

1-1-2007

Análisis de las fallas en el balasto autorregulado de metal halide 1000W con multitap de la industria Ergio de Colombia S.A. y obtención de un modelo matemático que permita mejorar el proceso de su fabricación

Carol Lizeth Amaya Cocunubo
Universidad de La Salle, Bogotá

Rafael Antonio Granados Pita
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica

Citación recomendada

Amaya Cocunubo, C. L., & Granados Pita, R. A. (2007). Análisis de las fallas en el balasto autorregulado de metal halide 1000W con multitap de la industria Ergio de Colombia S.A. y obtención de un modelo matemático que permita mejorar el proceso de su fabricación. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/148

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Eléctrica by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ANÁLISIS DE LAS FALLAS EN EL BALASTO AUTORREGULADO DE METAL
HALIDE 1000W CON MULTITAP DE LA INDUSTRIA ERGIO DE COLOMBIA
S.A. Y OBTENCIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO QUE PERMITA MEJORAR
EL PROCESO DE SU FABRICACIÓN.

CAROL LIZETH AMAYA COCUNUBO

RAFAEL ANTONIO GRANADOS PITA



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA
BOGOTÁ
2007

CAROL LIZETH AMAYA C.

RAFAEL ANTONIO GRANADOS P.



ANÁLISIS DE LAS FALLAS EN EL BALASTO AUTORREGULADO DE METAL HALIDE 1000W CON MULTITAP DE LA INDUSTRIA ERGIO DE COLOMBIA S.A. Y OBTENCIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO QUE PERMITA MEJORAR EL PROCESO DE SU FABRICACIÓN.

CAROL LIZETH AMAYA COCUNUBO
RAFAEL ANTONIO GRANADOS PITA

Trabajo de grado presentado como
Requisito para optar el título de
Ingeniero Electricista

Director
GUSTAVO ARCINIEGAS
Ingeniero Electrónico y de sistemas



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ
2007



NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. Gustavo Arciniegas.
Director de proyecto

Jurado: Ing.

Jurado: Ing.

Bogotá, marzo de 2006
Ciudad y Fecha



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme las fuerzas
necesarias para culminar mi carrera.

a mis padres y hermanos,
por ser mis amigos fieles, acompañantes y consejeros.

A mi esposo por brindarme fortaleza
y apoyo incondicional

Carol Amaya C.

A Dios por iluminar mi camino y permitirme
llegar al final de esta etapa de mi vida.

A mi madre y a mi padre por el esfuerzo
por darme la mejor enseñanza.

A mis hermanas por su apoyo,
colaboración y cariño incondicional.

Rafael Granados Pita.



Ni la Universidad, ni el asesor, ni el jurado calificador, son responsables de las ideas expuestas por los graduandos.



AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

GUSTAVO ADOLFO ARCINIEGAS Rojas Ingeniero Electrónico y de sistemas, profesor de la Universidad de la Salle y director de este trabajo de grado, por su amistad, cooperación y asistencia durante el proyecto de grado.

UNIVERSIDAD DE LA SALLE y a todos nuestros profesores, que compartieron sus conocimientos de manera desinteresada haciendo de nosotros unas personas éticas y profesionales.

ERGIO DE COLOMBIA S.A. por su ayuda y por las facilidades que nos brindaron en el desarrollo del proyecto de grado.



CONTENIDO

	pág
1. INTRODUCCIÓN	11
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1 LOS BALASTOS	12
2.1.1 El balasto electromagnético	12
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS BALASTOS	12
2.2.1 Balastos para luz fluorescente	12
2.2.1.1 Balastos para tubos fluorescentes de precalentamiento	12
2.2.1.2 Balastos para tubos de encendido rápido	13
2.2.1.3 Balastos para tubos de encendido instantáneo	13
2.2.2 Balastos o reactancias para luz de mercurio	13
2.2.3 Balastos o autorregulados para luz de sodio	13
2.2.4 Balastos de metal halide	13
3. CONSTRUCCIÓN DEL BALASTO	14
3.1 ESPECIFICACIONES DEL BALASTO DE METAL HALIDE DE 1000W CON MULTITAP	14
3.1.1 Características técnicas del balasto	14
3.1.2 Características eléctricas	14
3.1.3 Características mecánicas	14



3.2 BOBINAS	14
3.3 NÚCLEO	16
3.4 ENSAMBLE NÚCLEO – BOBINA	17
3.5 SOLDADURA DE NÚCLEO	18
4. PRUEBAS ELÉCTRICAS DEL BALASTO DE METAL HALIDE DE 1000W CON MULTITAP	21
4.1 PRUEBAS ELÉCTRICAS	21
4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS MARCAS DE POLARIDAD	21
4.3 RESISTENCIAS DE LOS DEVANADOS	22
4.3.1 Resistencia del devanado primario	22
4.3.2 Resistencia del devanado secundario	22
4.4 PRUEBA EN VACÍO	23
4.5 PRUEBA EN CORTO CIRCUITO	26
4.6 PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL NÚCLEO	30
4.7 PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL NÚCLEO POR EFECTO DEL LAZO DE HISTÉRESIS	30
4.8 CARACTERÍSTICAS DEL LAZO DE HISTÉRESIS	30
5. DISEÑO DEL BALASTO	33
5.1 ECUACIONES PARA EL PROCESO DE DISEÑO	33
5.1.1 Tensión inducida en el primario	33
5.1.2 Relación de vueltas del transformador	33



5.1.3 Resistencia en un devanado	34
5.2 FORMULAS PARA EL CÁLCULO DEL BALASTO	34
5.3 PROGRAMA DE DISEÑO	35
5.3.1 Datos de entrada	35
5.3.2 Parámetros de diseño	35
6. OPTIMIZACIÓN	38
6.1 OPTIMIZACIÓN LINEAL	38
6.1.1 Estrategia de experimentos	40
6.2 OPTIMIZACIÓN POR EL METODO DE MONTECARLO	41
6.2.1 PROCESO DE FORMULACIÓN DEL PROBLEMA EN EL METODO DE MONTECARLO	41
6.3 APLICACIONES TÍPICAS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	42
6.4 OPTIMIZACIÓN DE UN PROCESO	42
6.5 PRINCIPIOS BASICOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	42
6.6 PAUTAS GENERALES PARA DISEÑAR EXPERIMENTOS	43
6.6.1 Identificación y enunciación del problema	43
6.6.2 La elección de los factores, los niveles y los rangos	43
6.6.3 Selección de la variabilidad del sistema	43
6.7 CÁLCULOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL BALASTO DE METAL HALIDE MULTITAP	44
6.8 MODELO MATEMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL BALASTO DE METAL HALIDE 1000 W	46



7. VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	47
7.1 PROTOCOLO DE PRUBAS ESPECIALES	47
7.1.1 Protocolo de pruebas especiales con barnis y recocido.	47
7.1.2 Protocolo de pruebas especiales sin barnis y sin recocido	48
7.2 PRUEBAS DE TEMPERATURAS DE BALASTOS	48
7.3 BALASTO OPTIMIZADO DE METAL HALIDE MULTITAP	49
8. CONCLUSIONES	50
9. RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFIA	52
ANEXOS	53



LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1: Bobina A para balasto de metal halide multitap de 1000w	14
Figura 2: Plano eléctrico de la bobina A del balasto de metal halide multitap de 1000w	15
Figura 3: Bobina B para balasto de metal halide multitap de 1000w	15
Figura 4: Plano eléctrico de la bobina b del balasto de metal halide multitap de 1000w	16
Figura 5: Lámina magnética h310 recocida	16
Figura 6: Plano de ensamble del balasto metal halide multitap 1000w	17
Figura 7: Diagrama eléctrico balasto de metal halide de 1000w multitap	18
Figura 8: Perspectiva balasto metal halide multitap de 1000w	20
Figura 9: Identificación de las marcas de polaridad	21
Figura 10: Medición de la resistencia de un devanado	22
Figura 11: Conexión de la prueba en vacío	23
Figura 12: Defasamiento de la corriente de magnetización respecto a la tensión	23
Figura 13: Conexión de la prueba en corto circuito	27



Figura 14: Defasamiento de las corrientes respecto a la tensión en la prueba corto circuito fluke	28
Figura 15: Defasamiento de la corriente respecto a la tensión, en la prueba de corto circuito. (Osciloscopio)	30
Figura 16: Lazo de histéresis	31
Figura 17: Familia de lazos de histéresis	32
Figura 18: Defasamiento de la corriente de magnetización respecto a la tensión	32
Figura 19: Cálculos del balasto realizado en el programa visual Basic	36
Figura 20: Ventanas que se visualizan en el programa de visual Basic	37
Figura 21: Optimización del modelo de monte carlo	44
Figura 22: Histograma optimización del modelo matemático	45
Figura 23: Proceso de realización del proyecto	54
Figura 24: Características del alambre de cobre aislado con esmalte a base de poliesterimida-amidaimida	60



LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla1: Descripción del balasto	19
Tabla 2: Medición de la resistencia del primario del balasto sin cocinar y cocinado.	22
Tabla 3: Medición de la resistencia del secundario del balasto cocinado y sin cocinar.	22
Tabla 4: Mediciones de la prueba en vacío para el balasto sin cocinar	23
Tabla 5: Cálculos de la prueba en vacío para el balasto sin cocinar	24
Tabla 6: Mediciones de la prueba en vacío para el balasto cocinado	25
Tabla 7: Cálculos de la prueba en vacío para el balasto cocinado	25
Tabla 8: Mediciones de la prueba de corto circuito al balasto sin cocinar	27
Tabla 9: Cálculos de la prueba en corto circuito para el balasto sin cocinar	27
Tabla 10: Mediciones de la prueba de corto circuito al balasto cocinado	29
Tabla 11: Cálculos de la prueba en corto circuito para el balasto cocinado	29
Tabla 12: Tabla estadística del método de montecarlo	44
Tabla 13: Producto metal halide 1000w a 120/ 208/ 240v con barnis y recocado.	47



Tabla 14: Producto metal halide 1000w a 120/ 208/ 240/v sin barnis y sin recocido	48
Tabla 15: Pruebas de temperatura de balasto con pintura y cocido	48
Tabla 16: Pruebas de temperatura de balastos sin pintura y sin recocer	48
Tabla 17: Producto metal halide 1000w a 120/ 208/ 240/v	49
Tabla 18: Costos de elementos de fabricación para un balasto autorregulado de metal halide 1000w con multitap	61
Tabla 19: Costos por el tiempo de preparación para un balasto autorregulado de metal halide 1000w con multitap	62



LISTA DE ANEXOS

	pág
ANEXO A: Planificación del proyecto	54
ANEXO B: Código para la construcción del balasto metal halide multitap 1000w	55
ANEXO C: Características de alambres magnéticos de 200°C	60
ANEXO D: Tablas de costos de la fabricación del balasto de metal halide	61



GLOSARIO

BALASTO: bobina cuya reactancia limita la corriente de los circuitos que alimentan los tubos fluorescentes y las bombillas de descarga. Además el balasto suministra la tensión necesaria para el arranque de lámpara y mantiene la tensión apropiada en los terminales de la bombilla durante su funcionamiento.

BALASTO AUTOREGULADO: Conocido como balasto CWA, esta compuesto por un auto transformador para acoplar las diferentes tensiones de línea para las cuales se diseña. Una derivación del primario se acopla por medio de un condensador. La bobina secundaria, junto con el condensador forman un circuito regulado.

FACTOR DE POTENCIA: Es la relación entre las potencia de entrada de la luminaria (potencia suministrada a la lámpara más la potencia consumida por el propio balasto) y el producto de la tensión por la corriente de entrada.

PÉRDIDAS: Es la potencia que se transforma en calor y no es utilizada por el balasto.

PÉRDIDA DE POTENCIA: Es la potencia consumida por el balasto durante su funcionamiento.

POTENCIA ÚTIL: Es aquella parte de la potencia de entrada que es verdaderamente aprovechada por el balasto para generar luz.

REGULACIÓN: Es la habilidad del balasto para controlar la potencia de la lámpara con los cambios de tensión en la línea y en los terminales de la bombilla.

INRUSH CURRENT: Es el pico instantáneo de corriente que se produce en la entrada de la fuente de alimentación en el momento de su puesta en marcha.



1. INTRODUCCIÓN

La industria eléctrica ERGIO DE COLOMBIA S.A. dedicada a diseñar, fabricar y comercializar productos eléctricos y electrónicos para la aplicación en el campo de la iluminación y regulación de tensión, tiene como objetivo renovar y recuperar el liderazgo que tuvo durante muchos años en las líneas que produce y comercializa.

Al constituirse la empresa ERGIO DE COLOMBIA S.A. estaba formada por el departamento de investigación y calidad, el cual se encontraba organizado para asegurar que los usuarios recibieran productos de buena calidad cumpliendo con los requisitos y expectativas del cliente. Este departamento estuvo activo durante varios años; pero finalmente fue acabado, sin dejar concluida la investigación acerca de uno de los balastos de metal halide, el cual no cumple totalmente con las especificaciones que permitan una alta eficiencia de este producto.

De acuerdo con las necesidades del consumidor y los estudios presentados por el mercado, se hace necesaria la investigación para el desarrollo de nuevos productos y mejoras en los existentes; cumpliendo con las exigencias del mercado, la competitividad, la seguridad de los usuarios, el impacto ambiental, los costos y facilidades de fabricación.

El proyecto se basa en encontrar las fallas que presenta el balasto auto regulado de metal halide de 1000 vatios multitap; para esto se hace vital el estudio de los diferentes materiales que componen el balasto, la realización de protocolo de pruebas especiales tomadas en el laboratorio de la empresa, el diseño del modelo matemático, el cual será validado. Finalmente se dan sugerencias a la INDUSTRIA ERGIO DE COLOMBIA S.A. la cual estará en la capacidad de aplicarlas al nuevo diseño.



