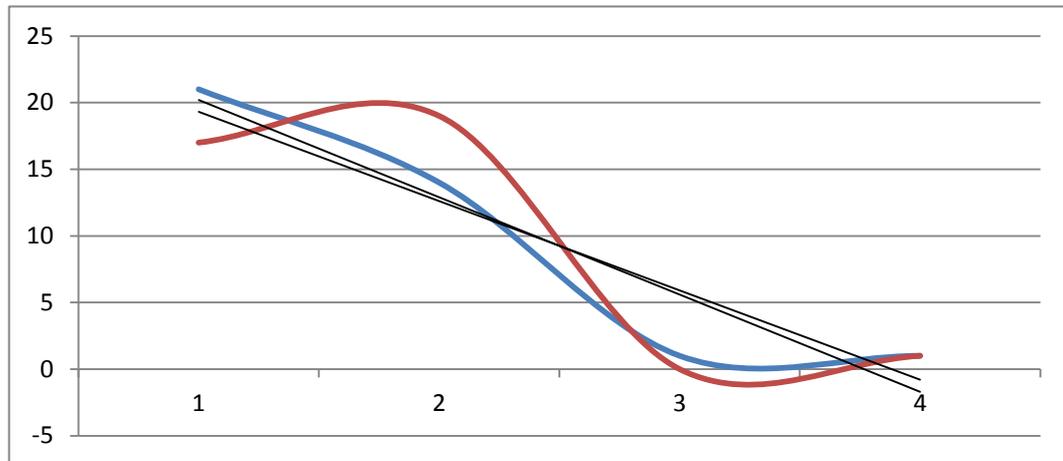
Tabla de Contingencia						
Preguntas		O	E	O-E	$(O-E)^2$	$(O-E)^2/E$
2.- ¿En el sector de la aviación existen todos los recursos materiales y humanos para una eficiente participación en el mercado?	SI	9	13,50	-4,50	20,25	1,50
	NO	11	6,50	4,50	20,25	3,12
9.- ¿Considera necesario que la institución apoye la producción continua de este proyecto tecnológico para convertirse en proveedor en el mercado de aviación?	SI	18	13,50	4,50	20,25	1,50
	NO	2	6,50	-4,50	20,25	3,12
Total		40	40,00			9,23

Fuente: **La encuesta**

Elaborado por: **Los autores**

GRÁFICO DE VERIFICACIÓN

Gráfico N° 15



Fuente: **La encuesta**
Elaborado por: **Los autores**

Datos para la Decisión

Tabla N° 15

Datos para la Decisión	
Nivel de Significación	= 0,05
Valor Crítico	= 3,84
ΣX^2	= 9,23

Fuente: **La encuesta**
Elaborado por: **Los autores**

Conclusión

El valor de $X^2_t = 3.84 < X^2_c = 9.23$ de esta manera se acepta la hipótesis alterna, que indica El Diseño y construcción de un banco de magnetización si permitirá mejorar la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos en el Centro de Ingeniería y Mantenimiento de Aviones Militares, ubicado en la Base Aérea Cotopaxi en la ciudad de Latacunga.

Tabla de Verificación

Tabla 16

g.l	NIVELES					
	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5
g.l	0.995	0.99	0.97	0.95	0.90	0.75
1	7.88	6.63	5.02	3.84	2.71	1.32
2	10.60	9.21	7.38	5.99	4.61	2.77
3	12.80	11.30	9.35	7.81	6.25	4.11
4	14.90	13.30	11.10	9.49	7.78	5.39

2.7 Hipótesis

El Diseño y construcción de un banco de magnetización permitirá ampliar la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos en el Centro de Ingeniería y Mantenimiento de Aviones Militares, ubicado en la Base Aérea Cotopaxi en la ciudad de Latacunga.

CAPÍTULO III

PROPUESTA

Tema:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE MAGNETIZACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES Y SUBSUPERFICIALES EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS EN EL CENTRO DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO DE AVIONES MILITARES, UBICADO EN LA BASE AÉREA COTOPAXI EN LA CIUDAD DE LATACUNGA.

3.1 Presentación de la propuesta

La propuesta por tanto es importante porque pretende generar una innovación tecnológica, la cual permite desarrollar una inversión orientada al diseño y construcción de un banco de magnetización para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos aplicables a componentes en la industria aeronáutica.

Por tanto el interés es optimizar cada uno de los recursos institucionales y enfocarlos a la competitividad y entonces satisfacer los requerimientos de los clientes internos y externos mediante la disminución de costos y tiempos de entrega para así convertirse en referente de calidad y eficiencia en el medio.

3.2 Objetivos de la propuesta

Objetivo General

- Diseñar y construir un banco de magnetización para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos en el Centro de Ingeniería y Mantenimiento de Aviones Militares, ubicado en la Base Aérea Cotopaxi en la ciudad de Latacunga.

Objetivos Específicos

- Recopilar la información técnica requerida para el diseño del banco de magnetización.
- Diseñar el transformador de potencia y el sistema de control de corriente que serán utilizados en el banco de magnetización.
- Ensamblar el sistema eléctrico de potencia y control a la estructura mecánica para el chequeo de materiales ferromagnéticos de aviación.

3.3 Análisis de factibilidad

3.3.1 Factibilidad Técnica

Conscientes de la importancia que en la actualidad significa el desarrollo tecnológico dentro de las empresas de aviación, el equipo que será construido para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales se realizará de forma técnica, ya que se basó en teorías y conceptos fundamentales de pruebas no destructivas, aplicables al mantenimiento en el área aeronáutica.

En el área técnica es muy importante la preparación del talento humano, lo cual muestra el gran interés y la necesidad de disponer de personal calificado, el

mismo que no dispone de un equipo adecuado para cumplir de una manera efectiva sus funciones, esto permitirá un desarrollo integral de la empresa incrementando así la productividad.

El diseño y construcción es factible de realización ya que cuenta con el apoyo del CIMAM, por lo tanto permite tener un enfoque acerca de la situación actual y la perspectiva integrada que se pretende alcanzar en la utilización y adquisición de recursos materiales para la producción de la empresa.

La presente investigación tiene un interés por resolver problemas relacionados en el campo de pruebas de discontinuidades de materiales ferromagnéticos, teniendo resultados de detección de fallas, de una forma confiable para satisfacer los diferentes requerimientos expuestos por los clientes.

Al finalizar la construcción de este equipo se lo pondrá a disposición de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, para su respectiva aplicación.

Por consiguiente el proyecto en mención es viable para su ejecución.

3.3.2 Factibilidad operacional

El Banco de Magnetización CIMAM-BM-MT-001 es alimentado con un voltaje de 220VAC, 60 Hertz, una fase y tiene un consumo aproximado de 20 Amperios. Un transformador de poder es la parte central y permite generar corriente de hasta 1000 Amperios, un circuito rectificador de media onda permite una corriente rectificada; para poder seleccionar el rango adecuado de corriente se dispone de un sistema de control y regulación que está formado por un transformador de 115 Voltios un potenciómetro en conjunto con un sistema de control de silicón estado sólido especial, un amperímetro de corriente de magnetización indica visualmente el valor de corriente que el equipo está generando, un relé de sobre temperatura y un ventilador para el enfriamiento del transformador permiten el control de temperatura para evitar el sobrecalentamiento del transformador, un fusible da la

protección a todo el sistema eléctrico en caso de fluctuaciones en el voltaje de alimentación y una conexión a tierra acoplada a la estructura metálica de la bancada que directamente hace contacto a tierra permite la descarga en caso de una falla eléctrica, un switch normalmente abierto activa la generación de corriente el mismo que al ser accionado en ciclos que no sobrepasen los 30 segundos permiten que el equipo no se sobrecaliente.

En la parte posterior del equipo se dispondrá de tres salidas, una salida común, otra para corriente de magnetización AC y otra para corriente de magnetización rectificadora de media onda, la cual es transferida a los cabezales de la parte mecánica a través de dos cables de 30 pies de longitud y una sección transversal de 4/0 unidas a través de pernos de sujeción.

Dos cabezales en la parte superior uno fijo y otro móvil tipo torno están debidamente aislados a través de materiales aislante como fibra, grilon y teflón para evitar el contacto de los pernos de sujeción a la parte metálica de la bancada y prevenir descargas eléctricas a los técnicos que operen el equipo, dos platinas de cobre están unidas a placas de aluminio recubiertas de una malla de cobre las cuales son alimentadas de corriente de magnetización a través de los cables de conexión, por tanto la factibilidad operativa permitirá un adecuado funcionamiento final del equipo para el desarrollo tecnológico del sector de la aviación.

3.3.3 Factibilidad Económica

La factibilidad económica está determinada por el presupuesto que generó el proceso investigativo determinado de la siguiente manera:

DESGLOSE DE RECURSOS TECNOLÓGICOS.

Tabla N° 17

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	P. UNIT	P. TOTAL
1	Software	48 hrs	1,00	48,00
2	Uso de internet.	100 hrs	0,80	80,00
3	Impresiones de planos	60	1,50	90,00
4	Imprevistos	-	100,00	100,00
SUBTOTAL				318,00
IVA 12%				38,16
TOTAL				\$ 356,16

Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

DESGLOSE DE RECURSOS MATERIALES.

Tabla N° 18

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	P. UNIT	P. TOTAL
1	Metal para la estructura.	1	500,00	500,00
2	Material eléctrico.	1	500,00	500,00
3	Material electrónico	1	500,00	500,00
4	Elementos de protección.	1	100,00	100,00
5	Elementos de medición.	1	300,00	300,00
6	Materiales de oficina	1	100,00	100,00
7	Otros.	1	200,00	200,00
SUBTOTAL				2200,00
IVA 12%				264,00
TOTAL				\$ 2464,00

Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

DESGLOSE DE MANO DE OBRA.

Tabla N° 19

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	P. UNIT	P. TOTAL
1	Construcción de la estructura.	40 hrs	15,00	600,00
2	Instalación eléctrica	80 hrs	20,00	1600,00
3	Pintura	8 hrs	10,00	80,00
4	Rotulación	4 hrs	20,00	80,00
SUBTOTAL				2360,00
IVA 12%				283,20
TOTAL				\$ 2643,20

Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

COSTOS DIRECTOS.

Tabla N° 20

DESCRIPCIÓN.	TOTAL.
Tecnológico	356,16
Materiales	2464,00
Mano de Obra	2643,20
TOTAL:	\$ 5463,36

Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

COSTOS INDIRECTOS.

Tabla N° 21

DESCRIPCIÓN.	COSTOS.
Alimentación.	150,00
Transporte.	100,00
Comunicaciones.	100,00
TOTAL:	\$350,00

Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

COSTO TOTAL

Tabla N° 22

DESCRIPCIÓN.	COSTOS.
Costos Directos	5463,36
Costos Indirectos	350,00
TOTAL:	\$ 5813,36

Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

Como se muestra en la tabla anterior el costo total del diseño y construcción del banco de magnetización es de \$ 5813,36. Luego de haber realizado las cotizaciones de un banco de iguales características el costo asciende a \$20000,00 por lo cual podemos decir que económicamente nuestro trabajo de tesis es factible.

3.4 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.4.1 DISEÑO ESQUEMÁTICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

DISEÑO DEL BANCO DE MAGNETIZACIÓN.