2. MARCO TEÓRICO

2.1 LOS BALASTOS

Los balastos son dispositivos eléctricos de la familia de los transformadores. En virtud de los cuales es factible adecuar la energía eléctrica disponible en las redes eléctricas, con los requerimientos de operación que exige el funcionamiento de los tubos fluorescentes y las bombillas de alumbrado público.

El balasto es diseñado para que una tensión específica, haga funcionar un tipo particular de tubo o bombilla y obtener un funcionamiento adecuado de esta. Los balastos también suelen llamarse balastas, balastros, balastras o reactancias.

2.1.1 El balasto electromagnético: Esta compuesto de bobinas y núcleo, sus funciones son:

- Suministrar un nivel de tensión adecuada durante un periodo muy corto de tiempo, entre los extremos del tubo o bombilla, con el fin de que estos enciendan.
- Regula la corriente que pasa por el tubo o bombilla en el momento del encendido, con el fin de evitar daños.
- Absolver las variaciones de tensión de la red en un rango amplio, para mantener los parámetros eléctricos que permitan el buen funcionamiento del tubo o bombilla.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS BALASTOS¹

Los balastos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de tubo o bombilla que van a hacer funcionar y de la misma forma su aplicación, que puede ser en el sector residencial, comercial, industrial, vías públicas y escenarios deportivos.

Los principales balastos son:

2.2.1 Balastos para luz fluorescente: Los principales tipos de tubos fluorescentes son:

2.2.1.1 Balastos para tubos fluorescentes de precalentamiento: Sus disposición más sencilla consiste de un reactor el cual se conecta en serie con el tubo. La tensión de la red varía sinusoidalmente al igual que la corriente de arco haciendo que el flujo luminoso tenga fluctuaciones con frecuencias igual a 2 veces la de la red.

¹ Catálogos de ergon y electrocontrol



2.2.1.2 Balastos para tubos de encendido rápido: Están compuestos por las bobinas rectoras, los núcleos y las bobinas que suministran la tensión para mantener los cátodos calientes. El factor de potencia puede ser normal si se usa para un solo tubo y se puede corregir agregando un condensador. Los circuitos con tubo de arranque rápido no requieren arrancador. Como estos tubos mantienen sus cátodos calientes es posible utilizarlos para sistemas luminosos de intensidad variable.

2.2.1.3 Balastos para tubos de encendido instantáneo: Estos deben suministrar la tensión necesaria para el arranque de los tubos. La tensión a la cual se debe conectar el balasto es de 120v, el factor de potencia es alto.

2.2.2 Balastos o reactancias para luz de mercurio: Son balastos relativamente pequeños, livianos y de bajas pérdidas están diseñados para trabajar con tensiones teniendo una tolerancia del 5%. Esta variación de red es el 12% de la potencia de la bombilla. Tiene un factor de cresta bajo, lo que es importante para la durabilidad de las bombillas. La corriente de arranque es alta permitiendo un calentamiento rápido de la bombilla, la cual en poco tiempo suministra el flujo luminoso normal. Requiere redes de mayor capacidad para asegurar el arranque.

2.2.3 Balastos o autorregulados para luz de sodio: Su núcleo es de forma especial, se necesita de un dispositivo que produzca pulsos de arranque de por lo menos 2500 V (arrancador). Para un cambio de tensión en la red debe haber una tolerancia del 10% de la potencia de la bombilla.

2.2.4 Balastos de metal halide: El circuito magnético de los balastos autorregulados para bombillas de metal halide consta de un núcleo que lleva ranuras en la porción correspondiente al devanado secundario para producir restricciones en el flujo magnético y saturación de una porción del núcleo; lo cual produce los picos en la onda de tensión de circuito abierto, necesarios para el arranque de la bombilla.

3. CONSTRUCCION DEL BALASTO²

3.1 ESPECIFICACIONES DEL BALASTO DE METAL HALIDE DE 1000W CON MULTITAP

Se definen en las siguientes características:

3.1.1 Características técnicas del balasto: Balasto autorregulado de metal halide de 1000w con multitap 120/208/ 240v

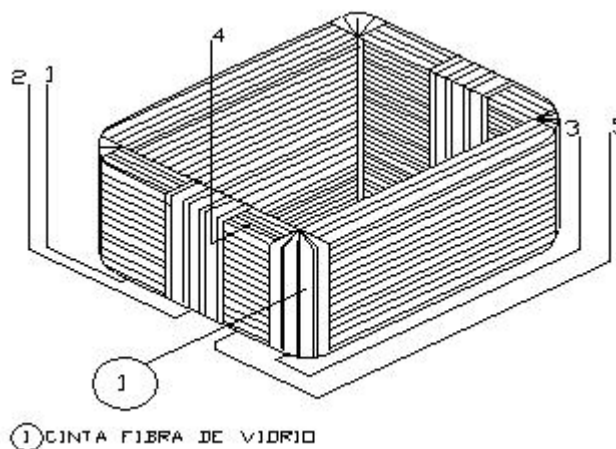
3.1.2 Características eléctricas: 120/208/240V

3.1.3 Características mecánicas: dimensiones 143x116x112mm
Peso aprox. 9.8kg

3.2 BOBINAS

Bobina A para multitap según plano anexo; consta de 220 espiras, de esta elaborada en alambre HT 180 C capa doble sobre un molde de acero, sostenida por tiras de cinta de fibra de vidrio para que no se deforme la bobina al tirar el molde. No lleva aislamiento entre capas de alambre. La bobina se aísla por aislamiento entre capas de alambre. La bobina se aísla por dentro y por fuera utilizando retal de thernomit, asegurándose con cinta de vidrio. Por último se coloca una tira de thernomit en el exterior de la bobina primaria de 372x32mm y en la bobina B DE 310X58mm asegurándola con cinta de fibra de vidrio.

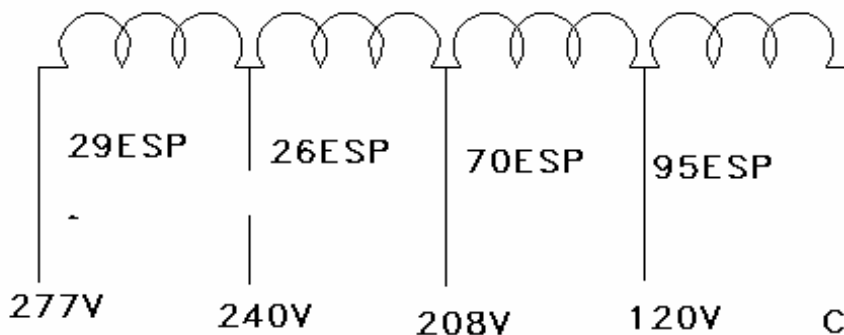
Figura 1: BOBINA A PARA BALASTO DE METAL HALIDE MULTITAP DE 1000W



² Manual Ergon S.A



Figura 2: PLANO ELÉCTRICO DE LA BOBINA A DEL BALASTO DE METAL HALIDE MULTITAP DE 1000W



CAPA DOBLE HT 180° C

NO LLEVA AISLAMIENTO ENTRE CAPAS DE ALAMBRE.

SACAR PUNTAS POR LA PARTE INFERIOR.

LONGITUD DE PUNTAS DE ALAMBRE 5 cms.

Figura 3: BOBINA B PARA BALASTO DE METAL HALIDE MULTITAP DE 1000W.

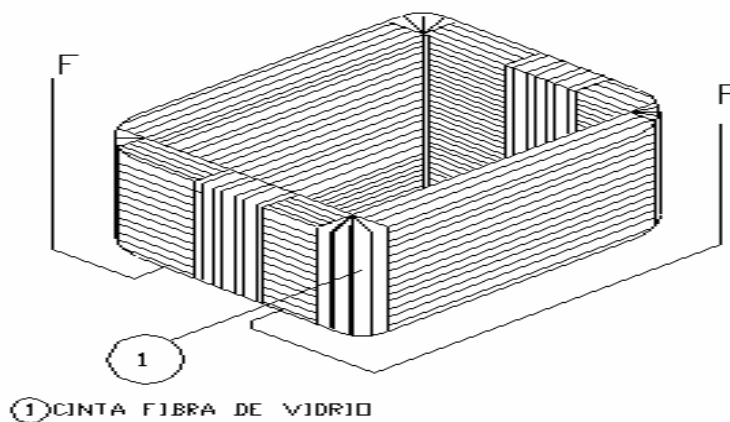
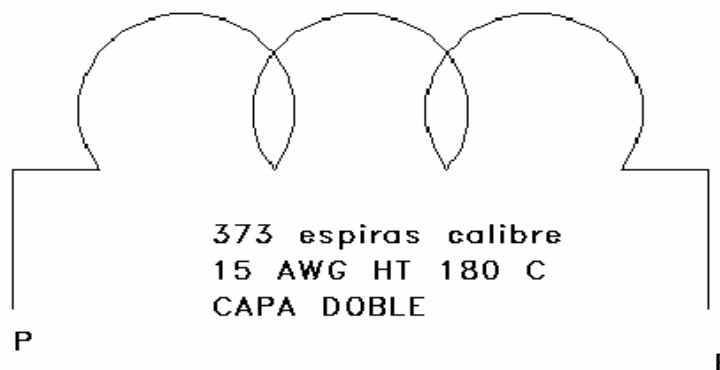


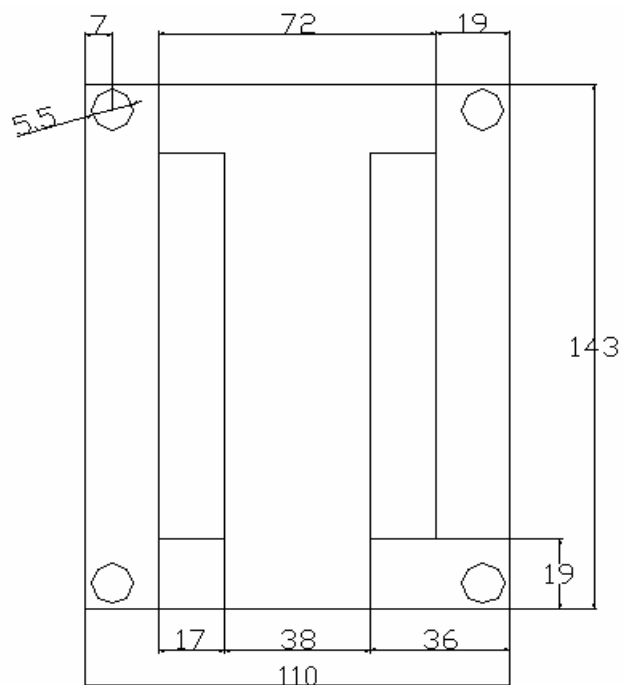
Figura 4: PLANO ELÉCTRICO DE LA BOBINA B DEL BALASTO DE METAL HALIDE MULTITAP DE 1000W.



3.3 NÚCLEO

El núcleo esta conformado por 160 juegos de lámina magnética H 310 recocida, troquelada según plano.

Figura 5: Lámina magnética H310 recocida.



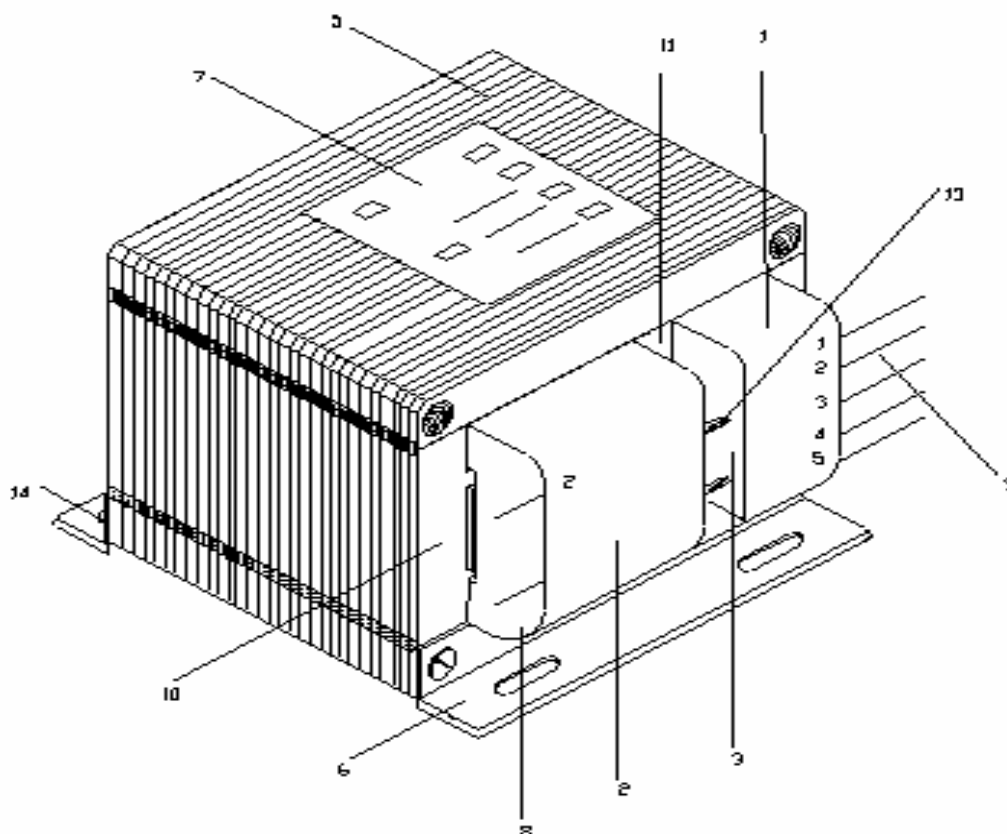
3.4 ENSAMBLE NÚCLEO - BOBINA

En los vértices del núcleo central se colocan 4 esquineras de papel dieléctrico de alta temperatura de 132x30 mm y se colocan las bobinas en el núcleo según plano.

Entre el núcleo y la bobina secundaria se colocan cuñas de cartón prensado y/o fibra vulcanizada según plano para fijarla. Entre las dos bobinas se colocan dos paquetes de 14 unidades de cuñas magnéticas (lámina magnética H 310) aisladas con cinta de fibra de vidrio, entre las cuñas y las bobinas se colocan dos tiras de papel prespán de 90 x 16mm.

Seguidamente se coloca la bobina primaria y se le colocan cuñas de cartón prensado y/o tiras vulcanizadas según plano para fijarla.

Figura 6: Plano de ensamble del balasto metal halide multitap 1000w



3.5 SOLDADURA DEL NÚCLEO

Se calibran las láminas del núcleo sujetándolas con dos vueltas de cinta de celofán transparente de 12mm de ancho y se coloca el sub-ensamble núcleo-bobina en el dispositivo del soldador TIG para aplicar cuatro cordones de soldadura, uniendo el núcleo lateral con el central.

Para su fijación el lleva dos bridas el conjunto núcleo y bridas se ajusta con los tornillos de 3/16" x 3¹/₂", cuatro arandelas metálicas de 3/16" y cuatro de cartón de 3/16".

Figura 7: DIAGRAMA ELÉCTRICO BALASTO DE METAL HALIDE DE 1000W MULTITAP.

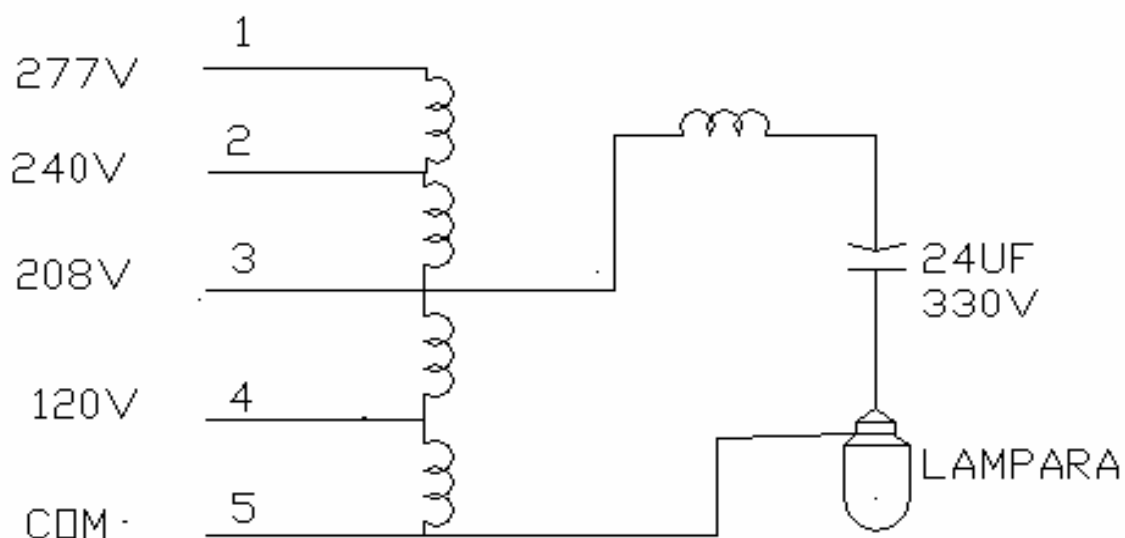


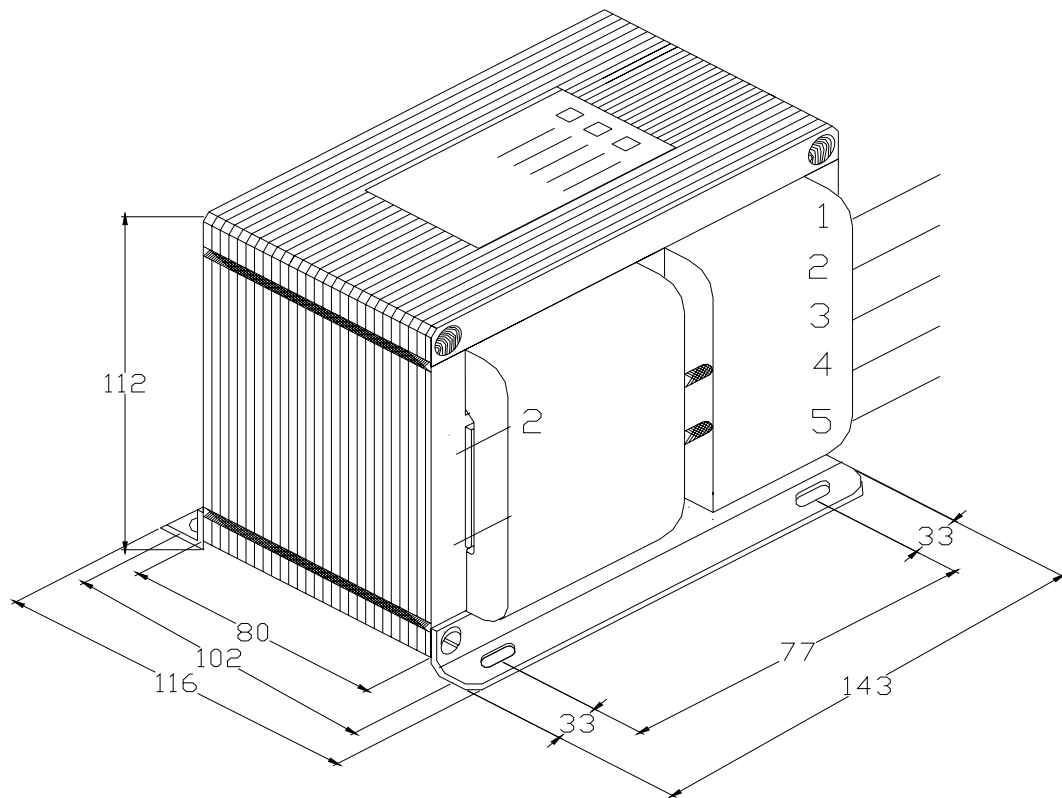


TABLA1: DESCRIPCIÓN DEL BALASTO

N ₀	DESCRIPCIÓN BALASTO CWA 1000W CÓDIGO DATOS ELÉCTRICOS	CANTIDAD	DIBUJO La	GRUPOS MULTITAP 1994 17150
	ENSAMBLE	1	3710	P1
	PERSPECTIVA	1	3717	P1
1	BOBINA A	1	3707	P1
2	BOBINA B	1	3709	P1
3	AISLAMIENTO	1	4559	P8
5	LAMINACIÓN TL 38 TANURA B	160	3328	P1
6	BRIDA	2	3210	P1
7	PLACA	1	4470	P1
8	CABLE N ₀ 14- 105 ⁰ C	1		P1
9	CABLE N ₀ 14- 105 ⁰ C	1		P1
10	CUÑAS CARTÓN	4	4250	P22
11	CUÑAS MAGNÉTICAS	28	3670	P5
12	TORNILLOS Ø3/16 * 3''1/2	2		P1
13	CORDÓN LACADO			P1
14	TUERCA Ø 3/16	4		P1
	DIAGRAMA DE CONEXIONES	1	3715	P1
	DIAGRAMA ELÉCTRICO	1	3714	P1



FIGURA 8: PERSPECTIVA BALASTO METAL HALIDE MULTITAP DE 1000W



4. PRUEBAS ELÉCTRICAS DEL BALASTO DE METAL HALIDE DE 1000W CON MULTITAP³

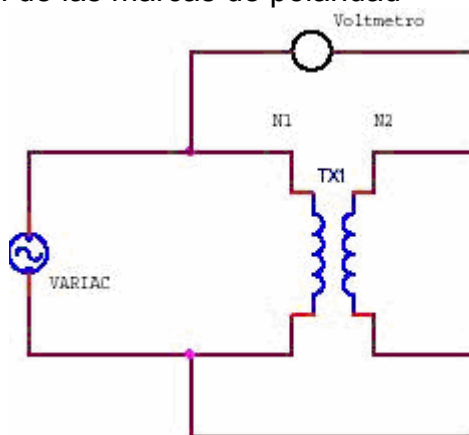
4.1 PRUEBAS ELÉCTRICAS

Se realizaron pruebas estándar al balasto construido, se destaca el procedimiento para determinar la inductancia mutua entre los devanados, el circuito eléctrico utilizado para emular el lazo de histéresis, y la utilización del osciloscopio para distinguir el desfase de la corriente respecto a la tensión, en la prueba en vacío y en la de corto circuito.

4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS MARCAS DE POLARIDAD

Para realizar esta prueba se alimenta al primario del balasto con tensión nominal, previamente se conecta una terminal del primario con la del secundario como se muestra en la figura 9. Se conecta un voltímetro entre las terminales del primario y secundario que están disponibles. Si la lectura obtenida corresponde a la resta de la tensión del primario y del secundario, las marcas se colocan en las terminales donde está conectado el voltímetro. Si la lectura es la suma, las marcas de polaridad deberán estar una en la terminal donde está el voltímetro y la otra en la terminal donde se unió el primario y el secundario.

Figura 9: Identificación de las marcas de polaridad



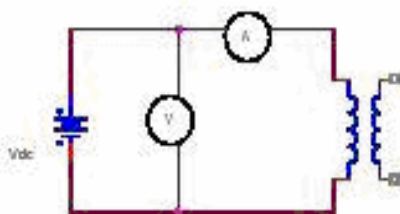
La medición registrada por el voltímetro corresponde a la suma de las tensiones del primario y secundario, las marcas de polaridad están cruzadas, respecto a la presentación física de las terminales de ambos devanados.

³ Dpto de eléctrica y computación, Universidad Autónoma de México.

4.3 RESISTENCIAS DE LOS DEVANADOS

Se mide la resistencia de cada devanado, previamente con un multímetro para tener una referencia de su valor. Posteriormente se aplica el método voltiamperímetro alimentando con una fuente de corriente directa al devanado de manera que circule la corriente nominal. Al aplicar la ley de Ohm se relacionan las mediciones del voltímetro y del amperímetro y se determina la resistencia. Este proceso debe realizarse para ambos devanados.

Figura 10: Medición de la resistencia de un devanado



4.3.1 Resistencia del devanado primario

Tabla 2: Medición de la resistencia del primario del balasto sin cocinar y cocinado.

V	I
7.5 V	15,4 A

$$R \approx \frac{V}{I} \approx \frac{7.5}{15.4} \approx 0.48\Omega$$

4.3.2 Resistencia del devanado secundario

Tabla 3: Medición de la resistencia del secundario del balasto cocinado y sin cocinar.

V	I
5.6V	6,9A

$$R \approx \frac{V}{I} \approx \frac{5.6}{6.9} \approx 0.81\Omega$$

4.4 PRUEBA EN VACÍO

Se realiza a tensión nominal aplicado al lado más conveniente, regularmente es el lado de baja. Como el balasto utilizado es de pequeña capacidad, se alimento el primario. Debido a que el nivel de potencia consumido por el balasto en esta prueba es muy bajo, se optó por distinguir el desfaseamiento entre la corriente y la tensión con un osciloscopio. Ver Figuras 11 y 12.

Figura 11: conexión de la prueba en vacío

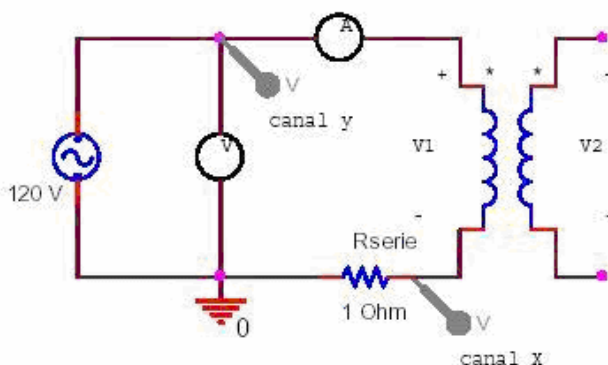


Tabla 4: Mediciones de la prueba en vacío para el balasto sin cocinar.