Para el diseño del banco de magnetización, se tomará en cuenta los siguientes parámetros técnicos:

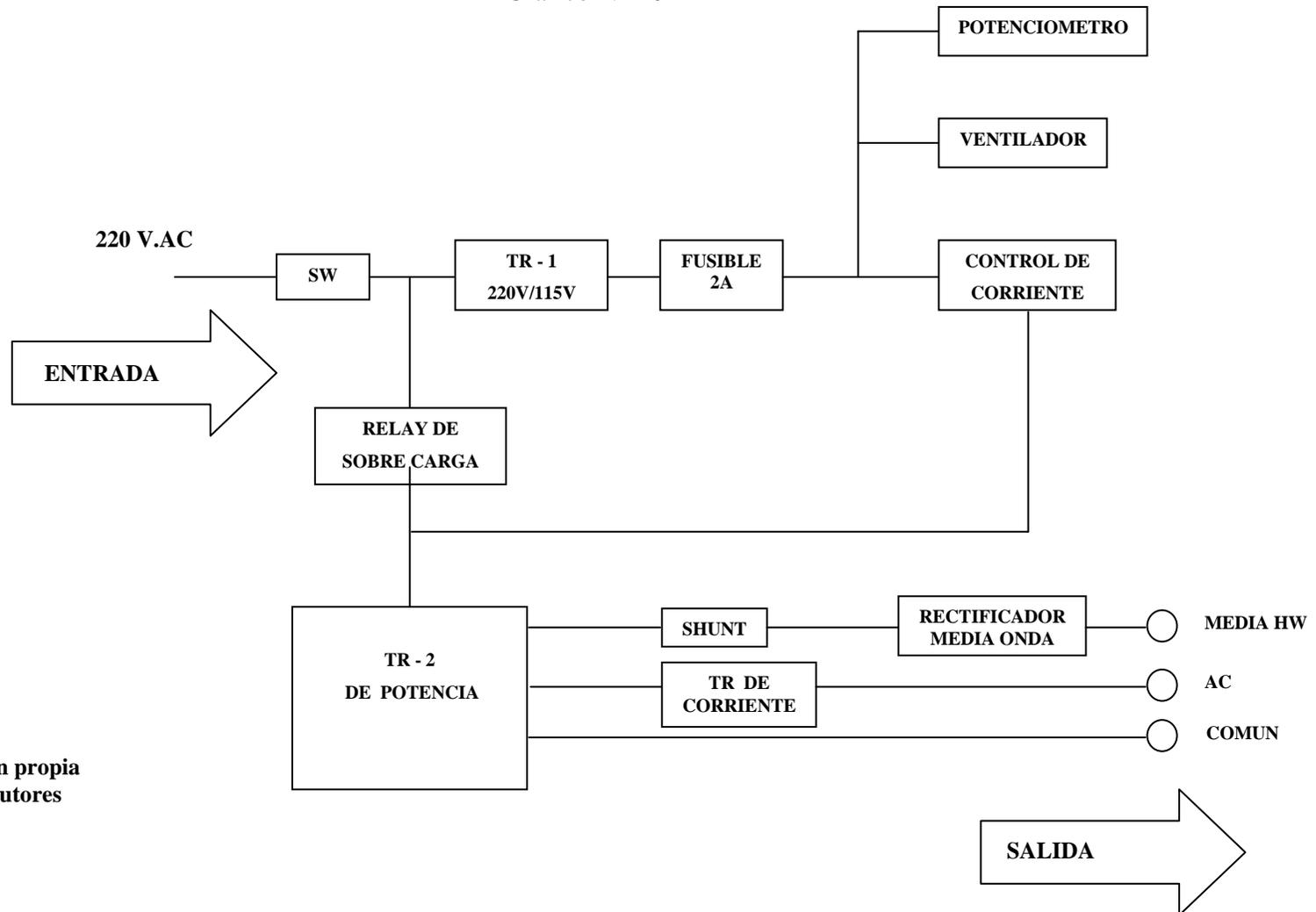
- 1) Identificar las variables del proceso que van a controlarse y el grado de precisión que se requiere.
- 2) Identificar las propiedades del proceso que serán manipuladas por los elementos finales de control para mantener las variables controladas dentro de los límites requeridos, en el diseño.
- 3) Seleccionar el rango de medida apropiado para cada variable que van a ser controladas. (Ej. La variable que se va a medir, el valor nominal, el rango de

los valores, la exactitud requerida, bajo las cuales se va a llevar a cabo la medida.

- 4) Seleccionar los elementos de control final necesarios para proporcionar la manipulación requerida. Es necesario factores como solidez, fiabilidad, mantenimiento, duración, requisitos de montaje y de acoplamiento, requisitos de alimentación, características de la señal de entrada, disponibilidad, coste.
- 5) Seleccionar los elementos restantes del sistema de control, teniendo en cuenta factores tales como si las conexiones se deben realizar por medio de señales eléctricas, hidráulicas o neumáticas. Los sistemas de control eléctrico tienen las ventajas de que el modo de control utilizado puede ser fácilmente modificado, las señales de control pueden ser transmitidas a largas distancias.
- 6) Desarrollar un modelo matemático, es decir, una ecuación o conjunto de ecuaciones que pueda describir cómo funciona cada elemento, y por tanto como funciona todo el sistema.
- 7) Analizar el funcionamiento del modelo matemático del modelo considerado factores tales como la respuesta a cambios de valor de referencia, respuestas a perturbaciones, velocidad de respuesta y estabilidad.
- 8) Modificar el modelo para conseguir el funcionamiento del sistema requerido.
- 9) Luego, construir el propio sistema de control.

DIAGRAMA EN BLOQUES DEL CIRCUITO ELÉCTRICO DEL BANCO DE MAGNETIZACIÓN

Grafico N° 16



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

DISEÑO DEL TRANSFORMADOR

Para el diseño del banco de magnetización es necesario partir de la base, los equipos estacionarios de bancada disponen de un sistema de regulación que permite variar la separación de los cabezales, y ello permite, además de la correcta fijación de la pieza a ensayar, colocar un conductor entre los mismos, con lo que se dispondrá de la técnica de magnetización de conductor central.

Estos equipos estacionarios existen en el mercado con distintos tamaños, cubriendo separaciones de cabezales que oscilan entre 25 mm y 6 metros.

Antes de diseñar y seleccionar el transformador se toma en cuenta la corriente de magnetización necesaria para hacer los ensayos por los métodos de magnetización circular, y longitudinal de acuerdo con las normas ASTM SA275-80.

El transformador del proyecto se lo realizará de 1000 A debido a que es un valor aceptable para las necesidades en el Centro de Ingeniería y Mantenimiento de Aviones Militares, ubicado en la Base Aérea Cotopaxi en la ciudad de Latacunga.

Parámetros de diseño

$f = 60 \text{ Hz}$

$I_s = 1000 \text{ Amp HWDC (Half Wave DC)}$

$I_s = 1000 \text{ Amp AC}$

$V_p = 220 \text{ Volts}$

$I_p = 20 \text{ amp}$

Ciclo de trabajo 1 min. ON – 2 min OFF

Potencia del Transformador:

Para esto ponemos a consideración los siguientes aspectos:

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

Cálculo de la potencia

$$P=V \times I$$

Ec. 12

$$P_p = 220V \times 20 A = 4400 VA = 4.4 KVA$$

$$P_s = 4.4 * 1000 = 4400 VA = 4.4 KVA$$

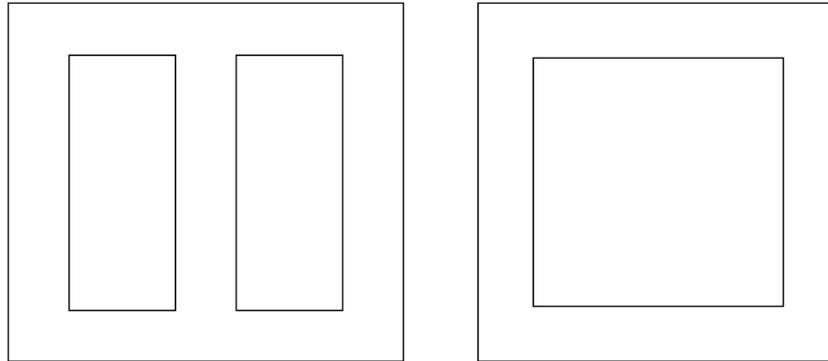
$$\therefore P_p \cong P_s$$

Tipo de núcleo seleccionado

Existen dos tipos de estructuras de transformadores: tipo núcleo (ventana) y tipo acorazado, con sus variaciones, figura 1 a y b

Tipos de núcleos a, b

Figura N° 33



a) Tipo acorazado

(b) Tipo ventana

Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

Las características que interesan en los transformadores son:

- Pequeñas variaciones de tensión
- Gran rigidez
- Buen rendimiento
- Calentamiento mínimo de los arrollamientos

La elección del tipo de núcleo es influenciada por un cierto número de consideraciones enteramente prácticas como:

- Costo, facilidad de construcción y reparación
- Exigencias e espacio mínimo
- Refrigeración
- Aislamiento de robustez mecánica

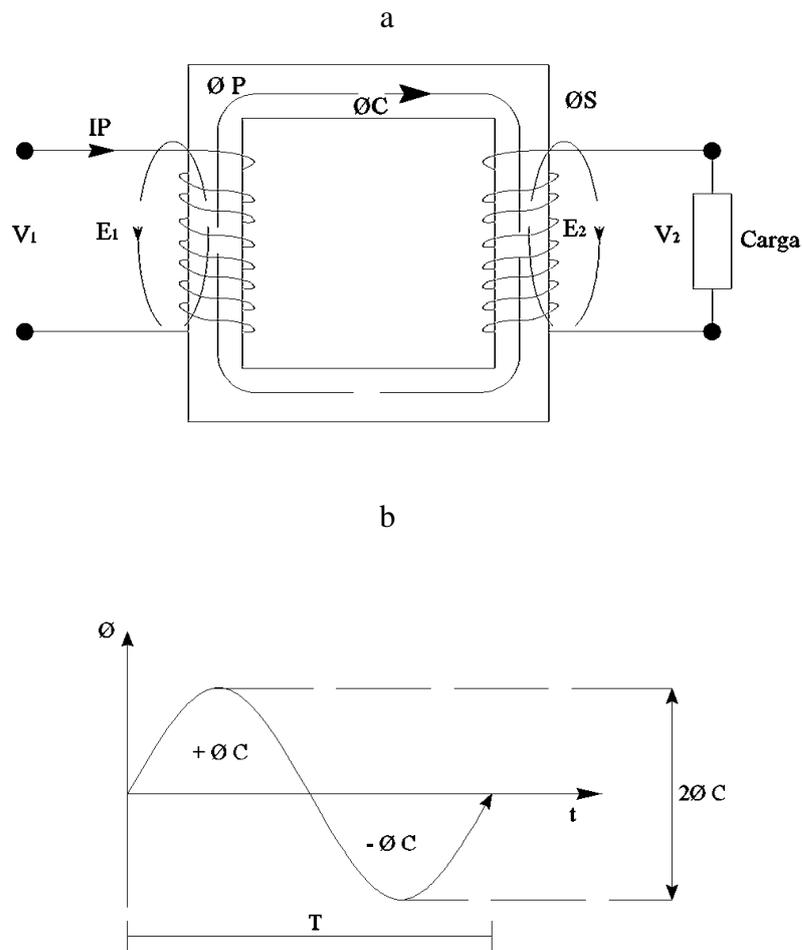
Por lo anterior el tipo de estructura que más se adapta a tales requerimientos es el tipo núcleo (ventana), que por presentar dos columnas 2 brazos es preferible,

presenta más sólida por cuanto existe el mínimo número de ensambles, los devanados irán dispuestos en paquetes (moldes) una en cada columna.