V	I
121,9 V	7,27 A

Figura 12: Defasamiento de la corriente de magnetización respecto a la tensión

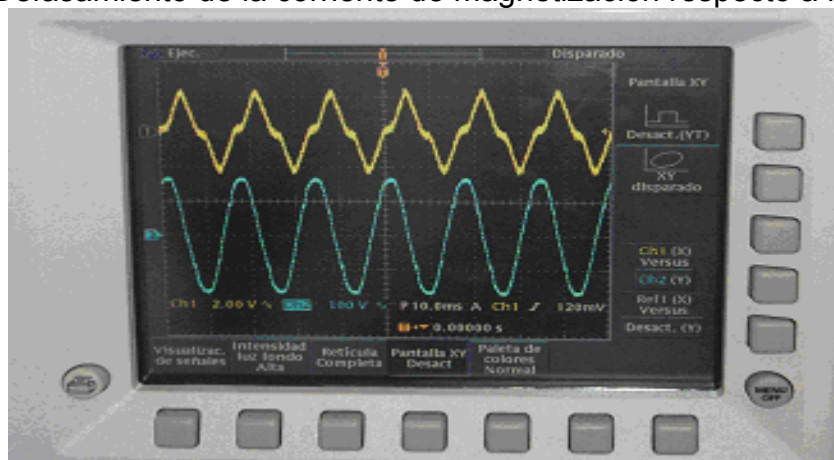




Tabla 5: Cálculos de la prueba en vacío para el balasto sin cocinar

Nombre de la ecuación	Ecuación	Resultado de la ecuación
Ángulo	$\phi = \arctan \frac{X}{y}$	$X = 10$ $Y = 16$ $\phi = \arctan \frac{10}{16}$ $\phi = \arctan 0.625$ $\phi = 32^\circ$
Factor de Potencia	$f.p = \cos \phi$	$f.p = \cos 32^\circ$ $f.p = 0.84$
Potencia activa consumida en la prueba	$P_{oc} = (v_{oc})(I_{oc})(f.p)$	$P_{oc} = (121.9)(7.27)(0.84)$ $P_{oc} = 744.41W$
Resistencia de pérdidas magnéticas	$R_{oc} = \frac{v_{oc}^2}{P_{oc}}$	$R_{oc} = \frac{(121.9)^2}{744.41}$ $R_{oc} = 19.96\Omega$
Corriente de pérdidas	$I_c = \frac{v_{oc}}{R_{oc}}$	$I_c = \frac{121.9}{19.96}$ $I_c = 6.10A$
Corriente de magnetización	$I_m = \sqrt{I_{oc}^2 - I_c^2}$	$I_m = \sqrt{52.85 - 37.21}$ $I_m = 3.95A$
Reactancia de magnetización	$X_m = \frac{v_{oc}}{I_m}$	$X_m = \frac{121.9}{3.95}$ $X_m = 30.86\Omega$



Inductancia de magnetización	$L_m = \frac{X_m}{2\pi f}$	$L_m = \frac{30.86}{2\pi(60)}$ $L_m = 0.0818H$
------------------------------	----------------------------	---

Tabla 6: Mediciones de la prueba en vacío para el balasto cocinado

V	I
121,2 V	9,42 A

Tabla 7: Cálculos de la prueba en vacío para el balasto cocinado

Nombre de la ecuación	Ecuación	Resultado de la ecuación
Ángulo	$\phi = \arctan \frac{X}{y}$	$X = 8$ $Y = 16$ $\phi = \arctan \frac{8}{16}$ $\phi = \arctan 0.5$ $\phi = 29.51^\circ$
Factor de Potencia	$f.p = \cos \phi$	$f.p = \cos 29.51^\circ$ $f.p = 0.89$
Potencia activa consumida en la prueba	$P_{oc} = (v_{oc})(I_{oc})(f.p)$	$P_{oc} = (121.2)(9.42)(0.89)$ $P_{oc} = 1016.11W$
Resistencia de pérdidas magnéticas	$R_{oc} = \frac{v_{oc}^2}{P_{oc}}$	$R_{oc} = \frac{(121.2)^2}{1016.11}$ $R_{oc} = 14.456\Omega$



Corriente de pérdidas	$I_c = \frac{V_{oc}}{R_{oc}}$	$I_c = \frac{121.2}{14.456}$ $I_c = 8.38A$
Corriente de magnetización	$I_m = \sqrt{I_{oc}^2 - I_c^2}$	$I_m = \sqrt{88.74 - 70.22}$ $I_m = 4.30A$
Reactancia de magnetización	$X_m = \frac{V_{oc}}{I_m}$	$X_m = \frac{121.2}{4.30}$ $X_m = 28.18\Omega$
Inductancia de magnetización	$L_m = \frac{X_m}{2\pi f}$	$L_m = \frac{28.18}{2\pi(60)}$ $L_m = 0.074H$

4.5 PRUEBA EN CORTO CIRCUITO

Esta prueba se realiza a corriente nominal, se conecta el lado de baja en corto y se aumenta gradualmente desde cero a la tensión alimentando al primario. En esta prueba, las pérdidas en el núcleo se desprecian debido a que la tensión es muy baja.

Figura 13: Conexión de la prueba en corto circuito

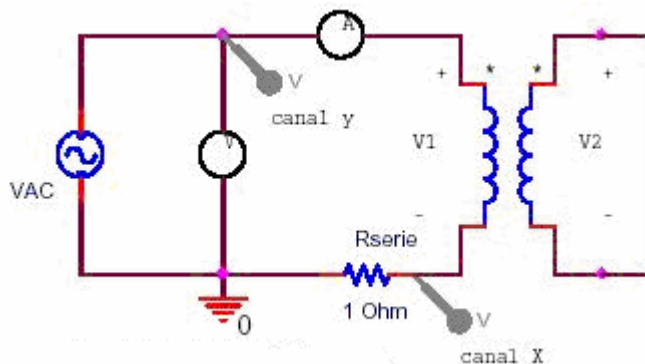


Tabla 8: Mediciones de la prueba de corto circuito al balasto sin cocinar

V	I
43	8,23

Tabla 9: Cálculos de la prueba en corto circuito para el balasto sin cocinar

Nombre de la ecuación	Ecuación	Resultado de la ecuación
Factor de potencia	$f.p = \cos \phi$	$f.p = 0.83^\circ$
Pérdidas en corto circuito	$P_{sc} = (V_{sc})(I_{sc})(f.p)$	$P_{sc} = (43)(8.23)(0.83)$ $P_{sc} = 294.43W$
Resistencia de pérdidas en el cobre	$R_{eql} = \frac{P_{sc}}{I_1^2}$	$R_{eql} = \frac{294.43}{(8.23)^2}$ $R_{eql} = 4.34\Omega$
Impedancia de la prueba	$Z_{eql} = \frac{V_1}{I_1}$	$Z_{eql} = \frac{43}{8.23}$ $Z_{eql} = 5.22\Omega$



Reactancia de dispersión magnética	$X_{eq1} = \sqrt{Z_{eq1}^2 - R_{eq1}^2}$	$X_{eq1} = \sqrt{27.25 - 18.34}$ $X_{eq1} = 2.90\Omega$
Resistencias del primario y del secundario	$R_1 = R_2 = \frac{R_{eq1}}{2}$	$R_1 = R_2 = \frac{4.34}{2}$ $R_1 = R_2 = 2.17\Omega$
Reactancias de dispersión de ambos devanados	$X_1 = X'_2 = \frac{X_{eq1}}{2}$	$X_1 = X'_2 = \frac{2.90}{2}$ $X_1 = X'_2 = 1.45$

Figura 14: Defasamiento de las corrientes respecto a la tensión en la prueba corto circuito fluke





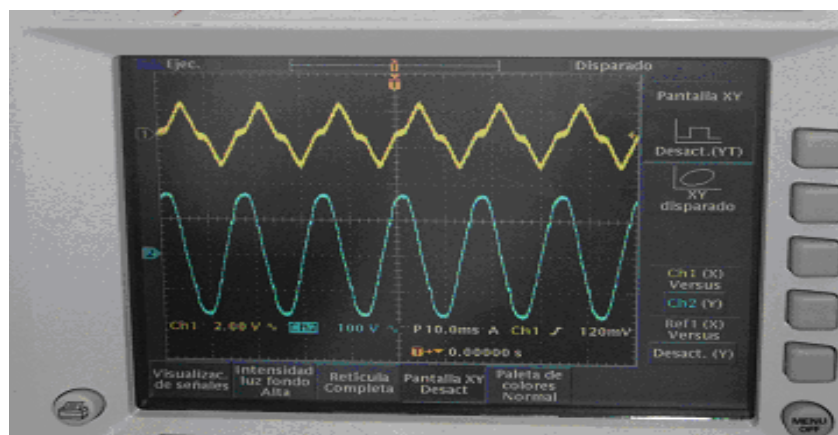
Tabla 10: Mediciones de la prueba de corto circuito al balasto cocinado

V	I
43,4	9,43

Tabla 11: Cálculos de la prueba en corto circuito para el balasto cocinado

Nombre de la ecuación	Ecuación	Resultado de la ecuación
Factor de potencia	$f.p = \cos \phi$	$f.p = 0.94^\circ$
Perdidas en corto circuito	$P_{sc} = (V_{sc})(I_{sc})(f.p)$	$P_{sc} = (43.4)(9.43)(0.94)$ $P_{sc} = 384.70W$
Resistencia de pérdidas en el cobre	$R_{eq1} = \frac{P_{sc}}{I_1^2}$	$R_{eq1} = \frac{384.70}{(9.43)^2}$ $R_{eq1} = 4.32\Omega$
Impedancia de la prueba	$Z_{eq1} = \frac{V_1}{I_1}$	$Z_{eq1} = \frac{43.4}{9.43}$ $Z_{eq1} = 4.60\Omega$
Reactancia de dispersión magnética	$X_{eq1} = \sqrt{Z_{eq1}^2 - R_{eq1}^2}$	$X_{eq1} = \sqrt{21.16 - 18.66}$ $X_{eq1} = 1.58\Omega$
Resistencias del primario y del secundario	$R_1 = R_2 = \frac{R_{eq1}}{2}$	$R_1 = R_2 = \frac{4.32}{2}$ $R_1 = R_2 = 2.16\Omega$
Reactancias de dispersión de ambos devanados	$X_1 = X'_2 = \frac{X_{eq1}}{2}$	$X_1 = X'_2 = \frac{1.58}{2}$ $X_1 = X'_2 = 0.79\Omega$

Figura 15: Defasamiento de la corriente respecto a la tensión, en la prueba de corto circuito. (Osciloscopio)



4.6 PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL NÚCLEO

Las pérdidas en el núcleo en los sistemas electromagnéticos comprenden dos componentes, las pérdidas por corrientes inducidas (corrientes de Eddy) y las pérdidas por histéresis. Las pérdidas por corrientes de Eddy se deben a lazo de corriente inducida debido al campo magnético variante en el tiempo a una frecuencia de 60 Hz y a las características de conductividad eléctrica del núcleo magnético.

4.7 PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL NÚCLEO POR EFECTO DEL LAZO DE HISTÉRESIS

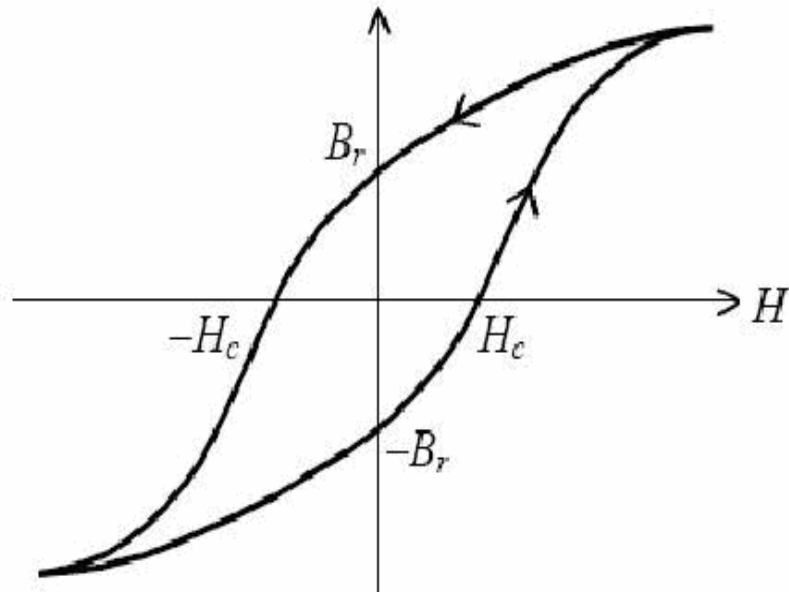
Cuando los sistemas electromagnéticos tales como relevadores, motores y transformadores se alimentan con corriente alterna, el efecto de magnetización y desmagnetización no se establece en el mismo lugar geométrico de la curva de magnetización y es así como se establece el lazo de histéresis cuya área representa una de las componentes de pérdidas en el núcleo, Figura 16.

4.8 CARACTERÍSTICAS DEL LAZO DE HISTÉRESIS

El lazo de histéresis muestra que la relación entre B y H es una relación no lineal y multivaluada. El concepto básico de función no aplica, ya que para un valor de la variable independiente, H, le corresponden dos diferentes valores de la función, uno que corresponde al proceso de magnetización y otro para la desmagnetización.



Figura 16: Lazo de Histéresis



A través de todo el ciclo de magnetización la densidad de flujo atrasa a la intensidad magnética. Al desmagnetizarse positivamente el núcleo, cuando la fuerza magnetizante cruza por cero la densidad de campo magnético, todavía tiene un valor importante el cual se denomina magnetismo remanente. Una vez que la densidad cruza por cero, el valor de la intensidad magnética es negativo y se denomina fuerza coerciva, necesaria para desmagnetizar el núcleo.

El lugar geométrico de los valores máximos de H de varios lazos, alimentando con una fuente de tensión variable al devanado, establecen la curva de magnetización del material ferromagnético, Figura 17.

Debido a la no linealidad del lazo de histéresis, la forma de la corriente de magnetización se distorsiona, y debido al ancho de histéresis, provoca que la distorsión no sea simétrica respecto a la vertical. Ver Figura 17.