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Fuerza electro motriz (f.e.m) en vacío y relación de transformación

Figura N° 34



Fuente: **Investigación propia**
 Elaborado por: **Los autores**

- V1=** Tensión de alimentación primera en voltios
- E1=** f.e.m, eficaz inducida en el primario, en voltios
- V2=** Tensión secundaria en voltios

E2= f.e.m eficaz inducida en el secundario en voltios

Øp = Flujo primario de dispersión en maxwells o línea de inducción

Øs = Flujo secundario de dispersión en maxwells o línea de inducción

Øc = Flujo máximo inductor común en maxwells o línea de inducción

Ip= corriente primaria en amperios

Is= corriente secundarios en amperios

T= Periodo n segundos

f= Frecuencia

$$dE = \frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} \quad \text{Ec. 13}$$

$$E = \frac{2\phi_c}{T/2} \times 10^{-8} \quad \text{Ec. 14}$$

$$T = 1/f \quad \text{Ec. 15}$$

$$E = 4f\phi_c 10^{-8} \quad \text{Ec. 16}$$

Si Kf es el factor de forma de la f.e.m engendada

$$Kf = \frac{\text{valor eficaz de la onda}}{\text{valor medio}} \quad \text{Ec. 17}$$

La f.e.m eficaz, por espira en voltios será:

$$fem_{RMS} = Kf * fem_{media} \quad \text{Ec. 18}$$

$$\mathbf{fem}_{RMS} = \mathbf{Kf} * 4\mathbf{f}\mathbf{\varnothing}\mathbf{c}10^{-8}(\mathbf{V})$$

$$\mathbf{fem}_{RMS} = 4\mathbf{Kff}\mathbf{\varnothing}\mathbf{c}10^{-8}(\mathbf{V})$$

Si el devanado primario está compuesto por n_p espiras en serie, al igual que el secundario por n_s , las f.e.m eficaces respectivos **E1** y **E2** vendrán dados por:

$$\mathbf{E1} = 4\mathbf{Kfnpf}\mathbf{\varnothing}\mathbf{c}10^{-8}(\mathbf{V}) \quad \text{Ec. 19}$$

$$\mathbf{E2} = 4\mathbf{Kfnsf}\mathbf{\varnothing}\mathbf{c}10^{-8}(\mathbf{V})$$

Para ondas sinusoidales $\mathbf{Kf} = 1.1$

$$\mathbf{E1} = 4.4\mathbf{npf}\mathbf{\varnothing}\mathbf{c}10^{-8}(\mathbf{V}) \quad \text{Ec. 20}$$

$$\mathbf{E2} = 4.4\mathbf{nsf}\mathbf{\varnothing}\mathbf{c}10^{-8}(\mathbf{V})$$

Si dividimos las 2 ecuaciones tenemos:

$$\frac{\mathbf{E1}}{\mathbf{E2}} = \frac{\mathbf{Np}}{\mathbf{Ns}} \quad \text{Ec. 21}$$

A esta relación se denomina relación de transformación si en vacío $\mathbf{E1} = \mathbf{V1}$

$$\frac{\mathbf{V1}}{\mathbf{V2}} = \frac{\mathbf{Np}}{\mathbf{Ns}} \quad \text{Ec. 22}$$

Por tanto las tensiones primarias y secundarias en vacío están en la misma relación del número de espiras.

Diseño del núcleo

Para determinar el área del núcleo se aplica

$$V_t = 4.44 \times 10^{-8} \times f \times \phi_c$$

$$\phi_c = S_n \times B_m$$

Ec. 23

Dónde:

S_n = Sección del núcleo en cm²

B_m = Densidad magnética admisible en Gauss

Entonces:

$$V_t = 4.44 \times 10^{-8} \times f \times S_n \times B_m$$

Despejando S_n:

$$S_n = \frac{V_t}{4.44 \times 10^{-8} \times f \times B_m}$$

Ec. 24

Asumiendo B_m = 13000 Gauss = Líneas/cm²

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

$$S_n = \frac{1.33}{4.44 \times 10^{-8} \times 60 \times 13000} = 38.75\text{cm}^2$$

$$S_n = 38.75\text{cm}^2$$

A este valor de la sección del núcleo hay que hacer una corrección debido a dos factores:

- a) Factor de aislamiento: El núcleo se construye con planchas de hierro al silicio laminadas en frío de 0.35 mm, aislados por tratamiento químico. Este factor propio con la delgadísima capa de aislante es del orden del 97%.
- b) Factor de apilamiento: Debido al procedimiento de corte de las láminas y el albeamiento de las planchas que impiden prensarlos planas, conviene considerar un factor de apilamiento para este caso del orden 88%

Se tiene que:

$$\mathbf{Fu = FAS * FAP} \quad \text{Ec. 25}$$

Dónde:

Fu= Factor de utilización

FAS = Factor de aislamiento

FAD = Factor de apilamiento

$$\mathbf{Fu = 0.97 * 0.89 = 0.86}$$

Por tanto la sección bruta o geométrica **Sg** es

$$\mathbf{Sg = \frac{Sn}{Fu} = \frac{38.75\text{cm}^2}{0.86} = 45\text{cm}^2} \quad \text{Ec. 26}$$

Una manera más fácil para confeccionar las bobinas es tener una sección cuadrada por lo tanto:

$$\mathbf{Sg = a \cdot b} \quad \text{Ec. 27}$$

$$\mathbf{a \cong b}$$

$$Sg = a^2$$

Ec. 28

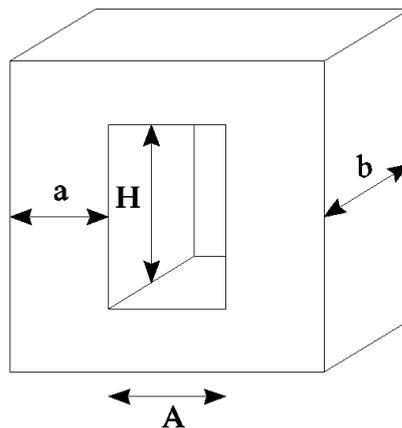
$$a = \sqrt{Sg}$$

$$a = \sqrt{45}$$

$$a = 6.7\text{cm} \cong 7\text{cm}$$

Altura de la ventana H

Figura N° 35



Fuente: Investigación propia
Elaborado por: Los autores

$$H = \frac{\# \text{ espiras por cada capa o devanado} \times \text{diametro del conductor}}{\text{Factor de apilamiento} + \text{espacio para aislamiento y ventilacion}}$$

Ec. 29

# Espiras del devanado de bajo voltaje	=	4
Altura del conector de bajo voltaje	=	50 mm
Espacio para aislamiento y ventilación	=	10 mm
Factor de apilamiento	=	0.96

$$H = \frac{4 \times 50}{0.89} + 10 = 234.72 \cong 235\text{mm}$$

Ancho de ventana

El bobinado de alto voltaje está conformado por 166 espiras, las cuales se pueden distribuir en 6 capas de 28 espiras cada una, separadas entre cada capa por papel aislante (Victoria) de un determinado espesor.

El bobinado de bajo voltaje está constituido por 4 espiras distribuidas en una sola capa y con su respectivo aislamiento.

Finalmente deberá considerarse un espacio para circulación de aire

$$A = \frac{(6 \times 3.264 + 8 \times 2) + (1 \times 10 + 2 \times 2)}{0.89} + 30 \quad \text{Ec. 30}$$

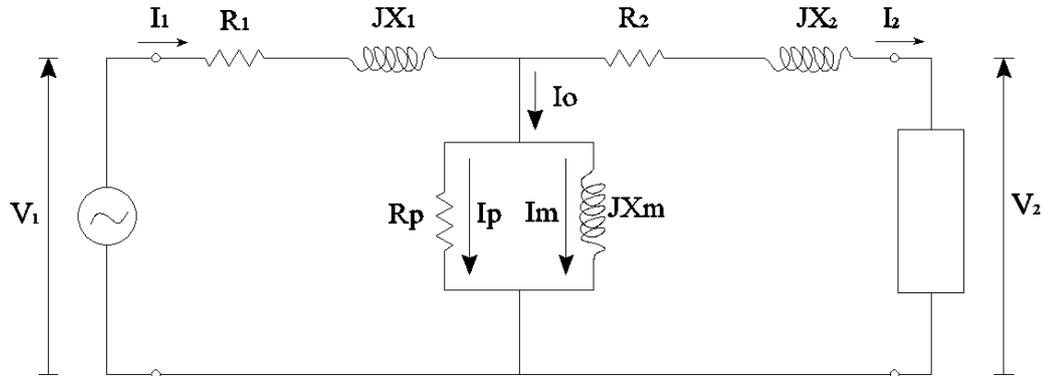
$$A = 85.71\text{mm} \cong 86\text{mm}$$

Análisis del comportamiento

Teniendo el diseño preliminar aproximado (en el modelo de transformador ideal), se evalúa el comportamiento que tendría, considerando ahora como modelo del circuito equivalente “exacto”. Para ello se deben determinar los parámetros de este circuito en función de las dimensiones obtenidas.

Circuito en función

Figura N° 36



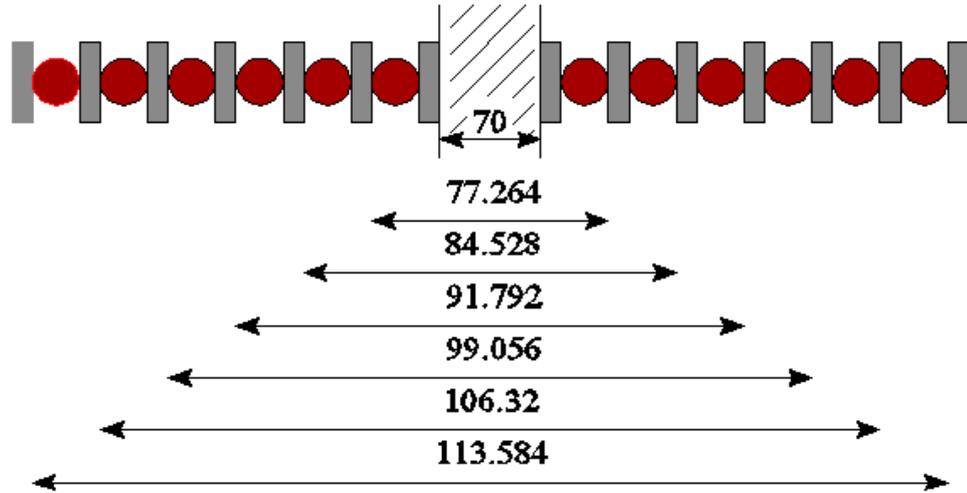
Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

a) Resistencias del devanado primario R1

Resistencias del devanado primario

Figura N° 37



Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

Longitud total del conductor = 64.125m

Resistividad del cobre a 20°C es $0.0172 \frac{\pi \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

Ec. 31

$$R = p \cdot \frac{L}{A} = 0.0172 \times \frac{64.125}{8.367} = 0.132 \Omega$$

b) Perdidas en el devanado primario

$$R = 0.132$$

$$I_p = 20 \text{ A}$$

$$P = I_p^2 \cdot R$$

$$P = (20)^2 \cdot 0.132$$

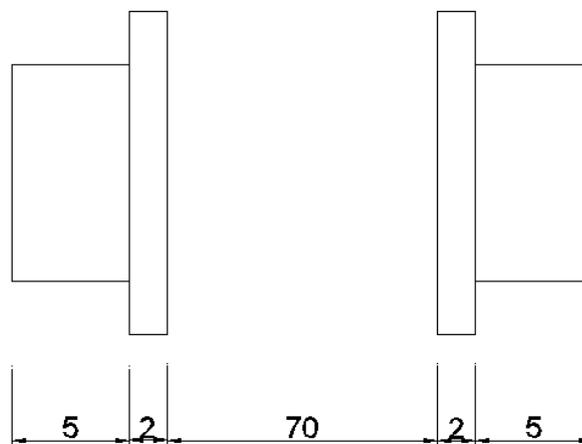
$$P = 50.8 \text{ Watt}$$

Ec. 32

c) Resistencias del devanado secundario R2

Resistencias del devanado secundario

Figura N° 38



Fuente: Investigación propia

Elaborado por: Los autores

$$R = p \cdot \frac{L}{A} = 0.0172 \times \frac{134}{500} = 4.61 \times 10^{-5} \Omega$$

Ec. 33

d) Perdidas en el devanado secundario

$$R = 0.0000461 \text{ R}$$

$$I_s = 1000 \text{ A}$$

$$P = I_s^2 * R$$

Ec. 34

$$P = (1000)^2 * 0.0000461$$

$$P = 46.096 \text{ Watt}$$

e) Pérdidas en el devanado

$$P_D = P_p + P_s = 50.8 + 46.096 = 96.896 \text{ Watt}$$

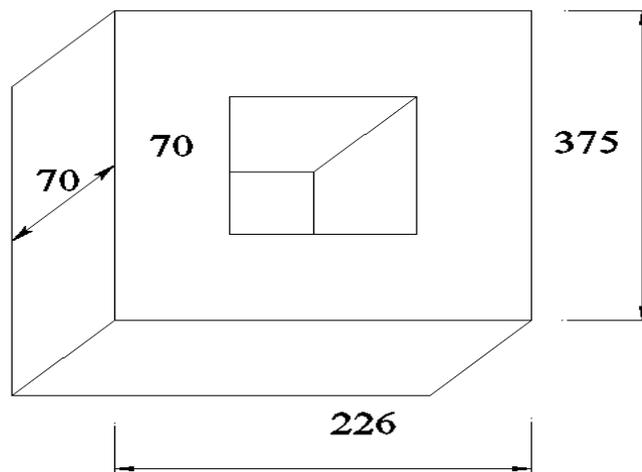
Ec. 35

f) Pérdidas en el núcleo

La pulsación del flujo en el núcleo produce las pérdidas de este, debido a la histéresis y a las corrientes de Foucault. Por tales motivos y en ausencia de las características de las láminas presentadas por los fabricantes, especialmente los datos de pérdidas por unidad de peso, se asume que las pérdidas totales son de 1.7 Wattios por kilogramo, valor usual en este tipo de lámina.