Figura 17: Familia de lazos de histéresis

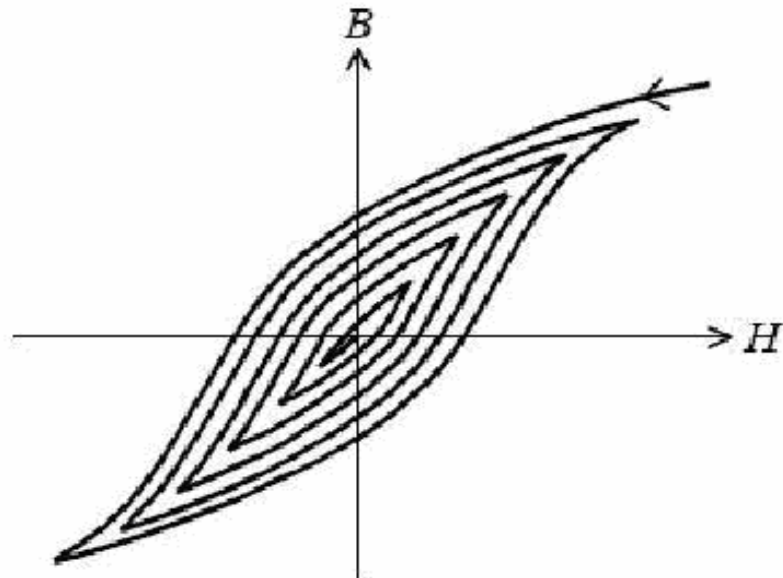
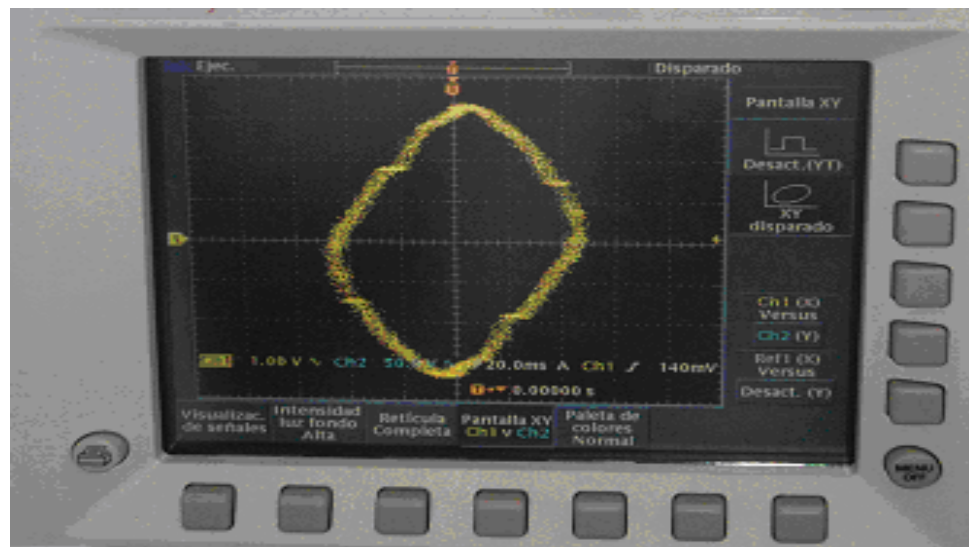


Figura 18: Defasamiento de la corriente de magnetización respecto a la tensión





5. DISEÑO DEL BALASTO⁴

La información de entrada al proceso de diseño consiste en:

- Registrar el número de identificación de la laminación.
- Los valores eficaces de la corriente y la tensión de salida del balasto.
- La tensión eficaz de entrada.
- El nivel de pérdidas deseado.

En el proceso de diseño se dimensiona el sistema magnético del balasto (longitud media, área transversal), se cuantifican las resistencias de los devanados primario y secundario, la inductancia de magnetización y el nivel de pérdidas en los conductores. En la etapa de resultados se reporta: el calibre del conductor, el número de vueltas y el peso en gramos de cable requerido para cada devanado. Además, se reporta el tipo de laminación.

5.1 ECUACIONES PARA EL PROCESO DE DISEÑO

Algunas de las ecuaciones que se aplican son:

5.1.1 Tensión Inducida en el primario

$$V_p \approx 4.44 N_p f B_{\max} A_c$$

Donde:

V_p = Tensión inducido en el primario.

N_p = Número de vueltas del primario.

f = Frecuencia.

B_{\max} = Densidad de campo magnético máxima.

A_c = Área de la sección transversal del núcleo, donde se montan las bobinas.

5.1.2 Relación de vueltas del transformador

$$a \approx \frac{V_p}{V_s}$$

Donde:

V_p = Tensión inducido en el primario.

V_s = Tensión inducido en el secundario.

⁴ Dpto de eléctrica y computación, Universidad Autónoma de México



5.1.3 Resistencia en un devanado

$$R \approx \rho \frac{l}{A}$$

ρ = Resistividad del alambre magneto.

l = longitud del alambre.

A = Área de su sección transversal.

5.1.4 Pérdidas en el conductor, en Watts

$$PR \approx RI^2$$

Donde:

R = Resistencia del devanado.

I = Corriente en el devanado.

5.1.5 Inductancia de magnetización

$$Lm \approx \frac{\mu_c N_p^2 A_c}{l_c}$$

Donde:

N_p = Número de vueltas del primario.

μ_c = permeabilidad del núcleo magnético

A_c = Área de su sección transversal.

l_c = longitud media del núcleo.

Para calcular la longitud media y definir el área de la sección transversal del núcleo del balasto, se debe determinar el sistema magnético equivalente a un transformador tipo columna.

5.2 FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL BALASTO

CÁLCULO DE BALASTO DE METAL HALIDE DE 1000W

BOBINAS

$$P = V_1 * I$$



LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL NÚCLEO CÁLCULA ASÍ

$$S = 1.18 \sqrt{P} * 1.75$$

CÁLCULO DEL LADO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL NÚCLEO

$$L = \sqrt{S}$$

CÁLCULO DEL NÚMERO DE LÁMINAS

$$NUMERODELAMINAS = \frac{Lmm}{grosordela \text{ min } aenmm}$$

CÁLCULO DE NÚMERO DE ESPIRAS

$$N1 = V1 / f * S * B * 4.4 * 10^{-8}$$

5.3 PROGRAMA DE DISEÑO

El balasto fue desarrollado en el lenguaje orientado Visual Basic teniendo como objetivo diseñar una aplicación fácil de manejar para el usuario

5.3.1 Datos de entrada: los parámetros de entrada son: Las tensiones y corrientes de las bobinas A y B ver figura19.

5.3.2 Parámetros de diseño: encontraremos los parámetros más importantes para la construcción del balasto. ver figura 19.



Figura19: Cálculos del balasto realizado en el programa visual Basic

Optimización del Balasto

BALASTO METAL HALIDE DE 1000 W

BOBINA A:

V1 Voltios
I1 Amperios

BOBINA B:

V2 Voltios
I2 Amperios

Resultados

P	<input type="text" value="1040"/>	W
S1	<input type="text" value="65,63"/>	cm ²
L1	<input type="text" value="8,1"/>	cm
Número de Láminas	<input type="text" value="162"/>	
Número de Espiras	<input type="text" value="171"/>	
Calibre alambre AWG	<input type="text" value="16"/>	

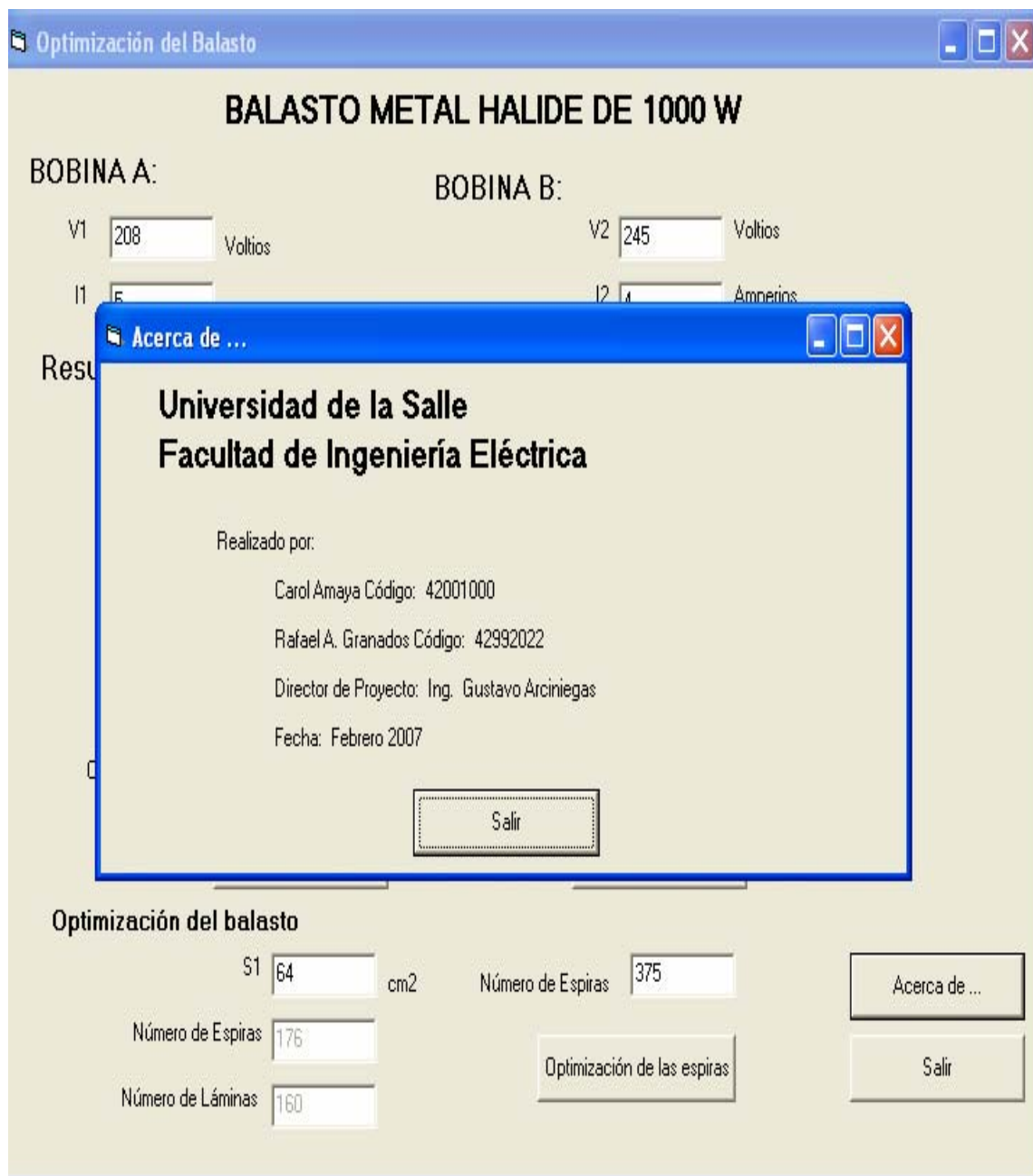
P	<input type="text" value="1004,5"/>	W
S2	<input type="text" value="64,5"/>	cm ²
L2	<input type="text" value="8,03"/>	cm
Número de láminas	<input type="text" value="161"/>	
Número de Espiras	<input type="text" value="374"/>	
Calibre alambre AWG	<input type="text" value="17"/>	

Optimización del balasto

S1	<input type="text" value="60"/>	cm ²	Número de Espiras	<input type="text" value="389"/>	<input type="button" value="Acerca de ..."/>
Número de Espiras	<input type="text" value="188"/>		<input type="button" value="Optimización de las espiras"/>		<input type="button" value="Salir"/>
Número de Láminas	<input type="text" value="155"/>				



Figura 20: Ventanas que se visualizan en el programa de visual Basic





6. OPTIMIZACIÓN⁵

6.1 OPTIMIZACIÓN LINEAL

Un modelo de optimización Matemática consiste en una función objetivo y un conjunto de restricciones en la forma de un sistema de ecuaciones o inecuaciones. Un modelo útil es aquel que captura los elementos adecuados de la realidad con un grado aceptable de precisión.

Un modelo matemático es una ecuación, desigualdad o sistema de ecuaciones o desigualdades, que representa determinados aspectos del sistema físico representado en el modelo. Los modelos de este tipo se utilizan en gran medida en las ciencias físicas, en el campo de la ingeniería, los negocios y la economía.

Lo ideal sería que si el modelo matemático es una representación válida del rendimiento del sistema, mediante la aplicación de las técnicas analíticas adecuadas, la solución obtenida a partir del modelo debería ser también la solución para el problema del sistema. Así, la efectividad de los resultados de la aplicación de cualquier técnica operativa es en gran medida una función del grado en el cual el modelo representa al sistema en estudio.

A fin de definir las condiciones que nos conducirán a la solución del problema del sistema, el analista primero debe identificar un criterio según el cual se podrá medir el sistema. Este criterio a menudo se denomina medida del rendimiento del sistema o medida de efectividad. En aplicaciones empresariales, la medida de efectividad generalmente son los costos o las utilidades, mientras que en aplicaciones gubernamentales esta medida generalmente se define en términos de un índice costo/beneficio.

En cada etapa del proceso de desarrollo, el analista debe evaluar la correspondencia o validez del modelo. Normalmente se emplean dos criterios para realizar esta determinación. El primero implica la experimentación del modelo: someter el modelo a una serie de condiciones y registrar los valores asociados de la medida de efectividad dada por el modelo en cada caso. Si la medida de efectividad varía de manera antinatural con una sucesión de condiciones de entrada, es posible que la función objetivo no sea válida..

La Programación Lineal (PL) es un procedimiento matemático para determinar la asignación óptima de recursos. La PL es un procedimiento que encuentra su aplicación práctica en casi todas las facetas de los negocios, desde la publicidad

⁵ Smith Jo Ann, Programación orientada a objetos



hasta la planificación de la producción. Problemas de transporte, distribución, y planificación global de la producción son los objetos más comunes del análisis de PL

El término "programación" tiene un significado distinto cuando se refiere a Programación Lineal que cuando hablamos de Programación Informática. En el primer caso, significa planificar y organizar mientras que en el segundo caso, significa escribir las instrucciones para realizar cálculos.

Qué es una función: una función es una cosa que hace algo. Por ejemplo, una máquina de moler café es una función que transforma los granos de café en polvo. La función (objetivo) traza, traduce el dominio de entrada (denominado región factible) en un rango de salida con dos valores finales denominados valores máximo y mínimo.

Cuando se formula un problema de toma de decisiones como un programa lineal, se deben verificar las siguientes condiciones:

La función objetivo debe ser lineal. Vale decir que se debe verificar que todas las variables estén elevadas a la primera potencia y que sean sumadas o restadas (no divididas ni multiplicadas).

Para la mayoría de los problemas de PL, se puede decir que son dos tipos importantes de objetos: en primer lugar, los recursos limitados, tales como terrenos, capacidad de planta, o tamaño de la fuerza de ventas; en segundo lugar, las actividades, tales como "producir acero con bajo contenido de carbono", y "producir acero con alto contenido de carbono". Cada actividad consume o probablemente contribuye cantidades adicionales de recursos. Debe haber una función objetivo, es decir, una manera de discriminar una mala de una buena o una mejor decisión. El problema es determinar la mejor combinación de niveles de actividades, que no utilice más recursos de los disponibles. Afortunadamente, el software de programación lineal ayuda a determinar esto cuando se ingresa un modelo bien formulado.

El método Simplex es un algoritmo de solución muy utilizado para resolver programas lineales. Un algoritmo es una serie de pasos para cumplir con una tarea determinada.



6.1.1 Estrategia de experimentos

El experimento se puede definir como la serie de pruebas en las que se hacen diferentes cambios en las variables de entrada de un proceso, para identificar los cambios que se pueden observar a la salida de las respuestas.

La experimentación cumple un papel muy importante en los campos de la ingeniería; puesto que permite el desarrollo de procesos y el mejoramiento de los mismos.

En cualquier, experimento, se deben tener en cuenta una serie de preguntas que nos permitan plantear los pasos a seguir, en el desarrollo del experimento.

El modelo general de un proceso experimental es la entrada, los factores controlables, los factores no controlables y la salida.

Dentro de la estrategia del experimento se deben tener los siguientes objetivos:

- Determinar cuales son las variables que tiene mayor influencia sobre las respuestas de salida.
- Establecer cual es el ajuste de los factores controlables que contribuyen a que la variabilidad de la salida sea reducida.
- Señalar cual es el ajuste de las variables controlables, que afectan en gran proporción a los efectos de las variables no controlables; y de esta manera hacer que estas sean mínimas.

En el planteamiento del proceso del experimento, se descubren varios factores que se podrían considerar claves a la hora de plantear el experimento:

- Enfoque de la mejor conjetura: Hay dos desventajas, primero, la conjetura inicial no produce los resultados deseados. Y la segunda, suponiendo que se obtenga una conjetura óptima, el experimentador se ve tentado a suspender las pruebas, sin saber realmente cual es la solución satisfactoria.
- Enfoque de un factor a la vez: Este método tiene como objetivo seleccionar un punto de partida para cada factor, y de esta manera variar sucesivamente cada factor en su rango, manteniendo constantes los factores restantes en el nivel base.
- La iteración: Esta se presenta cuando uno de los factores no produce el mismo efecto en la respuesta con niveles diferentes de otro factor.



- Experimento factorial: Es la estrategia experimental en la que se varían diferentes factores a la vez.

6.2 OPTIMIZACIÓN POR EL METODO MONTE CARLO⁶

Monte Carlo es una simulación donde se reproduciendo operaciones en el tiempo, de un proceso o de un sistema representado por un modelo para analizar su comportamiento y hacer un análisis acerca de las características y del comportamiento real del sistema. El objetivo de una simulación puede ser el análisis y evaluación del sistema o proceso, el análisis de alternativas de diseño o de optimización.

Los softwares actuales ayudan a la utilización de simulaciones para análisis de sistemas y procesos complejos al facilitar la implementación de modelos matemáticos para representarlos.

Las variables aleatorias también se pueden simular repitiendo experimentos y su análisis estadístico con la ayuda del computador. Las simulaciones de experimentos aleatorios se realizan con base en la generación de números o valores de las variables que siguen diferentes distribuciones de probabilidad.

6.2.1 PROCESO DE FORMULACIÓN DEL PROBLEMA EN EL METODO DE MONTECARLO

Para formular problema se recomienda seguir los siguientes lineamientos generales después de leer con atención el enunciado del problema varias veces.

Todo programa lineal consta de cuatro partes: un conjunto de variables de decisión, los parámetros, la función objetivo y un conjunto de restricciones. Al formular un determinado problema de decisión en forma matemática, debe practicar la comprensión del problema (es decir, formular un Modelo Mental) leyendo detenidamente una y otra vez el enunciado del problema. Para comprender el problema, se debe hacer las siguientes preguntas:

¿Cuáles son las entradas controlables? Las entradas controlables son de dos tipos: En cuanto a materiales (lámina magnética, los alambres esmaltados calibre 15 y 16) y respecto al tiempo de construcción del balasto (preparada de bobina **a** con aislante y preparación de la bobina **b** con aislante). ¿Cuáles son las entradas no controlables? Permanecerán constantes el resto de los materiales y los tiempos con los cuales se construye el balasto.

⁶ Torres Álvaro Probabilidad, proceso estocásticos y confiabilidad en ing eléctrica.



¿Cuál es el objetivo? Se tiene como objetivo minimizar los costos de fabricación del balasto autorregulado de metal halide 1000 W.

¿Cuáles son las restricciones? Se deben tener en cuenta las siguientes: Para el tiempo de preparada de la bobina **a** y **b** la restricción será de más o menos un minuto.

Para la construcción de las bobinas (el número de espiras tendrá un rango de más o menos 10 en el calibre 15 y para el calibre 16 el rango estará en más o menos 10), para la construcción del núcleo (las láminas tendrán un rango de más o menos 10).

6.3 APLICACIONES TÍPICAS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Cuando se realizan actividades del diseño de ingeniería, donde se hacen mejoras a los productos o se desarrollan nuevos. Se encuentran aplicaciones tales como:

- Selección de los parámetros del diseño para que el producto tenga un buen funcionamiento en una amplia variedad de condiciones.
- Evaluación de materiales alternativos.
- Evaluación y comparación de configuraciones de diseño.
- Determinar los parámetros claves para el diseño y desarrollo del producto que afecta el desempeño del diseño experimental.

6.4 OPTIMIZACIÓN DE UN PROCESO

La optimización dentro del proceso experimental establece la región de los factores que conduzcan a la mejor respuesta posible. Si la respuesta a la que se quiere llegar es el mejoramiento, se tendrá que encontrar la región del rendimiento máximo o si la respuesta es la variabilidad de una dimensión crítica del producto, se tendrá que encontrar la región de variabilidad mínima.

Al encontrarse la región del rendimiento óptimo, se procede a desarrollar un modelo empírico del proceso y lograr una estimación más precisa de las condiciones de operación perfecta de las variables.

6.5 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Se encuentran tres principios básicos para el desarrollo de un proceso experimental.



- La realización de replicas permite observar una estimación del error experimental, con el cual se determina las diferencias observadas son estadísticamente diferentes.
- La aleatorización permite que la asignación del material experimental se escoja al azar. La aleatorización correcta del experimento permite detectar los efectos de factores extraños que puedan estar presentes.
- La formación de bloques es la técnica que se utiliza para mejorar la precisión de las comparaciones que se hacen entre los factores utilizados para el desarrollo de experimento o investigación.

6.6 PAUTAS GENERALES PARA DISEÑAR EXPERIMENTOS

6.6.1 Identificación y enunciación del problema: En este punto se hace necesario hacer una lista de los problemas o cuestionamientos específicos que van a bordarse en el experimento; pues al tener claridad del problema se hará más fácil comprender los fenómenos bajo estudio y la solución final del problema.

6.6.2 La elección de los factores, los niveles y los rangos: Los factores son aquellos que se desean variar en el experimento. Los que se mantienen constantes presentan efecto sobre la respuesta, pero que para fines del experimento no son de gran interés.

6.6.3 Selección de la variabilidad del sistema: Se debe saber que la variable de respuesta proporciona en realidad información útil a cerca del proceso bajo estudio. La eficiencia de los instrumentos de medición juegan un papel muy importante, ya que pueden hacer variar notablemente la respuesta final y es por eso que se necesitarán tomar varias mediciones y sacar el promedio de todas estas.

6.6.4 Elección del diseño experimental: Se debe tener en cuenta el tamaño de la muestra y determinar si se requiere de la restricción de bloques u otras restricciones sobre la aleatorización.

6.6.5 Realización del experimento: Se debe tener constantemente revisión de proceso con el fin de que todo se este haciendo conforme a lo que se había planteado en el momento del planteamiento del experimento.

6.6.6 Análisis estadístico de los datos: Los métodos estadísticos no permiten determinar un efecto particular, solo proporcionan pautas generales en cuanto a la confiabilidad y validez de los resultados.



6.7 CÁLCULOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL BALASTO DE METAL HALIDE MULTITAP

Monte Carlo es el método que se aplicó.

Figura 21: Optimización del modelo de Monte Carlo

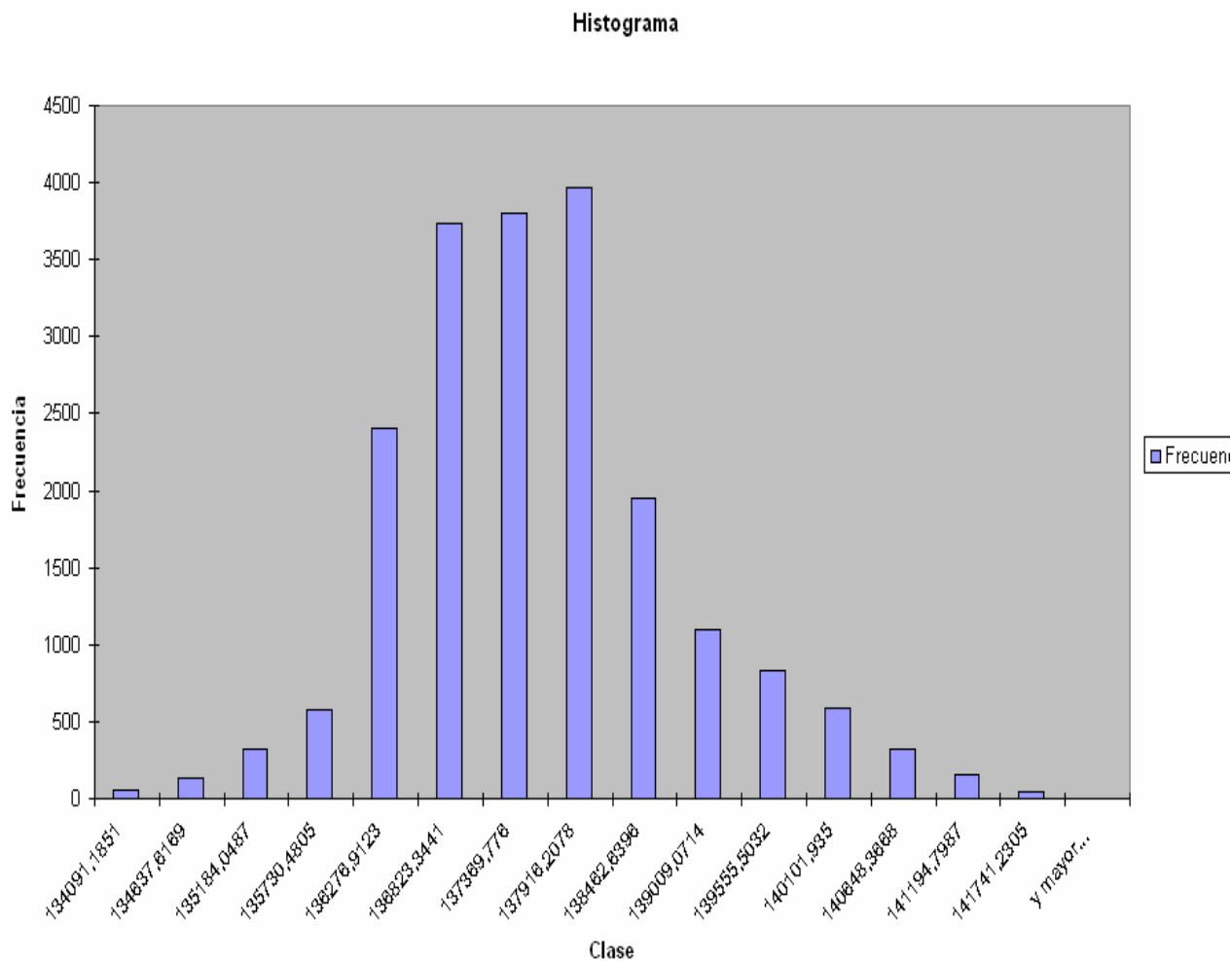
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	t bobina a	t bobina b	Lamina cold r	15 A/W/G	16 A/W/G	costo a	costo b	costo c	costo d	costo e	costo opt	costo total
2	10	11	160	375	169	208	356	16610	62967	29057	108198	139907
3	9	11	154	374	164	198	365	16986	62851	27161	106550	138259
4	11	13	160	378	154	225	405	16597	63489	25499	106215	137924
5	9	11	157	374	162	190	358	16374	62861	26936	106719	138428
6	10	11	150	374	150	202	349	16614	62813	24975	103953	135662
7	10	12	165	365	163	205	387	17173	61291	27113	106169	137878
8	9	11	155	365	163	195	357	16166	61326	26995	105039	136748
9	9	13	165	365	150	198	391	17167	61400	24930	104086	135795
10	10	13	165	370	164	213	392	17176	62223	27162	107166	138875
11	10	12	156	379	168	208	366	16210	63625	27854	108263	139972
12	10	12	167	370	153	207	379	17374	62089	25418	105467	137176
13	11	13	165	364	160	220	393	17138	61210	26489	105450	137159
14	9	13	164	363	155	192	403	17038	60971	25754	104358	136067
15	11	12	162	374	167	221	372	16800	62800	27723	107916	139625
16	11	13	159	365	156	221	397	16579	61401	25837	104436	136145
17	11	12	156	375	167	227	381	16267	62975	27750	107600	139309
18	10	11	153	371	160	207	351	16872	62406	26533	105369	137078
19	10	11	155	364	151	216	358	16120	61127	25137	102359	134668
20	9	12	167	361	164	196	385	17373	60636	27209	105798	137507
21	9	13	167	374	167	190	402	17346	62868	27650	108457	140166
22	10	11	170	369	163	211	348	17633	62015	27010	107218	139927
23	9	12	156	365	159	190	376	16276	61313	26344	104498	136207
24	10	12	156	371	157	205	360	16262	62309	26085	105221	136930
25	11	12	165	378	154	222	364	17204	63422	25519	106731	138440
26	10	13	170	361	165	209	392	17680	60600	27383	106243	137952
27	11	12	159	363	168	227	363	16569	60968	27892	106019	137728
28	9	12	161	368	159	196	365	16740	61784	26447	105533	137242
29	9	11	161	368	162	197	346	16757	61878	26847	106024	137733
30	9	11	168	363	162	194	346	17510	60995	26924	105969	137678
31	10	13	164	374	158	218	404	17094	62871	26221	106807	138516
32	11	13	151	371	169	226	404	16653	62264	27972	108519	139228

Tabla 12: Tabla estadística del método de montecarlo

Media	136757,575
Error típico	13,7518769
Mediana	136746,682
Moda	#N/A
Desviación estándar	1375,18769
Varianza de la muestra	1891141,19
Curtosis	-0,58609156
Coficiente de asimetría	0,00413477
Rango	6936,36177
Mínimo	133277,61
Máximo	140213,972
Suma	1367575749
Cuenta	10000
Nivel de confianza(95,0%)	26,9564457



Figura 22: Histograma Optimización del modelo de Monte Carlo.