Volumen del núcleo

Figura N° 39



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

$$VN = 226 \times 375 \times 70 - 86 \times 235 \times 70 \quad \text{Ec. 36}$$

$$VN = 4517.8 \text{cm}^3$$

Peso específico de la lámina 7.4g/cm^3

$$d = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. 37}$$

$$m = S.V = 7.4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 4517.8 \text{cm}^3$$

$$m = 33.43 \text{Kg}$$

$$\text{Pérdidas en el núcleo} = \text{Peso total del núcleo} \times \frac{\text{Pérdidas (w)}}{\text{Kg}} \quad \text{Ec. 38}$$

$$\text{Pérdidas en el núcleo} = 33.43 \text{ Kg} \times 1.7 \frac{\text{W}}{\text{Kg}}$$

$$PN = 56.83 \text{ Watt}$$

g) Pérdidas totales

$$PT = PD + PN = 96.896 + 56.83 \quad \text{Ec. 39}$$

$$PT = 153.73 \text{ Watt}$$

h) Reactancia de dispersión XL

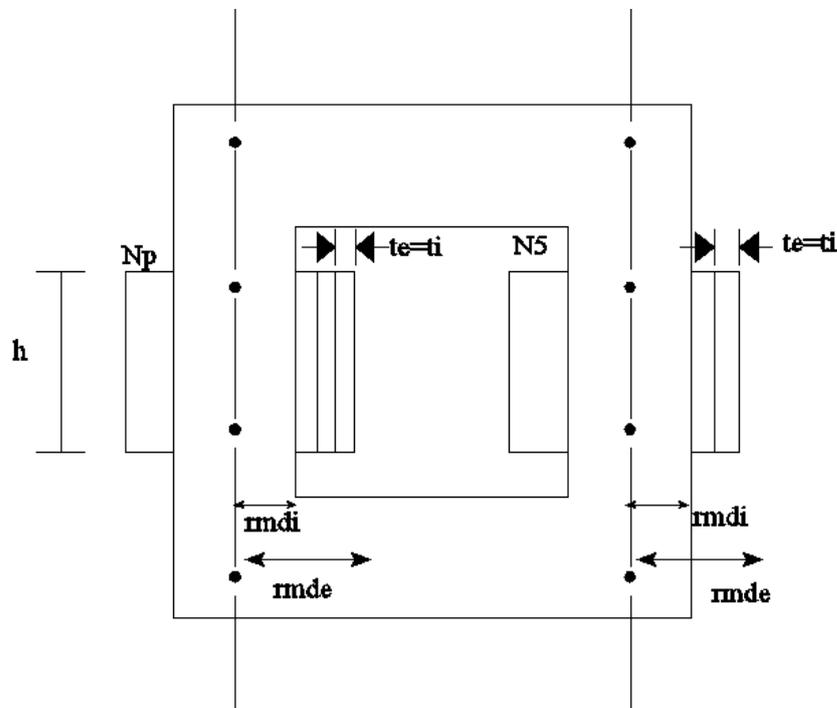
Es necesario hacer una distinción especial entre flujo común o principal y flujo de dispersión. El primero como su nombre lo indica, está conectado con los devanados primarios y secundarios del transformador y sirve de vehículo transmisor de energía. Los segundo de dispersión, se caracterizan por hallarse conectados solo con los arrollamientos primarios o secundarios sin intervenir

directamente en la transmisión de energía y su recorrido principal es a través del aire.

La reactancia de dispersión depende esencialmente de las dimensiones geométricas dl circuito magnético donde se asienta dicho flujo del número de espiras en las bobinas inducidas por él y de la permeabilidad del núcleo.

Reactancia de dispersión

Figura N° 40



Fuente: Investigación propia
Elaborado por: Los autores

$$L = \frac{8\pi^2 \times N^2 \times K}{h} (r_{mde} \times te + r_{mdi} \times ti)c$$

Ec. 40

Dónde:

- N = número de espiras del arrollamiento
- K = permeabilidad del vacío = 1×10^{-7}
- h = altura de la bobina

r_{mde} = radio exterior (m)
 t_e = ancho de cada capa (m)
 r_{mdi} = radio interior (m)
 t_i = ancho de cada capa (m)
 c = numero de capas
 L = Inductancia en Henrios

Reactancia en el devanado primario XL1

$N = 166$
 $K = 1 \times 10^{-7}$
 $h = 23,5 \text{ cm} = 0.235 \text{ m}$
 $r_{mdi} = 3,5 \text{ cm} = 0.035 \text{ m}$
 $t_e = t_i = 0.002$
 $c = 6$
 $r_{mde} = 56.792 \text{ mm} = 0.056792 \text{ m}$

$$L = \frac{8\pi^2(166)^2 \times 1 \times 10^{-7}}{0.235} \times (0.056792 \times 0.002 + 0.035 \times 0.002)6 \quad \text{Ec. 41}$$

$$L = 1.02 \times 10^{-3} \text{ Henrios}$$

Si $X1 = 2\pi fL$

$$XL1 = 2 \times \pi \times 60 \times 1.02 \times 10^{-3} = 0.384\Omega \quad \text{Ec. 42}$$

Reactancia en el devanado secundario XL2

$N = 4$ espiras
 $K = 1 \times 10^{-7}$
 $h = 23,5 \text{ cm} = 0.235 \text{ m}$
 $r_{mde} = 4,9 \text{ cm} = 0.049 \text{ m}$

$$r_{\text{mdi}} = 3,5 \text{ mm} = 0.035\text{m}$$

$$t_e = t_i = 0.002 \text{ m}$$

$$c = 6$$

$$L = \frac{8\pi^2(4)^2 \times 1 \times 10^{-7}}{(0.235)} \times (0.049 \times 0.002 + 0.035 \times 0.0002)6$$

$$L = 5.42 \times 10^{-7} \text{Henrios}$$

$$XL_2 = 2\pi fL = 2 \times \pi 60 \times 5.42 \times 10^{-7}$$

$$XL_2 = 2.04 \times 10^{-4} \Omega$$

Ec. 43

i) Relación de transformación

$$\alpha = \frac{V_1}{V_2} = \frac{220V}{4.4V} = 50$$

Ec. 44

j) Impedancia del transformador referido al lado de baja tensión será

$$Z_{e_2} = Z_2 + \frac{Z_1}{\alpha^2}$$

Ec. 45

$$\text{Si } R_1 = 0.132 \Omega \text{ y } XL_1 = 0.384 \Omega$$

$$Z_1 \sqrt{R_1^2 + XL_1^2} = \sqrt{(0.132)^2 + (0.384)^2}$$

$$Z_1 = 0.406 \Omega$$

$$\text{Si } R_2 = 4.61 \times 10^{-5} \Omega \text{ y } XL_2 = 2.04 \times 10^{-4} \Omega$$

$$Z_2 \sqrt{R_2^2 + XL_2^2} = \sqrt{(4.61 \times 10^{-5})^2 + (2.04 \times 10^{-4})^2}$$

$$Z_2 2.09 \times 10^{-4} \Omega$$

$$Z_{e2} = 2.09 \times 10^{-4} + \frac{0.406}{50^2} = 3.71 \times 10^{-4} \Omega$$

Voltaje por espira

Los volta-amperios de entrada en un transformador monofásico son:

$$P_1 = V_1 I_1 \quad \text{Ec. 46}$$

Si sustituimos f.e.m por V_1 tendremos

$$V_1 = 4.44 \times 10^{-8} f N_p I_p \phi_c \quad (1) \quad \text{Ec. 47}$$

Por tanto la potencia aparente en el primario será:

$$S = 4.44 \times 10^{-8} f N_p I_p \phi_c \quad (2) \quad \text{Ec. 48}$$

$$\text{Como } S_1 \cong V_2 I_2 \quad (3)$$

Además

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_p}{N_s} \quad \text{Ec. 49}$$

$$N_p I_1 = N_s I_2$$

Y si designamos a NI a los amperios por vuelta de los bobinados primarios y secundarios, encontramos:

$$V_1 I_1 = 4.4 \times 10^{-8} \times f \times (N \cdot I) \phi_c \quad \text{Ec. 50}$$

Si denominamos V_t a los voltios por vuelta del bobinado primario o secundario, entonces

$$V_t = \frac{V}{N} = \frac{V.I}{N.I} = \frac{\text{Volta-amperios de salida}}{\text{amperios vuelta}} \quad \text{Ec. 51}$$

De (Ec. 47)

$$V_t = 4.4 \times 10^{-8} \times f \times \phi_c$$

Multiplicando los dos términos de la ecuación por V_t tenemos

$$V_t^2 = 4.4 \times 10^{-8} \times \frac{f \times \phi_c}{N.I} \times V.I \quad \text{Ec. 52}$$

$$V_t^2 = K_1 \times \frac{f \times \phi_c}{N.I} \times \text{volta amperios}$$

De dónde:

$$V_t^2 = \frac{1}{K_1 (N.I/f \times \phi)} \times \text{volta amperios} \quad \text{Ec. 53}$$

$$V_t = \frac{1}{K_1 \sqrt{N.I/f \times \phi}} \times \sqrt{\text{volta amperios}}$$

Un análisis de los términos bajo el radical en el denominador de la ecuación anterior muestra que, para una frecuencia dada f , los amperios vueltos son directamente proporcionales a los volta-amperios. Esto significa que el denominador tiene un valor aproximadamente constante para un diseño económico y eficiente esto permite escribir la siguiente fórmula:

$$V_t = \frac{1}{c} \times \sqrt{\text{voltaamperios de salida}} \quad \text{Ec. 54}$$

El proceso de cálculo anterior tiene por objeto relacionar a un cuando tácitamente la potencia del transformador con el flujo, la elección de C implica la del flujo. Una vez seleccionado C se calcula V_t , quedando determinado el número de espiras del primario y secundario.

Asumiendo $C=50$

$$V_t = \frac{1}{50} \sqrt{4400} \quad \text{Ec. 55}$$

$$V_t = 1.33 \text{ Voltios /espira}$$

Numero de espiras por bobina

Para el primario

Para el secundario

$$V_{tp} = \frac{V_p}{N_p} \quad \text{Ec. 56}$$

$$V_{ts} = \frac{V_s}{N_s} \quad \text{Ec. 57}$$

$$N_p = \frac{V_p}{V_{tp}} = \frac{220V}{1.33 \text{ V/espira}}$$

$$N_s = \frac{V_s}{V_{ts}} = \frac{4.4V}{1.33V /espira}$$

$$N_p = 165.4 \cong 166 \text{ espiras}$$

$$N_s = 3.308 \cong 3 \text{ espiras}$$

Densidad de Corriente eléctrica

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

$$D = \frac{I}{S} \quad \text{Ec. 58}$$

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.

La densidad de corriente se obtiene de la siguiente tabla:

Densidad de corriente

Tabla N° 23

Corriente (Amper)	Densidad (A/mm²)
0.005	2.5
0.007 - 319	3

Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

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

El valor de Densidad se obtiene haciendo el cociente entre la Capacidad máxima de corriente del alambre y la sección del mismo.

Dimensionamiento por conductores

La sección de los alambres que se utilizaran depende directamente de la intensidad de corriente eléctrica que circula por ella. 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.

Para el dimensionamiento se debe considerar su densidad de corriente eléctrica

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

I= corriente

S= sección transversal del conductor

Para el primario $D=2.5 \text{ A/mm}^2$

$$S1 = \frac{I1}{D1} = \frac{20A}{2.5 \frac{A}{\text{mm}^2}} = 8\text{mm}^2 \rightarrow \text{AWG\#8} \quad \text{Ec. 59}$$

Cable #8 de $\varnothing 3.264\text{mm}$

Para el secundario $D=2 \text{ A/mm}^2$

$$S2 = \frac{I2}{D2} = \frac{1000A}{2 \frac{A}{\text{mm}^2}} = 500\text{mm}^2 \quad \text{Ec. 60}$$

No existe cable redondo, por tanto se elige platina de 50X10mm.

Determinación de la sección normalizada transversal del conductor para cada bobinado:

La sección que obtenemos de cálculo generalmente no es normalizada, por lo que debemos tomar la sección más próxima superior de la dada, de la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICAS PARA EL CÁLCULO DE TRANSFORMADORES

Tabla N° 24

CARACTERÍSTICAS PARA EL CÁLCULO DE TRANSFORMADORES						
(1) AWG	(2) DIAMETRO	(3) SECCION	(4) N. DE ESPIRAS	(5) KG POR KM	(6) RESISTENCIA	(7) CAP.
0000	11,66	107,2	–	–	0,158	319
000	10,40	85,3	–	–	0,197	240
00	9,226	67,43	–	–	0,252	190
0	8,252	53,48	–	–	0,317	150
1	7,348	42,41	–	375	0,40	120
2	6,544	33,63	–	295	0,50	96
3	5,827	26,67	–	237	0,63	78
4	5,189	21,15	–	188	0,80	60
5	4,621	16,77	–	149	1,01	48
6	4,115	13,30	–	118	1,27	38
7	3,665	10,55	–	94	1,70	30
8	3,264	8,36	–	74	2,03	24
9	2,906	6,63	–	58,9	2,56	19
10	2,588	5,26	–	46,8	3,23	15
11	2,305	4,17	–	32,1	4,07	12
12	2,053	3,31	–	29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63	–	23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,05
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,08	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,40	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,15	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23
29	0,2859	0,054	32,4	0,57	265,6	0,18
30	0,2546	0,051	35,6	0,45	333,3	0,15
31	0,2268	0,040	39,8	0,36	425,0	0,11
32	0,2019	0,032	44,5	0,28	531,2	0,09
33	0,1798	0,0254	50,0	0,23	669,3	0,072
34	0,1601	0,0201	56,0	0,18	845,8	0,057
35	0,1426	0,0159	62,3	0,14	1069,0	0,045
36	0,1270	0,0127	69,0	0,10	1338,0	0,036
37	0,1131	0,0100	78,0	0,089	1700,0	0,028
38	0,1007	0,0079	82,3	0,070	2152,0	0,022
39	0,0697	0,0063	97,5	0,056	2696,3	0,017
40	0,0799	0,0050	111,0	0,044	3400,0	0,014
41	0,0711	0,0040	126,8	0,035	4250,0	0,011
42	0,0633	0,0032	138,9	0,028	5312,0	0,009
43	0,0564	0,0025	156,4	0,022	6800,0	0,007
44	0,0503	0,0020	169,7	0,018	8500,0	0,005

Fuente: Investigación propia

Elaborado por: Los autores

Determinación de las corrientes 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

$$P=V* I \quad \text{Ec. 61}$$

Despejando la corriente eléctrica de la expresión anterior tenemos que:

$$\text{Corriente} = \text{Potencia} / \text{Tensión}$$

$$I=P/V$$

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

$$I_1= P / V_1 \quad \text{Ec. 62}$$

Dónde:

I₁: es la corriente eléctrica del bobinado primario.

P: es la potencia eléctrica del transformador.

V₁: es la tensión aplicada en el bobinado primario.

Y para el bobinado secundario tenemos:

$$I_2=P/V_2 \quad \text{Ec. 63}$$

Dónde:

I₂: es la corriente eléctrica del bobinado secundario.

P: es la potencia eléctrica del transformador.

V₂: es la tensión aplicada en el bobinado secundario.

Nota: para lo anterior consideramos un transformador ideal (no posee pérdidas) por lo que la potencia en el primario es idéntica en el secundario.

SEGUNDA ETAPA

DISEÑO DEL CONTROL DE CORRIENTE

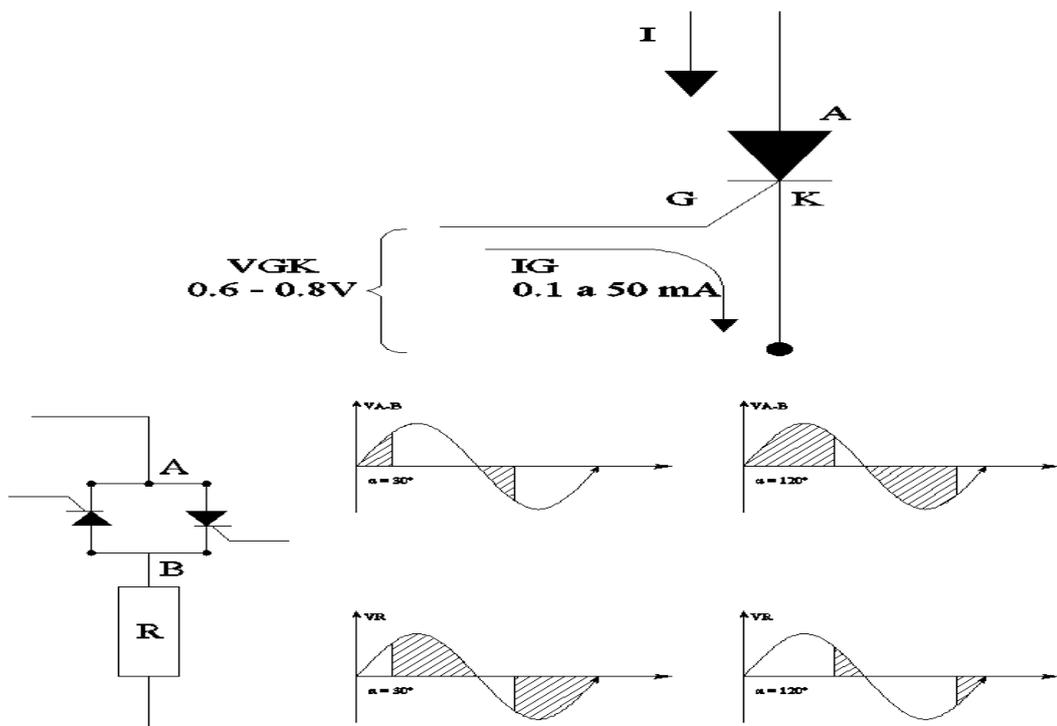
Debido a las elevadas corrientes que circula por el secundario 800, 900, 1000A se hace difícil su control, por lo que se opta por controlar la corriente por el lado primario a través de SCR.

Los parámetros a controlar son:

- $\theta =$ Ángulo de conducción 0 a 180°
- $I_G =$ Corriente de disparo o compuerta 0.1 y 50 mA
- $V_{GK} =$ Voltaje entre la compuerta y el cátodo 0.6 – 0.8 V
- $I =$ Corriente a controlar 0 a 20A

Diseño del controlador de corriente

Figura N° 41



Fuente: Investigación propia
Elaborado por: Los autores

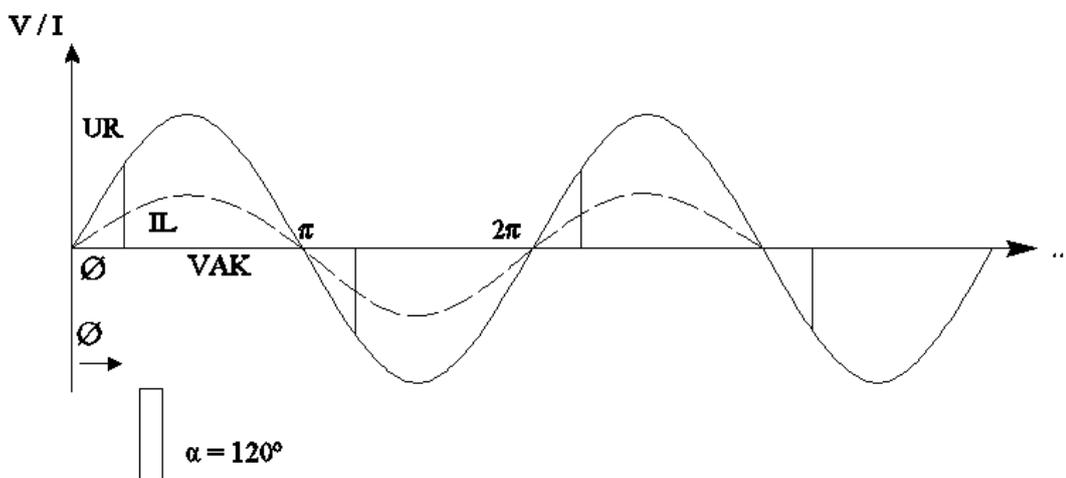
La relación en el circuito entre la fuente de voltaje, los SCR y la carga se representa en la Figura N° 41. La corriente promedio entregada a la carga puede variarse alternando la cantidad de tiempo por ciclo que los SCR permanecen cebados. Si permanecen una parte pequeña, en cambio si permanece durante una parte grande de ciclo de tiempo encendido la corriente promedio será alta.

En términos eficaces la corriente eficaz (rms) entregada a la carga se obtiene mediante la siguiente ecuación

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (IL)^2 d\alpha} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (I_m \text{Sen } \alpha)^2 d\alpha} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} I_m^2 \left[\frac{\alpha}{2} - \frac{\text{Sen} 2\alpha}{4} \right]_0^{\pi}} \quad \text{Ec. 64}$$

Corriente eficaz

Figura 42

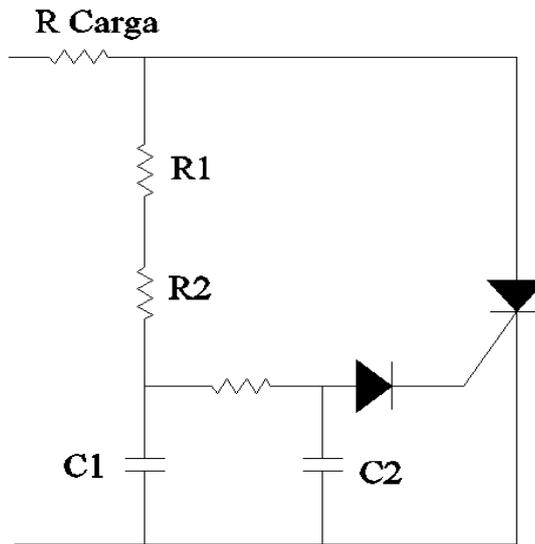


$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (UL)^2 d\alpha} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[\frac{\alpha}{2} - \frac{\text{Sen} 2\alpha}{4} \right]_0^{\pi}} \quad \text{Ec. 65}$$

$$P_{rms} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} ILVL d\alpha = V_{rms} I_{rms} = \frac{V_{rms}^2}{ZL} = I_{rms}^2 ZL \quad \text{Ec. 66}$$

Circuito de control de disparo de un SCR

Figura N° 43



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

DISEÑO DEL CIRCUITO DE DISPARO PARA LOS SCR

Este circuito sirve para aislar la parte de potencia con la de control.

El aislamiento se realiza mediante transformadores de pulso, para ello se emplea dos transformadores uno para cada SCR, de esta manera cada circuito constaría con un transformador de pulsos individual.

El banco de magnetización genera una carga inductiva muy elevada, por lo que es recomendable diseñar con una señal de duración $(\pi-\alpha)$, para disparo en la compuerta, puesto que la conducción de los tiristores el circuito pierda el control y el ángulo de disparo alfa es menor a β , generando ondas asimetrías de voltaje y lo que es peor corriente en la carga.

Generalmente y esta vez sin excepción se emplean los transformadores de pulsos, en los circuitos de disparo de los SCR, por ello emplearemos el transformador TAMURA STT-106.