Los parámetros para la optimización son:

Para optimizar tiempos en la construcción de las bobinas son:

En la bobina A: (tiempo de construcción+1) minutos.

En la bobina A: (10+1) minutos.

En la bobina B: (12+1) minutos.



En la bobina B: (tiempo de construcción+1) minutos.

Los parámetros para la optimización de los materiales son:

Lámina: (número de láminas+10)

Lámina: (160+10)

Alambre: 15AWG (número de espiras+10)

Alambre: 15AWG (373+10)

Alambre:16AWG (número espiras+10)

Alambre:16AWG (165+10).

6.8 MODELO MATEMÁTICO PARA LA OPTIMIZACION DEL BALASTO DE METAL HALIDE 1000 W

$$S=166N1 + 168N2 + 104L + 21\text{const bobina A} +31.25\text{const bobinaB} + \text{cte}$$

- N1=número de espiras de la bobina A
- N2= número de espiras de la bobina B
- L = número de láminas
- Cte = 31,709



7. VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

7.1 PROTOCOLO DE PRUEBAS ESPECIALES

7.1.1 Protocolo de pruebas especiales con barnis y recocido.

Tabla 13: Producto Metal halide 1000w a 120/ 208/ 240v con barnis y recocido.

Porcentaje de la tensión de línea.	100%	100%	100%
Tensión de línea (V)	120	208	240
Corriente de arranque en línea (A)	3,8	3,5	3,8
Corriente de trabajo en línea (A)	8,9	5,1	4,4
Corriente de arranque en lámpara (A)	5,0	5,0	4,8
Corriente de trabajo en lámpara (A)	4,0	4,1	4,1
Tensión de arranque en lámpara (V)	56	52	52
Tensión de red al cual se extingue el arco (V)	57	97	114
Tensión de trabajo en lámpara (V)	245	246	245.4
Tensión de trabajo en el condensador (V)	478	482	480
Potencia total (W)	1065	1070	1075
Factor de potencia (pu)	91%	92%	91%
Potencia de consumo en lámpara (W)	970	970	980
Pérdidas en vatios	95	100	95
Condensador requerido	24 μ F	330v	



7.1.2 Protocolo de pruebas especiales sin barnis y sin recocido

Tabla 14: Producto Metal halide 1000w a 120/ 208/ 240/v sin barnis y sin recocido

Porcentaje de la tensión de línea.	100%	100%	100%
Tensión de línea (V)	120	208	240
Corriente de arranque en línea (A)	2,9	2,0	2,3
Corriente de trabajo en línea (A)	9,61	5,2	4,96
Corriente de arranque en lámpara (A)	5,0	5,2	5,0
Corriente de trabajo en lámpara (A)	3,9	4,2	4,0
Tensión de arranque en lámpara (V)	37,2	41	47,3
Tensión de red al cual se extingue el arco (V)	65,2	104	118,5
Tensión de trabajo en lámpara (V)	244	245,6	245,3
Tensión de trabajo en el condensador (V)	468	469	470
Potencia total (W)	1055	1080	1075
Factor de potencia (pu)	91%	100%	89%
Potencia de consumo en lámpara (W)	940	955	960
Pérdidas en vatios	115	125	115
Condensador requerido	24µF	330V	

7.2 PRUEBAS DE TEMPERATURAS DE BALASTOS

Tabla 15: Pruebas de temperaturas de balasto sin barnis y sin cocido.

HORA	9:00	10:00	11:00	12:00	1:00
Bobina B	22 °C	63 °C	82 °C	94 °C	114 °C
Bobina A	22 °C	65 °C	87 °C	107 °C	122 °C
Núcleo	22 °C	72 °C	99 °C	116 °C	129 °C

Tabla 16: Pruebas de temperaturas de balasto con baniz y cocido

HORA	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00
Bobina B	20 °C	76 °C	90 °C	112 °C	103 °C
Bobina A	20 °C	63 °C	76 °C	98 °C	104 °C
Núcleo	20 °C	70 °C	87 °C	114 °C	121 °C



7.3 BALASTO OPTIMIZADO DE METAL HALIDE MULTITAP DE 1000W

Tabla 17: producto Metal halide 1000w a 120/ 208/ 240/v

<i>Porcentaje de la tensión de línea.</i>	100%	100%	100%
Tensión de línea (V)	120	208	240
Corriente de arranque en línea (A)	3,5	3,5	3,6
Corriente de trabajo en línea (A)	9	5,2	4,5
Corriente de arranque en lámpara (A)	5,3	5,2	5,1
Corriente de trabajo en lámpara (A)	4,1	4,15	4,18
Tensión de arranque en lámpara (V)	56	52	52
Tensión de red al cual se extingue el arco (V)	57	97	114
Tensión de trabajo en lámpara (V)	246	264,2	245,5
Tensión de trabajo en el condensador (V)	472	474	469
Potencia total (W)	1080	1075	1070
Factor de potencia (pu)	92%	90%	90%
Potencia de consumo en lámpara (W)	990	980	980
Pérdidas en vatios	90	95	90
Condensador requerido	24 μ F	330v	



8. CONCLUSIONES

- ❖ La lámina magnética al tener el proceso de cocinado mejora en un 2% en pérdidas respecto a la lámina sin cocinar además mejora las características técnicas. Para el balasto de metal halide se mejora en 20w el cual reduce el área transversal de núcleo.
- ❖ El método de Monte Carlo es una herramienta rápida que permite simular el proceso de construcción del balasto de metal halide de 1000w multita y determinar la mejor solución minimizando costos y tiempos.
- ❖ La optimización por el método de Monte Carlo indica que la mejor opción para la construcción del balasto de metal halide de 1000W está entre \$136,052 y \$137,439 lo cual la empresa Ergio de Colombia se puede ahorrar un promedio de \$2,514.
- ❖ Para la construcción del balasto de metal halide de 1000w se debe aumentar el número de láminas y reducir el número de espiras ya que las láminas son menos costosas.
- ❖ Al aumentar el número de simulaciones por el método de Monte Carlo la probabilidad de error disminuye.



9. RECOMENDACIONES

- ❖ El periodo de paralización del trabajo de una empresa es muy costoso debido a las costosas reparaciones y lo más importante, la pérdida de producción, es prudente hacer un mantenimiento periódico con el fin de reducir costos.
- ❖ Debido al atraso tecnológico de la industria Ergio la construcción de los balastos es muy costoso, esto se mejora actualizando el horno de cocido de la lámina electromagnética, bobinadoras, equipos de soldadura aparatos de medida.
- ❖ El mantenimiento correctivo del balasto de metal halide de 1000w se debe hacer periódicamente a cada uno de los elementos que lo componen, haciendo las tareas necesarias para evitar fallas de los mismos. Lo primero que se debe realizar es un inventario de planos, sistemas de control, cuadros eléctricos y un plan de mantenimiento.
- ❖ En la construcción del balasto de metal halide de 1000w no se debe colocar el tap de 120v ya que los clientes no van a conectar el balasto a esta tensión
- ❖ La empresa ergio de Colombia sabiendo que los materiales son los que elevan el costo de la fabricación del balasto debe preocuparse por los precios que se manejan en la bolsa para aprovechar los bajos precios de los materiales.
- ❖ La empresa debe preocuparse por recuperar los clientes que tenía para poder construir grandes cantidades de balastos, de este modo tener una persona en cada proceso y así se reducen tiempos que se verá representado en ahorro de dinero.
- ❖ La empresa debe procurar vincular personas que se encargue de hacer nuevos diseños de balastos y de este modo reducir los precios.
- ❖ Se deben buscar métodos el cual ayuden a reducir las pérdidas de las láminas magnéticas y esto se logra montando un laboratorio certificado que ayude con este fin.



BIBLIOGRAFIA

- SADIKU matthew, Elementos de electromagnetismo, segunda edición, México 2002, editorial continental.
- CATHEY Jimmie, Máquinas eléctricas análisis y diseño con matlab, Primera edición, México 2002.
- SMITH Jo Ann, Programación orientada a objetos, Primera edición, México 2000.
- CHAPMAN Stephen J, Maquinas eléctricas Tercera edición, Colombia 2000.
- KOSOW Irving L, Maquinas eléctricas y transformadores, Segunda edición, México 1993
- MORFIN Garduño, GARCÍA David, BRAVO Martínez Gabriel. Diseño construcción y pruebas básicas de un transformador de pequeña capacidad [En línea] Tomado en [http://www. Uacj.mx/culcyt/julioagosto2005](http://www.Uacj.mx/culcyt/julioagosto2005). [12Julio de 2006].
- ARSHAM Hossein, Optimización Lineal [En línea]. Tomado en <http://home.ubalt.edu>. [25 Febrero de 1994]. [27Septiembre de 2006].
- VALBUENA F. Método de Montecarlo [En línea].<http://valbena.fis.ucm.es>. [21 Marzo de 2002]. [10 Enero de 2007].
- TORRES Álvaro, Probabilidad, procesos estadísticos y confiabilidad en ingeniería eléctrica, 2002

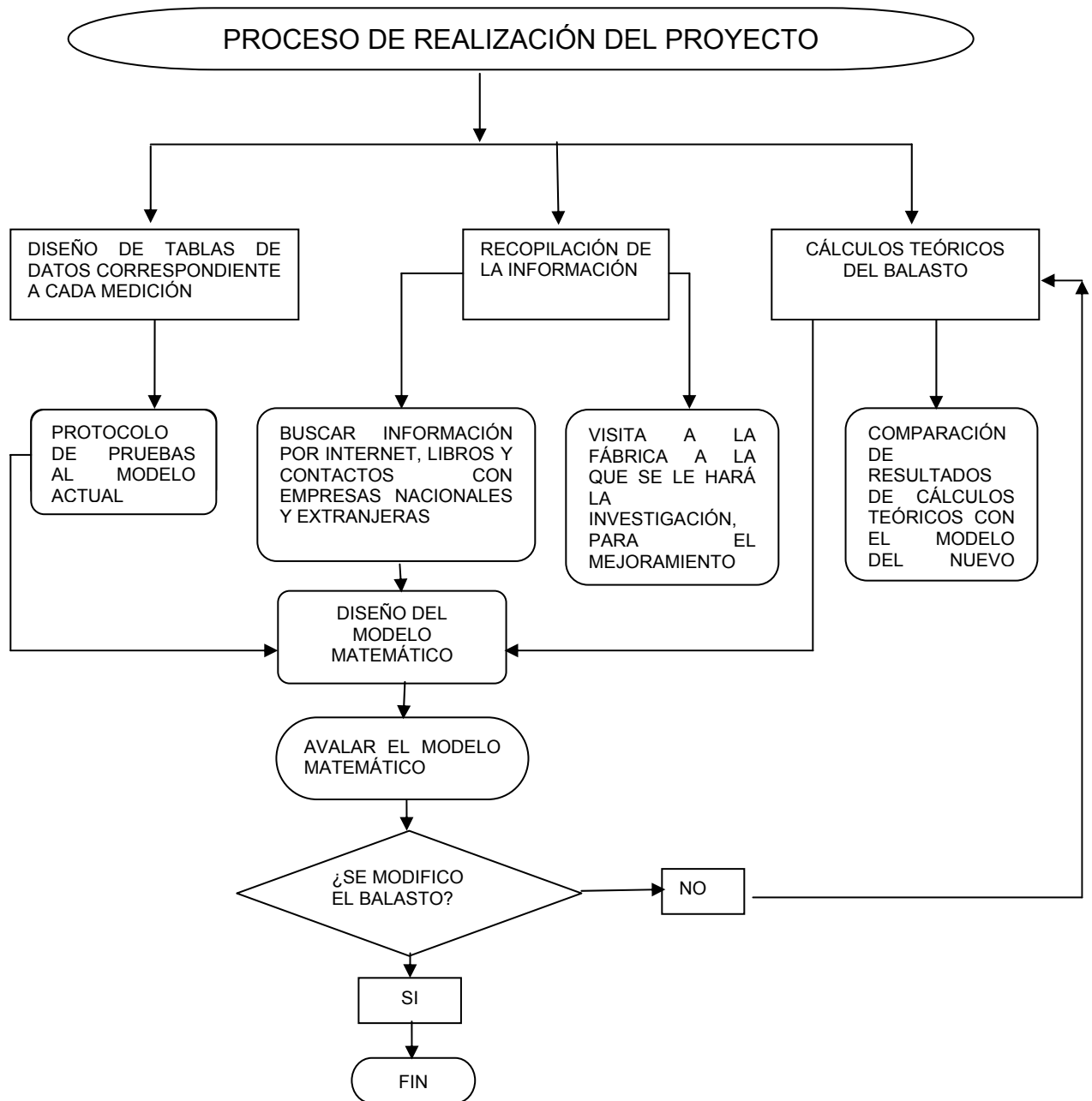


ANEXOS



ANEXO A: PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Figura 23: Proceso de realización del proyecto