CIRCUITO DE DISPARO PARA LOS SCR

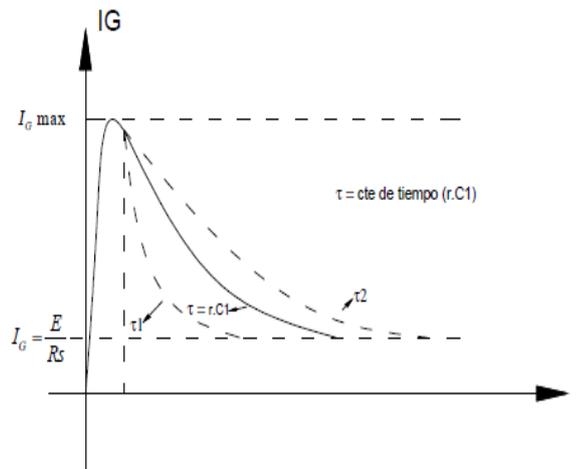
Un circuito de disparo está compuesto por los siguientes elementos y componentes que para las características del banco de magnetización son de suma importancia y necesidad:

Limitar la corriente del colector mediante R_s

R_s reduce la corriente de disparo de $I_G = E/R_s$ complicando la señal de disparo. Esto se soluciona mediante una red $rC1$, en paralelo con la R_s , de esta manera se corrige la amplitud del impulso y el disparo incrementa.

Corriente de compuerta

Gráfico N° 18



Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

El R_b limita la corriente en la base del transistor $Q1$. R_b se calcula para que el transistor actúe en corte o en saturación.

$D2$ se comporte como un elemento conmutador.

El Zener $D1$ aumenta la tasa de la caída de corriente I_G cuando el transistor entra en estado de corte.

El diodo $D3$ suprime los voltajes negativos entra la compuerta y el cátodo del transistor.

El condensador CGK, elimina los componentes de ruido de alta frecuencia y aumenta la capacidad dv/dt y el tiempo de retraso en la compuerta.

CÁLCULOS DEL CIRCUITO:

El transformador TARUMA STT-106

$$\frac{N1}{NS} = \frac{I2}{I1}$$

Ec. 67

Considerando la igualdad de las corrientes $I_G=I_C$

Entonces $I1 = I2$

Considerando la corriente requerida para el disparo del SCR es de 150mA, por lo tanto cumple con el requerimiento del circuito.

Los elementos complementarios para el circuito de disparo son los siguientes:

D1= Diodo Zener 15 V

D2= Diodo 1NA007

R1= Resistencia de 200 Ω

R2= Resistencia de 1 K Ω

C1= Condensador de 0.1 μ F

C2= Condensador de 0.1nF

PROTECCIONES DE LOS ELEMENTOS DEL TABLERO DE CONTROL DEL BANCO DE MAGNETIZACIÓN.

Las protecciones eléctricas para el tablero de control del banco de magnetización son de sobre voltajes y cortocircuitos para los cuales se emplearan un varistor y fusible respectivamente.

El objetivo de estos elementos es de eliminar daños electrónicos en el circuito eléctrico, debido a los sobre voltajes inesperados y la corriente de alimentación del sistema.

Protegen contra los cortocircuitos a los circuitos sometidos a picos de corriente elevados (picos magnetizantes en la puesta bajo tensión de los primarios de transformadores o electroimanes, picos de arranque de motores asíncronos, etc.).

LOS FUSIBLES

En general todos los fusibles cuando se funde uno por la causa que sea el resto de los fusibles que no han fundido muy posiblemente hayan perdido las características de fábrica al ser atravesados por corrientes y tensiones que no son las nominales.

EL VARISTOR

Es un elemento electrónico cuya resistencia óhmica disminuye cuando la tensión eléctrica que se le aplica aumenta. Tienen un tiempo de respuesta rápido y son utilizados como limitadores de picos de voltaje.

La conexión de estos elementos es de la siguiente manera en el circuito del banco de magnetización; al fusible se lo coloca en serie con la línea de alimentación antes de la carga, antes del varistor.

El varistor se lo coloca en paralelo con el circuito a proteger y absorbe los picos mayores a su tensión.

Quedando el sistema eléctrico de la siguiente manera:

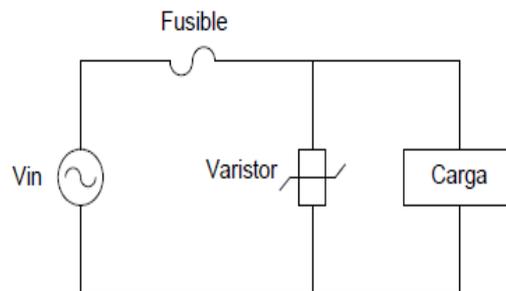
Alimentación 220V

Varistor con $V_{clamp} = 600V$

Fusible de 2A /250 V

Circuito fusible varistor carga

Figura N° 44



Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

REQUERIMIENTOS DE LA PROPUESTA

SELECCIÓN DE ELEMENTOS

TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Luego de haber realizado el diseño hemos seleccionado un transformador de las siguientes características:

Voltaje de entrada 220V

Voltaje de salida 6,5V

Frecuencia 60HZ

Potencia 5 KVA

Tipo POWER XFMR

Transformador de potencia

FOTO N° 3.1



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

TRANSFORMADOR DEL CIRCUITO DE CONTROL

Una vez que se ha realizado el diseño se ha procedido a seleccionar un transformador de las siguientes características:

Voltaje de entrada 220V

Voltaje de salida 120V

Potencia 0.050KVA

Transformador del circuito control

FOTO N° 3.2



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

CONTROLADOR DE CORRIENTE SCR

Se ha seleccionado el SCR con el número de parte F145246D el cual nos ayuda a controlar los siguientes parámetros:

θ = Ángulo de conducción 0 a 180°

I_G = Corriente de disparo o compuerta 0.1 y 50 mA

V_{GK} = Voltaje entre la compuerta y el cátodo 0.6 – 0.8 V

I = Corriente a controlar 0 a 20A

SCR

FOTO N° 3.3



Fuente: Investigación propia
Elaborado por: Los autores

TARJETA DE CONTROL DE VOLTAJE Y CORRIENTE

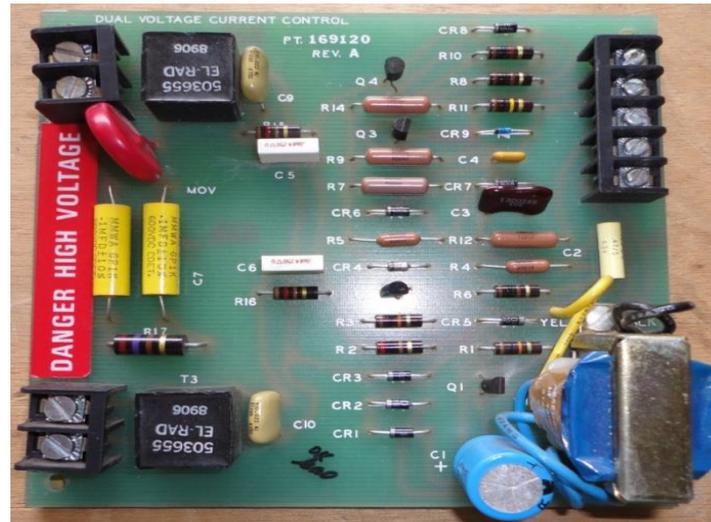
Se ha seleccionado una tarjeta electrónica la cual tiene por objetivo el control de la corriente y voltaje cuya descripción es DUAL VOLTAGE CURRENT CONTROL P-503558.

Este módulo está diseñado para disparar dos tiristores en un convertidor estático monofásico. Se pueden disparar los tiristores en cualquier instante del periodo de

la onda sinusoidal (disparo inmediato) y desconectar cuando la corriente pasa por cero en la carga.

TARJETA DE CONTROL DE VOLTAJE Y CORRIENTE

FOTO N° 3.4



Fuente: Investigación propia
Elaborado por: Los autores

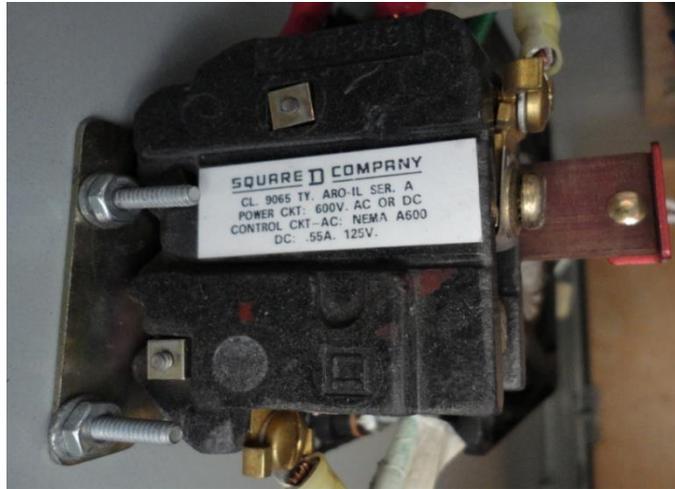
PROTECCIÓN DEL CIRCUITO DE POTENCIA

Se ha empleado un relé de sobrecarga con la siguiente descripción:

CL.3065 TY. ARO.IL SEP-A
POWER CKT: 600V. AC OR DC
CONTROL CKT-AC-NEMA A600
DC: .55A 125V

RELÉ DE SOBRECARGA

FOTO N° 3.5



PROTECCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL

Luego de haber realizado el diseño se ha procedido a seleccionar un fusible de 2 amperios y 125 voltios para la protección del sistema de control cuyo número de parte es:

P-8743

FUSIBLE

FOTO N° 3.6



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

SHUNT

Para determinar la corriente de magnetización al seleccionar corriente continua se ha escogido un shunt de 50 mV. con el número de parte P-503470

Derivaciones instrumento de corriente continua se utilizan para ampliar la gama de amperímetros siempre que la corriente a medir es demasiado grande para pasar a través de los instrumentos, por lo general las corrientes más de 50 amperios. "shunt" la mayoría de la corriente alrededor de la unidad de indicación. Esencialmente la derivación es una resistencia especialmente diseñada que proporciona una salida en milivoltios (a un metro de milivoltios o instrumento) en proporción a la corriente que fluye a través de la resistencia.

SHUNT

FOTO N° 3.7



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Se ha seleccionado un transformador el cual será el encargado de llevar una muestra del amperaje de magnetización en corriente alterna hacia el circuito de medida el número de parte es: 93169

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

FOTO N° 3.8



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

DIODOS

Para poder rectificar la corriente cuando se ha seleccionado trabajar con corriente directa se ha escogido dos diodos rectificadores de potencia de 1000 amperios.

DIODO

FOTO N° 3.9



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

REÓSTATO

Para el control de corriente de magnetización con la que deseamos trabajar se ha seleccionado un reóstato de $1K\Omega$ máximo y $38\ \Omega$ mínimo, el cual tiene también un selector de ON –OFF.

REÓSTATO

FOTO N° 3.10



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

AMPERÍMETRO

SE ha seleccionado un amperímetro de hasta 1500 Amperios RTG-50MV el número de parte es: 197763

Amperímetro

FOTO N° 3.11



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

VENTILADOR

Se ha seleccionado un ventilador de las siguientes características

115V AC

50/60 HZ

0,39/0,29 A

23/ 19 W

VENTILADOR

FOTO N° 3.12



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

LUZ PILOTO

Se ha seleccionado una luz piloto de 115 V DC que nos servirá para saber cuándo el equipo se encuentra encendido

LUZ PILOTO

FOTO N° 3.13



Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

PULSANTE

Se ha seleccionado un pulsante que soporte 115 VAC y hasta 2 A ya que nos servirá para controlar cuando queremos que el transformador de potencia entre en funcionamiento.

PULSANTE
FOTO N° 3.14



Fuente: Investigación propia
Elaborado por: Los autores

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

CONSTRUCCIÓN:

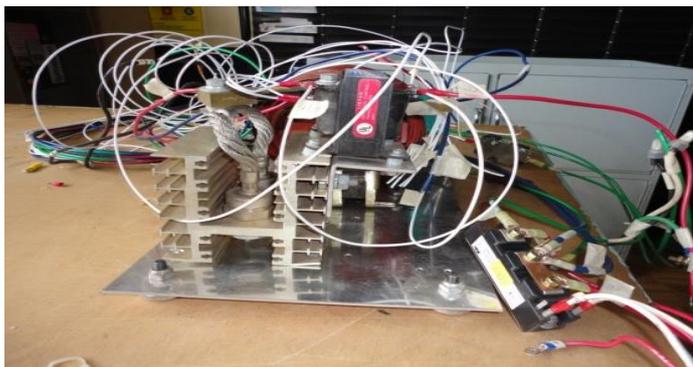
**CONSTRUCCIÓN DE LA PARTE ELÉCTRICA DEL BANCO DE
MAGNETIZACIÓN**

FOTO N° 3.15



Instalación del cableado del circuito de control

FOTO N° 3.16



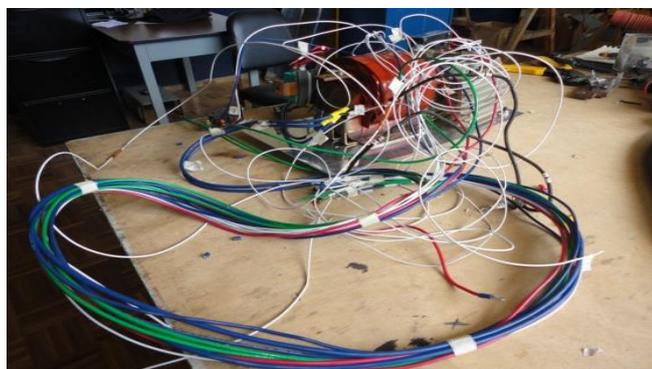
Instalación del cableado en los SCRs

FOTO N° 3.17



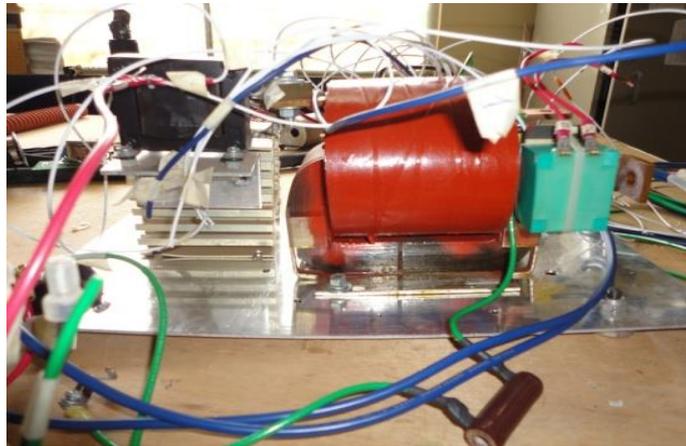
Instalación del cableado del transformador de potencia

FOTO N° 3.18



Ruteado del cableado para el tablero de control

FOTO N° 3.19



Montaje del transformador de corriente a la salida del transformador de potencia

Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DEL BANCO DE MAGNETIZACIÓN.

FOTO N° 3.20



Vista lateral de la estructura mecánica del banco

FOTO N° 3.21



Vista frontal de la estructura mecánica del
banco

FOTO N° 3.22



Fabricación y montaje del cabezal móvil del
banco

FOTO N° 3.23



Ubicación de la bandeja y el cabezal móvil a la estructura principal del banco

FOTO N° 3.24



Sujeción de la bandeja y el cabezal móvil a la estructura

FOTO N° 3.25



Apertura de orificios para los terminales de salida del equipo eléctrico

FOTO N° 3.26



Apertura del orificio para el ventilador de enfriamiento de los componentes eléctricos

FOTO N° 3.27



Vista frontal de la ubicación del ventilador

Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

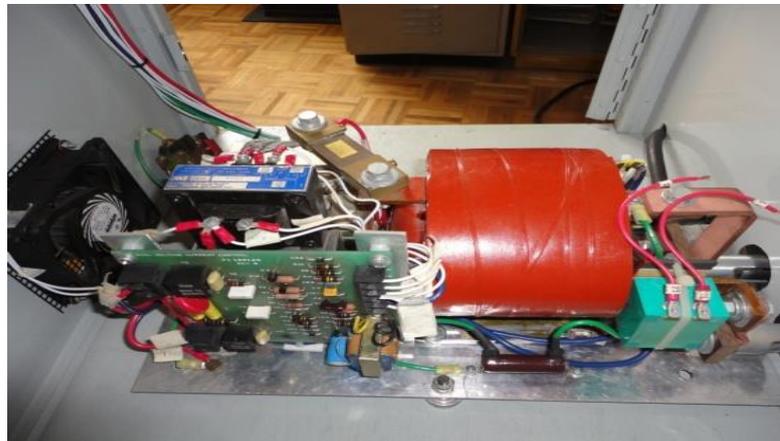
MONTAJE DEL CIRCUITO DE CONTROL Y POTENCIA A LA ESTRUCTURA MECÁNICA DEL BANCO DE MAGNETIZACIÓN

FOTO N° 3.28



Vista interior del compartimiento eléctrico

FOTO N° 3.29



Montaje del circuito de potencia a la estructura del banco

Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

MONTAJE DEL TABLERO DE CONTROL DEL BANCO

FOTO N° 3.30



Montaje del soporte del panel de control a la estructura

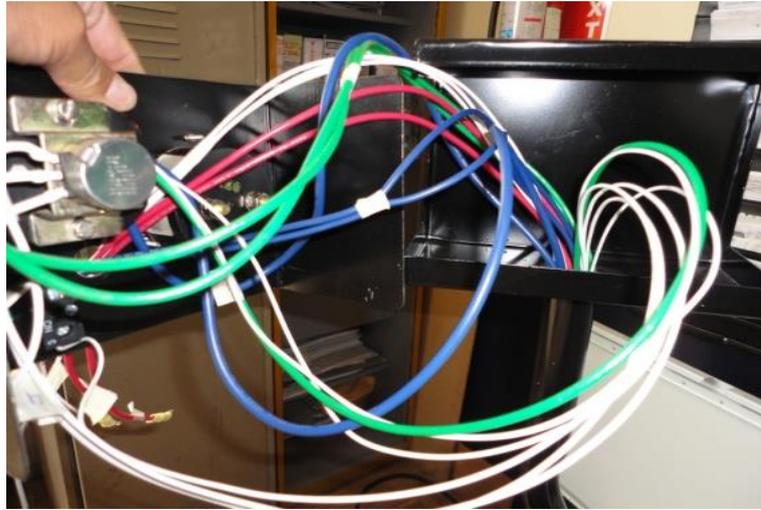
FOTO N° 3.31



Ruteado del cableado hacia el panel de control

Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

FOTO N° 3.32



Instalación de los diferentes componentes del tablero de control

FOTO N° 3.33



Montaje de la señalética del panel de control

Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

FOTO N° 3.34



Colocación de la señalética en la estructura del banco

FOTO N° 3.35



Vista posterior del banco de magnetización

Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

FOTO N° 3.36



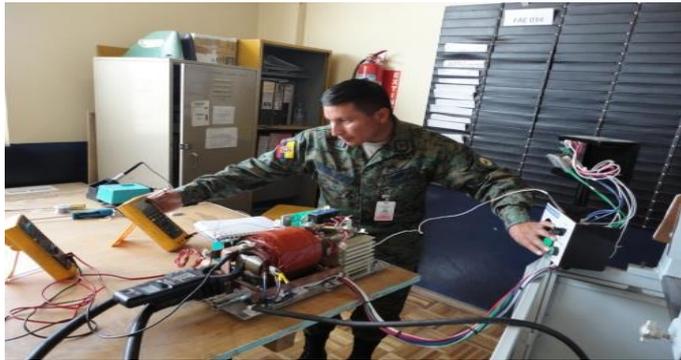
Banco de magnetización con sus respectivos componentes y señalización

Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

DISCUSIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PROPUESTA

MEDICIÓN DE CORRIENTE Y VOLTAJE DE ENTRADA Y SALIDA

FOTO N° 3.37



Mediciones de corriente y voltaje de entrada y salida

FOTO N° 3.38



Registro de los valores de las medidas realizadas

Fuente: **Investigación propia**
Elaborado por: **Los autores**

TABLA DE RESULTADOS

MEDICIÓN DEL TRANSFORMADOR

Tabla N° 25

NÚMERO DE MEDICIONES	VOLTAJE PRIMARIO	VOLTAJE SECUNDARIO	CORRIENTE PRIMARIO	CORRIENTE SECUNDARIO	CORREINTE AMPERÍMETRO
1	61,4	0,83	0,5	83	90
2	98,5	1,3	1,2	192	195
3	140	1,8	2,8	330	290
4	167	2,5	3,4	435	400
5	180	2,7	4	512	490
6	190	2,9	8,5	595	600
7	198	3,3	10	692	720
8	210	3,8	13	805	830
9	215	4,1	17	890	900
10	220	4,5	19	980	1000

Fuente: **Investigación propia**

Elaborado por: **Los autores**

VOLTAJE DE ENTRADA: 220V

CORRIENTE DE ENTRADA: 20A

POTENCIA: 4400W

MONOFÁSICO

CICLO DE TRABAJO: 1 MIN-ON / 2 MIN OFF

MODELO: P-1000

MÁXIMA SALIDA DE AMPERAJE: 1000A.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En la actualidad el banco de magnetización construido para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos se encuentra operando en el laboratorio de ensayos no destructivos pertenecientes al CIMAM. El propósito de nuestro proyecto de tesis ha sido alcanzado en vista de que hemos logrado obtener una corriente de magnetización regulable de 0 a 1000 A., que es con la que se realiza los diferentes trabajos mediante el método de partículas magnéticas en los componentes de aviación.
- Para el presente trabajo se ha diseñado un tablero de control y medida de fácil visualización y manejo del banco de magnetización, lo cual permite que los operadores puedan realizar los diferentes trabajos de una manera segura y eficiente.
- Con la finalidad de lograr mayor aprovechamiento de las virtudes del banco de magnetización se ha implementado dos alternativas de conexión las cuales pueden ser seleccionadas manualmente tanto para corriente alterna la cual es aplicada para la detección de discontinuidades superficiales, y corriente rectificadas de media onda utilizada para detectar discontinuidades subsuperficiales.
- Para el control de los diferentes niveles de corriente de magnetización, se utilizó dos SCR's los cuales son regulados mediante un potenciómetro el cual nos permite obtener el nivel de salida requerido para los diferentes trabajos, este potenciómetro se encuentra ubicado en el panel de control y debidamente señalizado para la fácil selección de la corriente deseada.

- El presente trabajo investigativo permite la aplicación de diferentes métodos para la inspección de componentes ferromagnéticos, mediante magnetización circular aplicando corriente directamente al componente por medio de los cabezales e induciéndola a través de un conductor central en componentes tubulares, y mediante magnetización longitudinal utilizando una bobina.
- En vista de que el banco de magnetización maneja niveles elevados de corriente y para precautelar la integridad física de los operadores, se ha ubicado el sistema de potencia del banco en un lugar aislado y cuyo acceso solo se lo puede realizar en fases de mantenimiento por personal técnico capacitado en el funcionamiento del mismo.
- Gracias a la operatividad de nuestro trabajo de graduación el CIMAM a través del laboratorio de ensayos no destructivos presta servicios de calidad con menores costos, mayor eficiencia y tiempos más rápidos de entrega de los trabajos confiados por sus clientes, permitiendo un mejor aprovechamiento de su talento humano, mejorando los ingresos económicos y evitando la subcontratación de estos servicios a empresas externas.

Recomendaciones

- Que el CIMAM a través del departamento de comercialización difunda a sus clientes la ampliación de sus servicios mediante la disponibilidad del banco de magnetización en su laboratorio de ensayos no destructivos, lo cual generará un mejor aprovechamiento de las cualidades de este equipo.
- Con la finalidad de precautelar y mantener en buenas condiciones el panel de control, se recomienda que cuando no se encuentre en operación el banco, se lo proteja para evitar que personal ajeno manipule indebidamente los controles causando deterioro de los mismos.

- Que los operadores sean capacitados adecuadamente para que puedan seleccionar los diferentes tipos de corriente de acuerdo a las discontinuidades que se desean detectar, lo cual permitirá aprovechar al máximo el rendimiento del equipo.
- Mientras el equipo esté energizado no se deberá acceder al compartimento eléctrico en vista de que aquí se encuentran ubicados los SCRs que trabajan con corrientes y voltajes peligrosos, evitando de esta manera riesgos de electrocución.
- El personal que opere el equipo deberá cumplir de forma estricta las indicaciones especificadas en el manual de procedimientos del banco de magnetización CIMAM-BM-MT-001 que se encontrará disponible y adjunto al mismo.
- Se designe un lugar apropiado para la ubicación del banco y se realice una conexión eléctrica directa para la operación del mismo en vista de que la red utilizada actualmente no fue diseñada para las características de consumo del equipo.
- Que el CIMAM de mayor apoyo para el desarrollo de futuros proyectos que vayan en beneficio de la institución y permita el desarrollo tecnológico nacional, evitando de esta manera la dependencia tecnológica extranjera, lo cual permitirá aprovechar al máximo las capacidades del talento humano disponible en el Centro.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y SIGLAS

Acumulador.- Registro usado en programación, donde se almacenan temporalmente los datos que serán tratados por la Unidad aritmético-lógica (UAL o ALU).