**ANEXO B: CÓDIGO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BALASTO METAL HALIDE
MULTITAP 1000W**

```
Private Sub Acercade_Click()  
    Form2.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Calcular_Click()  
  
    Dim v_potencia2 As Double  
    Dim v_s2 As Double  
    Dim v_l2 As Double  
    Dim v_lm2 As Double  
    Dim v_flag2 As Boolean  
    Dim nlaminas2 As Single  
    Dim v_seccion2_alambre As Single  
    Dim nspiras2 As Double  
    Dim v_calibre2  
    Dim i2 As Integer  
    Dim v_diferencia1b As Single  
    Dim v_diferencia2b As Single  
    Dim calibre2(1 To 9, 1 To 3) As Single
```

```
calibre2(1, 1) = 13  
calibre2(1, 2) = 2.63  
calibre2(2, 1) = 14  
calibre2(2, 2) = 2.08  
calibre2(3, 1) = 15  
calibre2(3, 2) = 1.65  
calibre2(4, 1) = 16  
calibre2(4, 2) = 1.3  
calibre2(5, 1) = 17  
calibre2(5, 2) = 1.03  
calibre2(6, 1) = 18  
calibre2(6, 2) = 0.81  
calibre2(7, 1) = 19  
calibre2(7, 2) = 0.65  
calibre2(8, 1) = 20  
calibre2(8, 2) = 0.515  
calibre2(8, 1) = 21  
calibre2(8, 2) = 0.4
```



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

```
v_flag2 = True
If voltaje2 > 260 Or voltaje2 < 230 Then

MsgBox "Valor inválido para Voltaje2 (V2). Debe estar entre 230 y 260"
    v_flag2 = False
ElseIf corriente2 > 5 Or corriente2 < 3.5 Then
    MsgBox "Valor inválido para corriente 2 (I2). Debe estar entre 3.5 y 5"
    v_flag2 = False
End If

If v_flag2 = True Then
    v_potencia2 = Round(voltaje2 * corriente2, 2)
    v_s2 = Round((1.1 * Sqr(v_potencia2) * 1.85), 2)
    v_l2 = Round(Sqr(v_s2), 2)
    v_lml2 = v_l2 / 100

    nespiras = Round(voltaje2 / (60 * v_s2 * 7000 * 4.4 * 0.00000001)) + 168

    Potencia2.Text = v_potencia2
    s2.Text = v_s2
    l2.Text = v_l2
    espiras2.Text = nespiras
    v_seccion_alambre2 = corriente2 / 4

    nlaminas2 = Round(v_lml2 / (0.0005))

    For i2 = 1 To 8
        If v_seccion_alambre2 = calibre2(i2, 2) Then
            v_calibre2 = calibre2(i2, 1)
            i = 8
        ElseIf v_seccion_alambre2 > calibre2(i2 + 1, 2) And v_seccion_alambre2 <
calibre2(i2, 2) Then
            v_diferencia1b = v_seccion_alambre2 - calibre2(i2 + 1, 2)
            v_diferencia2b = calibre2(i2, 2) - v_seccion_alambre2
            If v_diferencia1b < v_diferencia2b Then
                v_calibre2 = calibre2(i2 + 1, 1)
            Else
                v_calibre2 = calibre2(i2, 1)
            End If
        End If
    Next i2
    calibre2b.Text = v_calibre2
    laminas2.Text = nlaminas2
```



```
End If  
End Sub
```

```
Private Sub calcular1_Click(Index As Integer)
```

```
Dim v_potencia As Double  
Dim v_s As Double  
Dim v_l As Double  
Dim v_lml As Double  
Dim v_flag As Boolean  
Dim nlaminas As Single  
Dim v_seccion_alambre As Single  
Dim nspiras As Single
```

```
Dim v_calibre  
Dim i As Integer  
Dim j As Integer  
Dim v_diferencia1 As Single  
Dim v_diferencia2 As Single
```

```
Dim calibre(1 To 9, 1 To 3) As Single
```

```
calibre(1, 1) = 13  
calibre(1, 2) = 2.63  
calibre(2, 1) = 14  
calibre(2, 2) = 2.08  
calibre(3, 1) = 15  
calibre(3, 2) = 1.65  
calibre(4, 1) = 16  
calibre(4, 2) = 1.3  
calibre(5, 1) = 17  
calibre(5, 2) = 1.03  
calibre(6, 1) = 18  
calibre(6, 2) = 0.81  
calibre(7, 1) = 19  
calibre(7, 2) = 0.65  
calibre(8, 1) = 20  
calibre(8, 2) = 0.515
```

```
v_flag = True  
If voltaje1 > 280 Or voltaje1 < 205 Then  
    MsgBox "Valor inválido para Voltaje (V1). Debe estar entre 205 y 280"  
    v_flag = False  
ElseIf corriente1 > 6 Or corriente1 < 4 Then
```




```
MsgBox "Valor inválido para corriente 1 (I1). Debe estar entre 4 y 6"  
    v_flag = False  
End If  
  
If v_flag = True Then  
    v_potencia = Round(voltaje1 * corriente1, 2)  
    v_s = Round((1.1 * Sqr(v_potencia) * 1.85), 2)  
    v_l = Round(Sqr(v_s), 2)  
    v_lml = v_l / 100  
    nlaminas = Round(v_lml / (0.0005))  
    nspiras = Round(voltaje1 / (60 * v_s * 7000 * 4.4 * 0.00000001))  
    Potencia1.Text = v_potencia  
    S.Text = v_s  
    L.Text = v_l  
    laminas.Text = nlaminas  
    espiras.Text = nspiras  
    v_seccion_alambre = corriente1 / 4  
  
    For i = 1 To 8  
        If v_seccion_alambre = calibre(i, 2) Then  
            v_calibre = calibre(i, 1)  
            i = 8  
        ElseIf v_seccion_alambre > calibre(i + 1, 2) And v_seccion_alambre < calibre(i, 2)  
Then  
            v_diferencia1 = v_seccion_alambre - calibre(i + 1, 2)  
            v_diferencia2 = calibre(i, 2) - v_seccion_alambre  
            If v_diferencia1 < v_diferencia2 Then  
                v_calibre = calibre(i + 1, 1)  
            Else  
                v_calibre = calibre(i, 1)  
            End If  
        End If  
    Next i  
    calibre1.Text = v_calibre  
    optespiras.Enabled = True  
  
End If  
  
End Sub
```



```
Private Sub optespiras_Click()
    Dim v_espiras3 As Single
    Dim v_flag As Boolean
    Dim nlaminas3 As Single
    Dim nspiras3 As Single
    Dim v_l3 As Single
    Dim v_lml3 As Single

    v_flag = True
    If voltaje1 > 280 Or voltaje1 < 205 Then
        MsgBox "Valor inválido para Voltaje (V1). Debe estar entre 205 y 280"
        v_flag = False
    ElseIf corriente1 > 6 Or corriente1 < 4 Then
        MsgBox "Valor inválido para corriente 1 (I1). Debe estar entre 4 y 6"
        v_flag = False
    ElseIf S3 > 68 Or S3 < 58 Then
        MsgBox "Valor inválido para sección transversal del núcleo 1 (S1). Debe estar entre
58 y 68"
        v_flag = False
    End If

    If v_flag = True Then
        v_espiras3 = Round(voltaje1 / (60 * S3 * 7000 * 4.4 * 0.00000001))
        espiras3.Text = v_espiras3
        nspiras3 = Round(voltaje2 / (60 * S3 * 7000 * 4.4 * 0.00000001)) + 168
        espiras4.Text = nspiras3
        v_l3 = Round(Sqr(S3), 2)
        v_lml3 = v_l3 / 100
        nlaminas3 = Round(v_lml3 / (0.0005))
        laminas3.Text = nlaminas3

    End If
End Sub

Private Sub salir_Click()
    Unload Form1
End Sub
```



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ANEXO C: CARACTERÍSTICAS DE ALAMBRES MAGNETICOS DE 200°C

Figura 24: características del alambre de cobre aislado con esmalte a base de poliesterimida-amidaimida

CÓDIGO FÁBRICA	CALIBRE AWG	ALAMBRE DESNUDO		CAPA DOBLE		PESO TOTAL APROX (kg/km)	MÁXIMA TENSIÓN DE EMBOBINAD O ¹ (kg)	RESISTENCIA ELÉCTRICA DC a 20°C ² (ohm/km)	DENSIDAD DE CORRIENTE ³ (A)	PRECIO BASI DISTRIBUIDO ⁴ (\$/kg)
		DIÁMETRO NOMINAL (mm)	ÁREA (mm ²)	MÍNIMO INCREMENT O (mm)	MÁXIMO DIÁMETRO (mm)					
201384	8	3,26	8,37	0,084	3,383	75,1	50,0	2,06	83	37.561
201383	9	2,91	6,63	0,081	3,020	59,6	39,7	2,60	65	37.632
201382	10	2,59	5,26	0,079	2,695	47,3	31,5	3,28	52	37.730
201380	11	2,30	4,17	0,076	2,408	37,5	24,9	4,14	41	37.835
201379	12	2,05	3,31	0,074	2,151	29,8	19,8	5,21	33	37.935
201348	13	1,83	2,63	0,071	1,923	23,7	15,7	6,56	26	38.037
201347	14	1,63	2,08	0,081	1,732	18,8	12,4	8,28	21	38.106
201346	15	1,45	1,65	0,076	1,547	15,0	9,87	10,4	16	38.137
201345	16	1,29	1,31	0,074	1,384	11,9	7,82	13,2	13	38.171
201343	17	1,15	1,04	0,071	1,240	9,44	6,22	16,6	10	38.241
201342	18	1,02	0,824	0,066	1,110	7,48	4,92	20,9	8,1	38.345
201341	19	0,912	0,653	0,064	0,993	5,95	3,91	26,4	6,4	38.477
201340	20	0,813	0,519	0,058	0,892	4,73	3,10	33,2	5,1	38.581
201354	21	0,724	0,412	0,056	0,798	3,76	2,46	41,9	4,1	38.679
201353	22	0,643	0,325	0,053	0,714	2,97	1,94	53,1	3,2	38.848
201352	23	0,574	0,259	0,051	0,643	2,38	1,55	66,6	2,6	39.829
201351	24	0,511	0,205	0,048	0,577	1,88	1,23	84,1	2,0	40.334
201350	25	0,455	0,163	0,046	0,516	1,50	0,972	106	1,6	41.317
201349	26	0,404	0,128	0,043	0,462	1,18	0,767	134	1,3	42.263
201369	27	0,361	0,102	0,041	0,417	0,946	0,612	168	1,0	43.108



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ANEXO D: TABLAS DE COSTOS DE LA FABRICACIÓN DEL BALASTO DE METAL HALIDE

Tabla 18: Costos de elementos de fabricación para un balasto autorregulado de metal halide 1000w con multitap

DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	NECESIDAD	VALOR DE NECESIDAD
Lámina magnética calibre 26 H10 rollo 1m	\$408 kilo	8,76 Kg	\$3574
Cartón aislante 2mm espesor 1050 * 2100mm	\$59200kilo	0,7 Kg	\$4144
Fibra vulcanizada 0.20mm espesor rollo 1m	\$57420m	0,2m	\$11484
Material aislante thernomid (F 2008) 0.20mm	\$54000kilo	0,3 Kg	\$162
Lámina cold rolled calibre 16 1.22 * 2.44 m	\$46548kilo	0,11 Kg	\$5121
Alambre c.u esmaltado # 15 180 D/ CAPA ED - H	\$38137kilo	1,65 Kg	\$62926
Alambre c.u esmaltado # 16 180 D/ CAPA ED - H	\$38117kilo	0.72 Kg	\$27444
Cordón lacado 2mm. varios colores	\$550kilo	0,18 m	\$99
Cordón lacado 4mm. varios colores	\$800m	0,10 m	\$80
Cinta fibra vidrio 18mm ancho * 50 m	\$14000m	0,14 m	\$39
Argon	\$27740 (50m)	0,01 Kg	\$30
Cable c.u # 14 aislante silicona 105 600 v	\$1710 m	1,95m	\$3334
Barniz dieléctrico rojo	\$30160galón	0,04 Kg	\$24
Disolvente - xiloil	\$10420 galón	0,02 Kg	\$4186
Placa Bto metalarc cwa 1000 w multitap	\$360 c/u	1,00 UNID	\$360
Tornillo de acero 3 / 16" * 4 cable cil zinc	\$130 c/u	4,00 UND	\$64
Tuerca de acero exag 3mm esp rosc 3 / 16"	\$16 c/u	4,00 UND	\$240



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Arandela hierro 3 /16" DIA EXT. 1.2 zinc	\$30 libra	8,00UND	\$44
Soldadura esta. Plomo. 60/ 40 1 / 16" núcleo recocido	\$22120 m ³	0,01 Kg	\$27

TOTAL: \$123382

NOTA: CADA LÁMINA VALE \$104

CADA ESPIRA DE CALIBRE 15AWG VALE \$168

CADA ESPIRA DE CALIBRE 16AWG VALE \$166

Tabla 19: Costos Por El Tiempo De Preparación Para Un Balasto Autorregulado De Metal Halide 1000w Con Multitap

PREPARACIÓN	TIEMPO	COSTO
Cocinado del núcleo	7 horas	\$ 13125
Troquelada	7 minutos	\$218
Construcción de bobina a	10 minutos	\$312
Construcción bobina b	12 minutos	\$375
Preparada de bobina a con aislante	6 minutos	\$187
Preparada de bobina b con aislante	8 minutos	\$250
poner cuñas	4 minutos	\$125
Preparación del núcleo	4 minutos	\$125
Soldada	3 minutos	493
Embutido	4 minutos	\$125
Impregnación de barniz	2 minutos	\$62

TOTAL: \$15397

TOTAL: Costos del balasto \$138779

Ver Programa Ejecutable en CD