Administrador de archivos (File Manager o Manejador de Archivos).- Aplicación utilizada para facilitar distintas tareas con archivos como la copia, eliminación, movimiento entre otras. Algunos administradores de archivos permiten la asociación de las extensiones de los archivos con las aplicaciones preparados para trabajar con los mismos, permitiendo abrir, , reproducir, modificar, etc. cada archivo con la aplicación asociada.

Administrador de base de datos.- Persona encargada de velar por la integridad de los datos y sus asociaciones, así como de autorizar las modificaciones que se desee hacer.

Alfanumérico.- Característica que indica un conjunto de caracteres que incluye letras, números y signos de puntuación.

Algoritmo.- Procedimiento lógico-matemático, aplicado para resolver un problema.

Almacenamiento aleatorio.- Método de almacenamiento que permite el acceso directo a los datos sin pasar por los anteriores, lo cual reporta una mayor rapidez.
Banco de datos: Colección de archivos de datos, de tipo histórico, utilizados para consultas específicas de algún tema en particular.

Banda ancha.- Sistema de transmisión de datos de gran capacidad. Permite transmitir millones de bits e integrar servicios de telefonía, Internet y datos en general y televisión.

Base de datos relacional.- Colección de datos organizada y relacionada, para evitar duplicaciones y permitir la obtención de datos combinados, satisfaciendo la necesidad de usuarios con diferentes necesidades de información.

Circuito integrado.- Circuito electrónico miniaturizado, capaz de realizar todas las funciones de uno convencional. Puede contener numerosos transistores, diodos, condensadores y resistencias que se fabrican y colocan en un simple chip.

Directa. La corriente magnetizante fluye directamente a través de la pieza, creando un flujo magnético circular en ella.

Disco magnético.- Plato circular extendido, cuyas superficies son magnéticas. Sobre ellas pueden escribirse datos por magnetización de pequeños segmentos. El disco puede ser rígido (hard) o flexible (floppy)

Disco rígido.- Medio secundario de almacenamiento compuesto por varios discos superpuestos, con cabezas lecto-grabadoras, alojado en una unidad cerrada herméticamente.

Frecuencia.- Magnitud que refleja el número de repeticiones de una señal por segundo. Su unidad de medida es el hertz. Los sistemas informáticos trabajan con el megahertz (MHz) y el gigahertz (Gb).

Fuerza Coercitiva.- Es la fuerza magnetizante inversa necesaria para remover el magnetismo residual.

Inducción Directa.- Se consigue haciendo pasar una corriente eléctrica a través de la pieza. La pieza es montada horizontalmente, sujeta por dos cabezales por los que circula la corriente. Otro método directo de inducir un campo magnético circular es por el uso de puntas de contacto, su aplicación más común es en placas y soldaduras. En este caso se utiliza medio seco.

Magnetismo Residual.-Cantidad de magnetismo que existe en un material aún después de suspender la fuerza magnetizante.

Magnetización circular.-Se induce un campo magnético circular dentro de la pieza de prueba por magnetización directa e indirecta. Una regla aceptable es utilizar de 800 a 1000 Amper por pulgada de diámetro de sección transversal cuando se aplique CRM (corriente rectificada de media onda) y de 500 a 600 Amper cuando se usa corriente alterna.

Método continuo.-La aplicación del medio es simultánea con la operación de magnetización de la pieza. Se utiliza el baño húmedo de preferencia y puede ser con partículas teñidas con tintas fluorescentes.

Método Residual.- El medio se aplica después que la pieza ha sido magnetizada y suspendida, la fuerza magnetizante depende totalmente de la cantidad de magnetismo residual en la pieza, no es usado en aleaciones pobres de acero, que tienen poca retentividad. En este método se aplica un medio húmedo ya sea por baño o inmersión.

Permeabilidad Magnética.- Es la facilidad con la que un material puede ser magnetizado. Más específicamente es la relación entre la densidad de flujo y la fuerza del campo magnetizante (B/H).

Puntas de contacto.-Se utilizan electrodos de cobre, bronce o aluminio; al hacer pasar la corriente a través de ellos, esto produce un campo magnético circular en la pieza, alrededor y entre cada electrodo suficiente para una examinación local.

Reluctancia.- Resistencia que opone un material a la creación de un flujo magnético en él.

Retentividad.- Propiedad de los materiales para retener una cierta cantidad de magnetismo residual.

A.- Amperios

AC.- Corriente alterna

CIMAM.- Centro de Ingeniería y mantenimiento de aviones militares.

DC.- Corriente directa

KV.-Kilovoltios

MVA.- Mega voltamperios

NDE.- Ensayos no destructivos

NDT.- Pruebas no destructivas

SCR.- Rectificador controlado de silicio

SI.- Sistema internacional

V.- Voltaje

Bibliografía

2005. *Manual Teórico Den entrenamiento. canadian Society for nondestructive* . **Canada : s.n., 2005.**

2005. *Manual de entrenamiento de partículas magnéticas.* **2005.**

CHAPMAN, Stephen. 2000. *MÁQUINAS ELÉCTRICAS.* Colombia : **Mac Graw Hill, 2000.**

DANIEL, Hart. 2001. *Electrónica y Potencia.* Madrid : **PRENTICE HALL, 2001.**

destruictivos, Instituto Mexicano de ensayos nod. 2000. *Manual de entrenamiento de particulas magnéticas.* México : **s.n., 2000.**

GURÚ, B.S. 2001. *Transformers”, en Electric Machinery and transformers.* **USA : Osford University Press, 2001.**

Jesús, Freile. 2003. *Máquinas Eléctricas .* España : **Mac Graw Hill, 2003.**

L, Kosow I. 2003. *Máquinas Eléctricas y Transformadores.* México : **REVERTÉ, 2003.**

Linda, Manzer. 2008. *Manual Teórico Den entrenamiento. canadian Society for nondestructive.* **Canada : s.n., 2008.**

M.I.T. 1981. *Circuitos Magnéticos y Transformadores.* Buenos Aires : **Reverte, 1981.**

MUHAMMAD, Rashid. 2005. *Eléctronica de potencia.* Mexico : **Shirley Mcwire, 2005.**

M.I.T. 1981. *Circuitos Magnéticos y Transformadores.* Buenos Aires : **Reverte, 1981.**

Linkografía:

(http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_no_destructivo, 2013). 2013.

(<http://www.hiru.com/fisica/transformadores-de-corriente-transporte-de-energia>),
2013.

<http://aaho96.blogspot.com/2012/05/diodos-rectificadores.html>),2012.

http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_no_destructivo.2013.

<http://www.arqhys.com/construccion/metalicos-materiales.html#9705>. 2013.

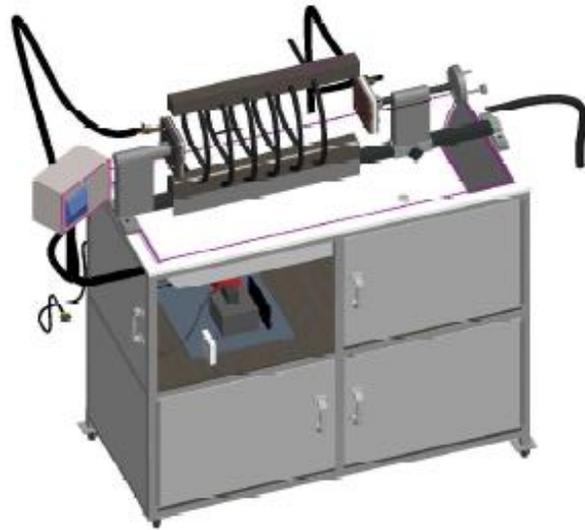
<http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=55>. 2013.

http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_166.phphtt. 2013.

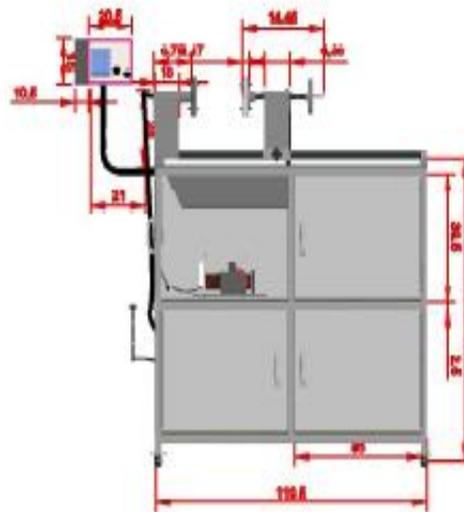
http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/tema4/Paginas/Pagina3.htm).
2013.

Anexos

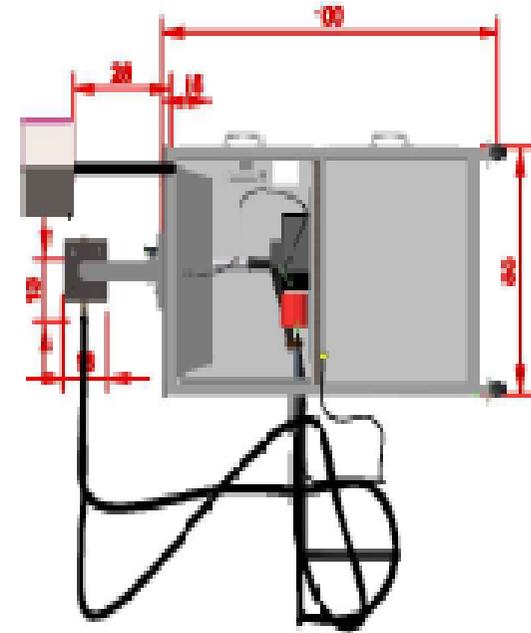
Anexo N° 02
DIAGRAMA MÉCANICO DEL BANCO DE MAGNETIZACIÓN



VISTA COMPLETA



VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR

Anexo N° 03
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

FORMATO DE CUESTIONARIO DIRECCIONADO AL PERSONAL
TÉCNICO Y OPERATIVO

OBJETIVO: RECOLECTAR INFORMACIÓN ACERCA DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE MAGNETIZACIÓN EN LA INSTITUCIÓN.

CONTENIDO:

1.- ¿Cómo califica el desarrollo tecnológico de las empresas de aviación?

Excelente ()

Muy bueno ()

Bueno ()

Malo ()

2.- ¿En el sector de la aviación existen todos los recursos materiales y humanos para una eficiente participación en el mercado?

Si ()

No ()

3.- ¿Considera necesario establecer el diseño y construcción de un banco de magnetización?

Si ()

No ()

4.- ¿Cuál sería la ventaja del diseño y la construcción de un banco de magnetización?

Reducción de costos ()

Innovación tecnológica ()

Aprovechamiento de recursos ()

Todas ()

5.- ¿En la institución existe la infraestructura necesaria para este tipo de desarrollo tecnológico?

Si ()

No ()

6.- ¿Cómo califica el proceso administrativo para efectuar el diseño y construcción de la banco de magnetización en la institución?

Abierta ()

Cerrada ()

7.- ¿Existe en el mercado proveedores de este instrumentó tecnológico?

Si ()

No ()

8.- ¿Cuáles son los factores que generan que la institución se convierta en un proveedor de un banco de magnetización?

Disponibilidad administrativa ()

Presupuesto ()

Desarrollo e innovación ()

Todos ()

9.- ¿Considera necesario que la institución apoye la producción continua de este proyecto tecnológico para convertirse en proveedor en el mercado de aviación?

Si ()

No ()

10.- ¿Cuál sería la ventaja de generar un control sobre las discontinuidades superficiales y subsuperficiales?

Seguridad operativa ()

Mejor funcionamiento del equipo ()

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN