



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LAS INGENIERÍAS Y APLICADAS**  
**CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.**

**TEMA:**

**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA SIMULACIÓN DE LOS  
ENSAYOS DE VACÍO Y CORTOCIRCUITO DE TRANSFORMADORES  
MONOFÁSICOS PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA  
ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en  
Electromecánica

**Autores:**

Balarezo Villamarin Cristian Rodrigo

Quimba Loachamin Elvis José

**Tutor:**

Ing. MSc. Jefferson Alberto Porras Reyes



**LATACUNGA – ECUADOR**

**Marzo – 2021**



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Electromecánica

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **BALAREZO VILLAMARIN CRISTIAN RODRIGO** portador de la cédula N° **050390350-2** y **QUIMBA LOACHAMIN ELVIS JOSÉ** portador de la cédula N° **172456543-5**, declaramos ser los autores del presente proyecto tecnológico: **“DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA SIMULACIÓN DE LOS ENSAYOS DE VACÍO Y CORTOCIRCUITO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** siendo, Ing. MSc.Jefferson Alberto Porras Reyes Tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de proyecto tecnológico, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....  
Balarezo Villamarin Cristian Rodrigo  
C.I. 050390350-2

.....  
Quimba Loachamin Elvis José  
C.I. 172456543-5



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Electromecánica

## AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título: **“DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA SIMULACIÓN DE LOS ENSAYOS DE VACÍO Y CORTOCIRCUITO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, de los señores Balarezo Villamarin Cristian Rodrigo y Quimba Loachamin Elvis José, de la Carrera en Ingeniería Electromecánica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi que designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Marzo del 2021

-----  
Ing. MSc. Jefferson Alberto Porras Reyes

**C.I.** 070440044-9

Tutor principal.



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de las Ingenierías y Aplicadas; por cuanto, los postulantes **Balarezo Villamarin Cristian Rodrigo** portador del número de cedula **050390350-2** y **Quimba Loachamin Elvis José** portador del número de cedula **172456543-5**, con el título de Proyecto de titulación: **“DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA SIMULACIÓN DE LOS ENSAYOS DE VACÍO Y CORTOCIRCUITO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, Marzo del 2021,

Para constancia firman:

---

### LECTOR 1

Ing. MsC. Freire Martínez Luigi Orlando

CC: 050252958-9

---

### LECTOR 2

Ing. MsC. Freire Andrade Verónica Paulina

CC: 050205622-9

---

### LECTOR 3

Ing. MsC. Gallardo Molina Cristian Fabián

CC: 050284769-2

## AGRADECIMIENTO.

A Dios por darme la oportunidad de vivir y culminar con éxito esta etapa profesional. A mis padres por confiar siempre en mí y ser ejemplo de lucha constante, impulsándome a seguir adelante.

Y por último mi eterno agradecimiento a mis familiares, amigas, amigos, padrino, y demás personas que directa o indirectamente me brindaron su apoyo incondicional en toda esta etapa de mi vida.

*Cristian Rodrigo Balarezo Villamarin*

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de vivir para cumplir y culminar con éxito esta etapa profesional. A mis padres por brindarme su apoyo incondicional y a todos los seres queridos que me apoyaron en todas las circunstancias que estuvieron presentes en mi vida estudiantil.

*QUIMBA LOACHAMIN ELVIS JOSÉ*

## DEDICATORIA

A mi Dios por ser siempre mi luz y guía en todo el transcurso de mi vida. A mis queridos padres Rodrigo Balarezo y Martha Villamarin porque con su esfuerzo y dedicación me inspiraron a ser mejor día a día, deseo dar gracias por su confianza, su apoyo incondicional, y por darme una profesión para mi futuro, de igual manera a mi hermana por su apoyo, comprensión y palabras de aliento. Por otro lado a mi sobrino por su cariño y apoyo constante. Finalmente a mis primos y primas por sus palabras de aliento y buenos deseos, todos y cada uno de ustedes formaron parte importante para llegar hacia el final de esta etapa.

Como dejar de lado a mis amigos quienes siempre estuvieron presentes en el transcurso de este período y con quienes compartí momentos gratos e inolvidables.

*Cristian Rodrigo Balarezo Villamarin*

## DEDICATORIA

Doy gracias a la Universidad por haberme dado la oportunidad de seguir y alcanzar mis sueños, en especial el de ser uno de sus estudiante en tan prestigiosa Universidad.

De forma muy grata agradecer a mi familia por su apoyo incondicional en cada uno de los obstáculos presentes en mi vida estudiantil.

***QUIMBA LOACHAMIN ELVIS  
JOSÉ***



## ÍNDICE GENERAL

<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA</b> .....	i
<b>AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN</b> .....	ii
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	v
<b>DEDICATORIA</b> .....	vi
<b>DEDICATORIA</b> .....	vii
<b>RESUMEN</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>AVAL DE TRADUCCIÓN</b> .....	xv
<b>1. INFORMACIÓN BÁSICA</b> .....	1
<b>2 DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA</b> .....	2
2.1 Título de la propuesta tecnológica.....	2
2.2 Tipo de propuesta alcance .....	2
2.3 Área del conocimiento.....	2
2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica .....	2
2.5 Objeto de estudio y campo de acción .....	3
<b>2.5.1 Objeto de estudio</b> .....	3
<b>2.5.2 Campo de acción</b> .....	3
2.6 Situación problemática y problema .....	3
<b>2.6.1 Situación problemática</b> .....	3
2.6.2 Problema.....	3
2.7 Hipótesis .....	4
2.8 OBJETIVOS .....	4
<b>2.8.1 Objetivo general</b> .....	4
<b>2.8.2 Objetivos específicos</b> .....	4
2.9 Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos	4
<b>3 MARCO TEÓRICO</b> .....	6
3.1 Análisis de trabajos precedentes.....	6
<b>3.1.1 Laboratorio de pruebas en transformadores</b> .....	6
3.2 Transformadores Monofásicos .....	6
<b>3.2.1 Principio de Funcionamiento</b> .....	6
3.2.2 Modelado matemático del Transformador monofásico.....	7
<b>3.2.2.1 Ecuaciones del Transformador Monofásico</b> .....	7

3.2.2.2	<b>Determinación de la corriente de excitación</b>	9
3.2.2.3	<b>Falla en Cortocircuito</b>	10
3.2.3	<b>Funcionamiento del transformador real</b>	11
3.3	Circuito Equivalente del transformador	11
3.4	Disposiciones generales	12
3.4.1	<b>Recomendaciones del fabricante en la etiqueta</b>	12
3.4.2	<b>Disposiciones generales norma (NTE INEN 2 120:98)</b>	12
3.5	Pruebas en fábrica	13
3.5.1	<b>Ensayos de vacío y de cortocircuito en transformadores</b>	14
3.5.2	<b>Pérdidas en el hierro (<i>P<sub>Fe</sub></i>)</b>	14
3.5.3	<b>Ensayo en vacío</b>	15
3.6	Ensayo de cortocircuito	17
3.7	Matlab	18
3.7.1	<b>Qué es Matlab</b>	18
3.7.2	<b>Características básicas de MATLAB</b>	18
3.7.3	<b>Matemática sencilla de MATLAB</b>	19
3.7.4	<b>Funciones para el manejo de datos</b>	19
3.7.5	<b>Funciones para trazado de gráficas</b>	20
3.7.6	<b>Funciones lógicas</b>	20
3.7.7	<b>Álgebra simbólica</b>	20
3.8	Simulink	20
3.8.1	<b>Cómo iniciar Simulink</b>	21
3.8.2	<b>Construcción de modelos</b>	21
3.9	GUIDE	22
3.9.1	<b>Funcionamiento de una aplicación GUIDE</b>	22
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	23
4.1	Métodos investigativos	23
4.1.1	<b>Método analítico</b>	23
4.1.2	<b>Método experimental</b>	23
4.2	Tipos de investigación	23
4.2.1	<b>Investigación bibliográfica</b>	23
4.2.2	<b>Investigación Tecnológica</b>	23
4.3	Técnicas e instrumentos	23
4.4	Método experimental	23
4.4.1	Modelamiento y Simulación	24

<b>4.4.2 Variables a controlar</b> .....	24
4.4.3 Simulación de los parámetros de transformador .....	24
<b>4.4.3.1 Parámetros eléctricos derivados de la simulación de vacío</b> .....	24
<b>4.4.3.2 Parámetros eléctricos derivados de la simulación de cortocircuito</b> 25	
<b>5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	27
5.1 Análisis .....	27
5.2 Datos técnicos del transformador monofásico .....	27
5.3 Configuración inicial del transformador .....	27
5.4 Ensayo en vacío del transformador monofásico .....	28
<b>5.4.1 Gráfica de la prueba de vacío</b> .....	35
5.4.2 Ventana con mensaje de prevención en vacío .....	35
<b>5.5.1 Gráfica de ensayo de cortocircuito</b> .....	42
<b>5.5.1.1 Ventana con mensaje de prevención en cortocircuito</b> .....	42
5.6 Comparación de resultados .....	43
5.7 Comparaciones .....	43
<b>5.7.1 Ensayos al transformador monofásico a comparar</b> .....	43
<b>5.7.2 Ensayo de vacío o de circuito abierto.</b> .....	43
<b>5.7.3 Ensayo de cortocircuito</b> .....	46
<b>6 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS</b> .....	48
6.1 Presupuesto .....	48
<b>6.1.1 Gastos directos</b> .....	48
<b>6.1.2 Gastos indirectos</b> .....	49
6.2 Análisis de impactos .....	49
<b>6.2.1 Impacto práctico</b> .....	49
<b>6.2.2 Impacto simbólico</b> .....	49
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	50
7.1 Conclusiones .....	50
7.2 Recomendaciones .....	51
<b>8. REFERENCIAS</b> .....	52
<b>ANEXOS</b> .....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Cuadro de tareas por objetivos específicos-----	4
<b>Tabla 3.1.</b> Descripción de componentes de GUIDE-----	22
<b>Tabla 4.1.</b> Técnicas e instrumentos de investigación. -----	24
<b>Tabla 5.1.</b> Datos del transformador monofásico para las pruebas de vacío y de cortocircuito-----	29
<b>Tabla 5.2.</b> Datos de la prueba de vacío en el transformador monofásico.-----	30
<b>Tabla 5.3.</b> Datos de la prueba de vacío en el transformador monofásico.-----	36
<b>Tabla 5.4.</b> Datos de la prueba de vacío en el transformador monofásico realizados por la fábrica. -----	43
<b>Tabla 5.5.</b> Datos de la prueba de vacío en el transformador monofásico de la simulación. -----	43
<b>Tabla 5.6.</b> Datos de la prueba de cortocircuito en el transformador monofásico realizado por la fábrica. -----	45
<b>Tabla 5.7.</b> Datos de la prueba de cortocircuito en el transformador monofásico de la simulación. -----	46
<b>Tabla 6.1.</b> Total de los costos directos. -----	48
<b>Tabla 6.2.</b> Total de los costos indirectos. -----	48
<b>Tabla 6.3.</b> Total de los costos. -----	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b> Circuito equivalente del Transformador.-----	8
<b>Figura 3.2.</b> Circuito T equivalente del Transformador. -----	8
<b>Figura 3.3.</b> Circuito equivalente de un Transformador con el secundario abierto. ---	10
<b>Figura 3.4.</b> Circuito equivalente reducido de un Transformador con el secundario abierto.-----	10
<b>Figura 3.5.</b> Circuito equivalente del transformador para el análisis de falla en la carga.-----	11
<b>Figura 3.6.</b> Circuito equivalente aproximado de un transformador.-----	12
<b>Figura 3.7.</b> Esquema del ensayo de vacío en un transformador monofásico. -----	16
<b>Figura 3.8.</b> Circuito para el ensayo en cortocircuito. -----	18
<b>Figura 3.9.</b> Ventana principal de matlab -----	19
<b>Figura 3.10.</b> Funciones matemáticas básicas de Matlab. -----	20
<b>Figura 3.11.</b> Opción de agregar a favoritos un modelo echo en simulink. -----	22
<b>Figura 5.1.</b> Configuración del transformador.-----	28
<b>Figura 5.2.</b> Diagrama de la simulación del ensayo de vacío en el transformador monofásico en simulink. -----	30
<b>Figura 5.3.</b> Ventana de simulación del ensayo de vacío en el transformador monofásico en GUIDE. -----	31
<b>Figura 5.4.</b> Onda de corriente del ensayo de vacío en el transformador monofásico -	32
<b>Figura 5.5.</b> Onda del voltaje del ensayo de vacío en el transformador monofásico. --	32
<b>Figura 5.6.</b> Onda de la potencia del ensayo de vacío del transformador monofasico línea amarilla es la potencia activa, línea azul potencia reactiva.-----	32
<b>Figura 5.7.</b> Diagrama de los parámetros eléctricos del transformador en vacío. -----	34
<b>Figura 5.8.</b> Resultados de los parámetros eléctricos del ensayo de vacío en la venta de GUIDE.-----	35
<b>Figura 5.9.</b> Grafica característica del ensayo de vacio. -----	39
<b>Figura 5.10.</b> Diagrama de simulación del ensayo de cortocircuito del transformador monofásico en simulink. -----	37
<b>Figura 5.11.</b> Ventana de simulación del ensayo de cortocircuito del transformador monofásico en GUIDE. -----	38
<b>Figura 5.12.</b> Onda de la corriente del ensayo de cortocircuito en el transformador monofásico. -----	39
<b>Figura 5.13.</b> Onda del voltaje del ensayo de cortocircuito en el transformador monofásico. -----	39
<b>Figura 5.14.</b> Onda de la potencia del ensayo de cortocircuito en el transformador monofásico. -----	39
<b>Figura 5.15.</b> Diagrama de simulación de los parámetros del transformador en simulink. -----	41
<b>Figura 5.16.</b> Resultados de los parámetros eléctricos del ensayo de cortocircuito en la venta de GUIDE-----	42
<b>Figura 5.17.</b> Onda característica del ensayo de cortocircuito.-----	42

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**TÍTULO:** “DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA SIMULACIÓN DE LOS ENSAYOS DE VACÍO Y CORTOCIRCUITO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

**Autores:**

Balarezo Villamarin Cristian Rodrigo  
Quimba Loachamin Elvis José

***RESUMEN***

El presente trabajo de titulación tiene por objeto mostrar mediante un ejecutable los resultados obtenidos para los ensayos de cortocircuito y vacío realizados en transformadores monofásicos. El modelamiento matemático del proceso de cálculo se realiza en un programa computacional escrito en Matlab, el cual es un software muy completo en la resolución de problemas basados en algoritmos. La validación de los datos obtenidos en el programa se realiza mediante la comparación de los mismos, con resultados obtenidos en la ficha técnica del transformador.

El código desarrollado y el archivo ejecutable servirían como una ayuda a los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi para realizar una comparación teórica y práctica de este tema.

Finalmente se propondría una práctica de laboratorio para los estudiantes de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Palabras clave:** Transformadores, Software, Modelamiento, Ficha técnica.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**

**FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**

**TITLE:** "DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR THE SIMULATION OF THE TESTS OF VACUUM AND SHORT CIRCUIT OF SINGLE-PHASE TRANSFORMER FOR THE ELECTROMECHANICAL ENGINEERING MAJOR OF UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI".

**Authors:**

Balarezo Villamarin Cristian Rodrigo

Quimba Loachamin Elvis José

**ABSTRACT**

The purpose of this titration work is to show by means of an executable the results obtained for the short-circuit and vacuum tests carried out on single-phase transformers. The mathematical modeling of the calculation process for the short-circuit and vacuum tests is carried out in a computer program written in Matlab, which is a very complete software for solving problems based on algorithms. The validation of the results obtained in the program is carried out by comparing them with the results obtained in the technical data sheet of the transformer.

The code developed and the executable file would serve as an aid to the students of the Technical University of Cotopaxi to carry out a theoretical and practical comparison of this topic.

Finally, a laboratory practice would be proposed for the students of Electrical Machines of the Faculty of Electromechanical Engineering of the Technical University of Cotopaxi.

Keywords: Transformers, Software, Modeling, Data sheet.



**AVAL DE TRADUCCIÓN**

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA de la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: BALAREZO VILLAMARIN CRISTIAN RODRIGO y QUIMBA LOACHAMIN ELVIS JOSÉ, cuyo título versa “DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA SIMULACIÓN DE LOS ENSAYOS DE VACÍO Y CORTOCIRCUITO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, marzo del 2021

Atentamente,

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS

Mg. C Nelson Wilfrido Guagchinga Chicaiza.

C.C: 050324641-5

1803027935 Firmado  
digitalmente por  
VICTOR HUGO ROMERO GARCIA  
1803027935  
VICTOR HUGO  
ROMERO GARCIA  
Fecha: 2021.03.03  
16:27:00 -05'00'



## **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **PROPUESTO POR:**

Cristian Rodrigo Balarezo Villamarin.

Elvis José Quimba Loachamin.

### **TEMA APROBADO:**

### **CARRERA:**

Ingeniería Electromecánica

### **DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA:**

### **EQUIPO DE TRABAJO:**

Sr. Balarezo Villamarin Cristian Rodrigo

Sr. Quimba Loachamin Elvis José

Ing. MSc. Jefferson Alberto Porras Reyes (Tutor Técnico)

### **LUGAR DE EJECUCIÓN:**

El presente proyecto se realizará en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ubicada en la provincia de COTOPAXI, ciudad de LATACUNGA, barrio El Ejido, sector San Felipe.

### **TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA:**

180 Días laborables.

### **FECHA DE ENTREGA:**

11/03/2021

### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Línea de tecnologías de la información y comunicación (TICS).

### **SUBLINEAS DE INVESTIGACIÓN**

Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

### **TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:**

Desarrollo de una innovación.

## **2 DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

### **2.1 Título de la propuesta tecnológica**

“Desarrollo de una aplicación para simulación de los ensayos de vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos para la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.”

### **2.2 Tipo de propuesta alcance**

Multidisciplinar: Dentro de la propuesta tecnológica que están inmersas varias ramas de la ingeniería tales como: Máquinas Eléctricas, Circuitos Eléctricos y Equipos Eléctricos.

### **2.3 Área del conocimiento**

Campos: Ingeniería, Industria y Construcción. Sub-campos: 52 ingeniería y dibujos técnicos profesionales afines, maquinaria, metalmecánica, energía eléctrica, electrónica, telecomunicaciones, ingeniería energética y química, mantenimiento de vehículos, topografía. Según la UNESCO (1997) "Clasificación internacional uniforme de la educación", la Clasificación internacional uniforme de la ingeniería, la industria y la construcción educativas.

### **2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica**

El propósito de este proyecto es utilizar un software de cálculo para la aplicación de los ensayos de vacío y de cortocircuito. El software se centrará principalmente en las pruebas anteriormente mencionadas de transformadores monofásicos con el fin de proporcionar una referencia para el desempeño práctico de las pruebas anteriores. Debido a la situación actual, no se puede ingresar a los laboratorio para la operación correspondiente, porque el enfoque principal de estas pruebas es la introducción del Ingeniero a la Electromecánica, el caso es que se requiere un método para cada uno de los siguientes temas: Máquinas Eléctricas, dicha materia está enfocada en el uso de la mecánica y la electricidad, además de Circuitos Eléctricos que es la materia en donde se conoce los cálculos de uso primordial en la carrera de la Ingeniería Electromecánica y Eléctrica además de Electromagnetismo. Para los ensayos se toma de referencia la norma Ecuatoriana NTE INEN 2 120:98.

En la carrera de Ingeniería Electromecánica, esta aplicación se implementará para ayudar a los estudiantes en la práctica de los ensayos, dejarlos participar en el programa, para que los estudiantes tengan un mayor nivel de conocimiento teórico-práctico, entender la prueba de manera práctica, manual Cómo trabajar en "transformadores" de máquinas estáticas en industrias pequeñas o grandes para que puedan desarrollarse en el lugar de trabajo.

## **2.5 Objeto de estudio y campo de acción**

### **2.5.1 Objeto de estudio**

Una aplicación para ensayos de vacío y de cortocircuito en transformadores monofásicos para la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **2.5.2 Campo de acción**

El diseño de la aplicación indicará en el aprovechamiento de la parte analítica de temas que son de la parte técnica en el proceso de formación del Ingeniero Electromecánico, enfocada en las materias de su perfil profesional.

## **2.6 Situación problémica y problema**

### **2.6.1 Situación problémica**

Unos de los principales conflictos y la más evidente problemática son en cómo realizar varios de los respectivos ensayos en los transformadores también llamados máquinas eléctricas estáticas, siendo esto un elemento de estudio y pilar fundamental en la materia de Máquinas Eléctricas I, enfocándose en la gran importancia y aporte en la formación del Ingeniero Electromecánico. Siendo necesario realizar las pruebas y para ello es inevitable adquirir la máquina que es el principal elemento en la práctica, así teniéndose que para poder realizar los ensayos en los transformadores se debe de utilizar un laboratorio físico con el equipo adecuado el mismo que el estudiante debería dirigirse respectivamente y tener contacto con él. Ocurre que el estudiante no podría trasladarse ni dar uso a la máquina estática ni a los equipos técnicos correspondientes por que el principal inconveniente es el estado que se vive actualmente denominado “pandemia”, con los parámetros de bioseguridad se da que no se debe tocar ni maniobrar ningún elemento, como equipos de medición, equipos de visualización, máquinas. Con esto impide ingresar a estados o cuartos cerrados, no teniendo la posibilidad de la interacción principal entre el estudiante y el encargado de la cátedra de Máquinas Eléctricas.

El uso de los equipos y máquinas es el principal inconveniente debido a la pandemia que se sitúa en la actualidad, siendo esta la crisis del Covid 19 la involucrada en que los estudiantes no puedan realizar los ensayos en un laboratorio físico, consecuentemente los alumnos no podrán dar uso de la teoría a la práctica.

### **2.6.2 Problema**

La inexistencia de módulos de entrenamiento físicos y/o virtuales en la Universidad Técnica de Cotopaxi que permitan realizar ensayos en vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos, para la determinación de pérdidas en núcleo e hierro.

## 2.7 Hipótesis

El desarrollo de la aplicación para la simulación de pruebas en transformadores monofásicos, proporcionará la visualización de curvas tanto para ensayos en vacío y cortocircuito en la interfaz de GUIDE, de una forma interactiva y amigable para el usuario, que permitirá determinar las pérdidas del transformador ingresado en base a fichas técnicas reales.

## 2.8 OBJETIVOS

### 2.8.1 Objetivo general

Desarrollar una aplicación para ensayos en vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos, mediante GUIDE el cual es un entorno de programación visual disponible en MATLAB, el mismo que permitirá interactuar con el usuario de una forma amigable, mostrando así las curvas de las pruebas correspondientes.

### 2.8.2 Objetivos específicos

- Investigar en diferentes fuentes bibliográficas sobre los procedimientos para realización de pruebas de circuito abierto y cortocircuito en transformadores monofásicos.
- Realizar una aplicación de simulación para ensayos de vacío y de cortocircuito en transformadores monofásicos.
- Validar los resultados obtenidos de la simulación con datos de la ficha técnica de un transformador real, proporcionada por la Empresa INATRA.

## 2.9 Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

Tabla 2.1. Cuadro de tareas por objetivos específicos

OBJETIVOS	Actividad	Resultado de la actividad	Medios de Verificación
<b>Investigar en diferentes fuentes bibliográficas sobre los procedimientos para realización de pruebas de circuito abierto y cortocircuito en</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Recolección de trabajos procedentes.</li><li>- Análisis del ensayo de vacío.</li><li>- Análisis del ensayo de cortocircuito.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Conocimiento del proceso de ensayos.</li><li>- Conocimientos de parámetros para el ensayo de vacío.</li><li>- Conocimiento de parámetros para el ensayo de cortocircuito.</li></ul>	Desarrollo del marco teórico

<b>transformador es monofásicos</b>			
<b>Realizar una aplicación de simulación para ensayos de vacío y de cortocircuito en transformador es monofásicos.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar las variables de entrada y de salida del ensayo de vacío.</li> <li>- Identificar las variables de entrada y de salida del ensayo de cortocircuito.</li> </ul>	Realización y ejecución del programa por el computador.	Funcionamiento de la simulación en el Software Matlab, en su entorno "GUIDE" Análisis y discusión de resultados.
<b>Validar los resultados obtenidos de la simulación con datos de la ficha técnica de un transformador real, proporcionada por la Empresa INATRA.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Adquisición de resultados del ensayo de vacío.</li> <li>-Adquisición de resultados del ensayo de cortocircuito.</li> </ul>	Comparación de los resultados obtenidos con los resultados de la hoja técnica del transformador.	Análisis y discusión de resultados.

## **3 MARCO TEÓRICO**

### **3.1 Análisis de trabajos precedentes**

#### **3.1.1 Laboratorio de pruebas en transformadores**

Los antecedentes de la investigación relacionados al proyecto propuesto son:

Las pruebas estarán enfocadas en la optimización de los procesos en los ensayos eléctricos de los transformadores monofásicos, las pruebas necesarias para garantizar la calidad del transformador, ya sea por su diseño, su construcción y su manufactura, cumpliendo con las normas ecuatorianas INEN respecto a los rangos máximos permisibles en pérdidas de potencia con carga y sin carga. [1]

Los transformadores son máquinas electrostáticas, porque no producen movimiento a primera vista. Pero existen tensiones eléctricas, tensiones mecánicas y cambios de temperatura en el interior, que pueden producir movimientos que el ojo humano no puede percibir. Por tanto, los transformadores de distribución y en general son varios transformadores. Antes de su puesta en funcionamiento, es necesario inspeccionarlos con diferentes equipos para realizar cada prueba requerida. [2]

Como hemos visto anteriormente el transformador está basado en que la energía se puede transportar eficazmente por inducción electromagnética desde una bobina a otra por medio de un flujo variable, con un mismo circuito magnético y a la misma frecuencia. Un transformador podrá entonces trabajar permanentemente y en condiciones nominales de potencia, tensión, corriente y frecuencia, sin peligro de deterioro por sobrecalentamiento o de envejecimiento de conductores y aislantes. [3]

### **3.2 Transformadores Monofásicos**

Un transformador es un dispositivo que permite modificar una corriente alterna con un cierto valor de voltaje y corriente a casi el mismo valor, pero generalmente otro dispositivo de potencia con un valor de voltaje y corriente diferente.

Es una máquina estática de bajas pérdidas ampliamente utilizada en sistemas de transmisión y distribución de energía.[4]

#### **3.2.1 Principio de Funcionamiento**

El dispositivo consta de un núcleo de hierro sobre el que se han desarrollado varias vueltas (vueltas) de alambre. Este conjunto de vueltas se llama bobina y se llamará: la bobina que recibe la tensión de entrada es la "primaria" y la bobina que dona la tensión transformada es la "secundaria".

La bobina "primaria" recibe un voltaje de CA que hará circular una corriente de CA a través del voltaje de CA. Esta corriente inducirá un flujo magnético en el núcleo de hierro. Cuando el devanado "secundario" se enrolla en el mismo núcleo de hierro, el flujo magnético circulará entre las vueltas de hierro. Debido al flujo magnético que pasa por las vueltas "secundarias", el cable secundario generará un voltaje. Si hay una carga (por ejemplo, si el secundario está conectado a una resistencia), habrá corriente. La relación

de conversión de voltaje entre los devanados "primario" y "secundario" depende del número de vueltas de cada devanado. La tasa de conversión tiene la forma de: [4]

### **3.2.1.1 Funcionamiento**

¿Como se produce electricidad en un transformador, que es una máquina estática, si no tiene movimiento?

La explicación está en que el transformador dispone de todos los elementos imprescindibles para producir electricidad: conductor eléctrico, los hilos de los devanados, campo magnético (el creado por los devanados), y el movimiento relativo entre ellos es:

El movimiento relativo entre el conductor eléctrico y el campo magnético es el flujo magnético creado por la corriente alterna que cambia de dirección y de magnitud, lo hace concretamente 100 veces por segundo, supuesta una red de 50 o 60 Hz.

Este movimiento de flujo, a veces en una dirección, a veces en la otra dirección (y que cambia de tamaño en cada medio ciclo) es el movimiento relativo requerido para inducir un voltaje en el devanado secundario.

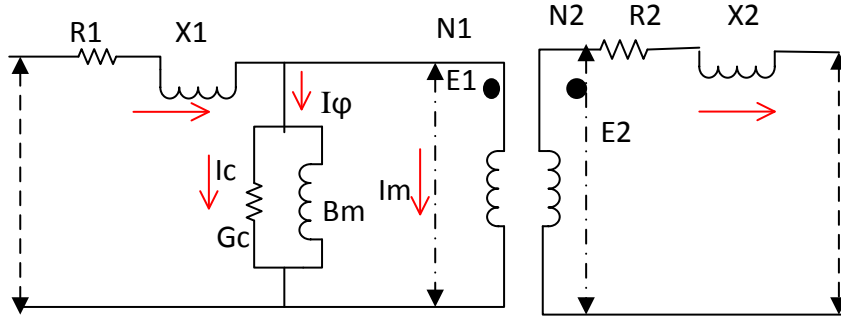
Si conecta el transformador al voltaje del devanado primario, obtendrá el voltaje en el devanado secundario. Por el contrario, si la tensión se conecta a través del devanado secundario, que obviamente tiene una tensión adecuada para el devanado, el devanado primario siempre obtendrá la primera tensión de alimentación conectada a él según la relación de transformación.[4]

### **3.2.2 Modelado matemático del Transformador monofásico**

Se desarrollarán las ecuaciones del transformador para determinar las corrientes de excitación con núcleo ideal, el comportamiento del transformador con carga y cuando se produce un cortocircuito en la carga del transformador.[5]

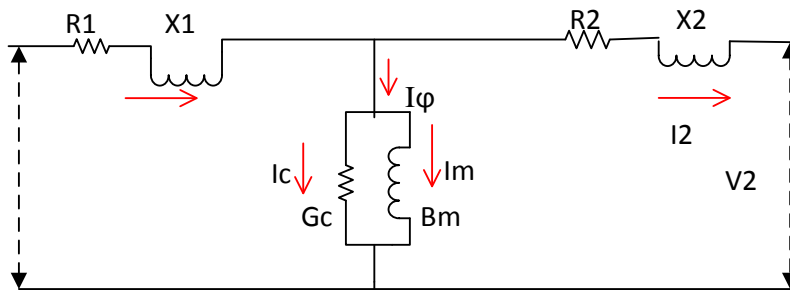
#### **3.2.2.1 Ecuaciones del Transformador Monofásico**

En un transformador real, la resistencia en los devanados es insignificante, el flujo magnético no está completamente restringido al núcleo de hierro y los dos devanados no se pueden conectar por igual. Además de generar flujo magnético, también hay fugas magnéticas y corriente de excitación También se requiere, y no se puede ignorar la pérdida del núcleo magnético, y el circuito equivalente debe considerar todos estos aspectos. Por lo tanto, se considerará equivalente al circuito de la Figura 3.1, donde el transformador real está representado por un transformador ideal más componentes resistivos e inductivos para tener en cuenta todos los aspectos anteriores. En la Figura 3.2 se puede encontrar una variación del circuito equivalente de esta figura, donde todos los componentes del transformador se denominan lado primario, y este circuito es el denominado circuito T equivalente del transformador.



**Figura 3.1.** Circuito equivalente del Transformador.

Fuente: [5]



**Figura 3.2.** Circuito T equivalente del Transformador.

Fuente: [5]

En donde:

$R_1$ : Resistencia del devanado primario ( $\Omega$ )

$R_2'$ : Resistencia del devanado secundario referido al primario ( $\Omega$ )

$X_1$ : Reactancia de dispersión del devanado primario ( $\Omega$ )

$X_2'$ : Reactancia de dispersión del devanado secundario referido al primario ( $\Omega$ )

$G_c$ : Conductancia de pérdidas del hierro ( $\Omega$ )

$B_m$ : Susceptancia de magnetización ( $\Omega$ )

$V_1$ : Voltaje primario (v)

$V_2'$ : Voltaje secundario referido al primario (v)

$I_1$ : Corriente primaria (A)

$I_2'$ : Corriente secundaria referida al primario (A)

$I_\phi$ : Corriente de excitación (A)

$I_c$ : Corriente de pérdidas del hierro (A)

$I_m$ : Corriente de magnetización (A)



Se puede observar que en el circuito equivalente, la influencia de la no linealidad ferromagnética se limita a la bobina paralela ( $B_m$ ) que representa las características de excitación. Además de esta consideración, el transformador de núcleo de hierro tiene básicamente las mismas características que el circuito de línea porque la resistencia del devanado y la resistencia a las fugas son casi constantes.

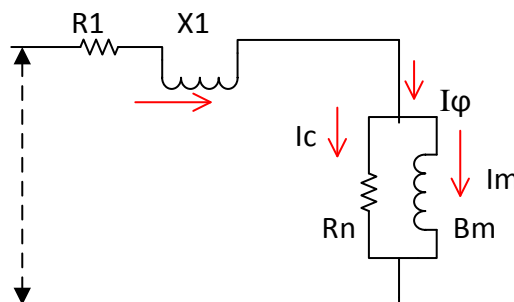
La conductancia  $G_e$  representa las pérdidas en el hierro del transformador equivalente (por histéresis y corrientes parásitas), como consecuencia de la corriente de excitación  $I_\phi$ .

### 3.2.2.2 Determinación de la corriente de excitación

La operación sin carga o sin carga del transformador corresponde a la condición de que el primario del transformador esté conectado a la línea de alimentación de CA. Cuando el secundario está encendido, la frecuencia es  $f$ .

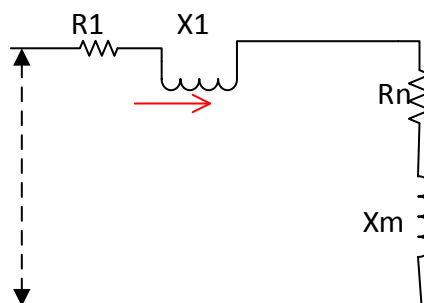
El circuito equivalente utilizado es el descrito en la figura 3.3.

Para simplificar el análisis la rama en paralelo que contiene a la resistencia de pérdidas del núcleo,  $R_n$  y la reactancia de magnetización  $X_m$ , se reduce a una rama en serie conformada por los elementos  $R_n'$  y  $X_m'$ , indicadas en la figura 3.4. [6]



**Figura 3.3.** Circuito equivalente de un Transformador con el secundario abierto.

*Fuente:* [6]



**Figura 3.4.** Circuito equivalente reducido de un Transformador con el secundario abierto.

*Fuente:* [6]

$$Rn' = \frac{Xm^2 * Rn}{Rn^2 + Xm^2} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$Xm' = \frac{Xm * Rn^2}{Rn^2 + Xm^2} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$V_{1CC} = (R1 + Rn') * I(t) + \left( \frac{X1 * Xm'}{w} \right) \frac{dI_0}{dt} \dots\dots\dots (3.4)$$

Donde:

$\theta$  : ángulo de conexión del voltaje

$I_0$  : corriente en vacío (A)

R1 : resistencia primaria ( $\Omega$ )

X1 : reactancia de dispersión primaria ( $\Omega$ )

Rn1: resistencia equivalente serie del núcleo ( $\Omega$ )

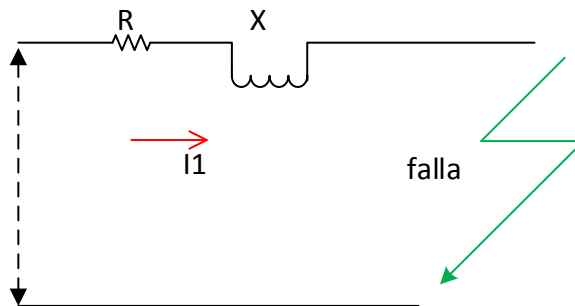
Xm': reactancia equivalente serie del núcleo ( $\Omega$ )

Vmax: voltaje máximo (v)

$V_{1CC}$ : voltaje de cortocircuito(V)

### 3.2.2.3 Falla en Cortocircuito

Cuando se producen corto circuitos repentinos en un transformador o cuando se ensaya en cortocircuito se pueden despreciar las corrientes de excitación del transformador y considerar únicamente la corriente de falla primaria, en este caso el circuito equivalente, está representado por un circuito eléctrico elemental con una resistencia total,  $R_t$  que resulta de la suma de la resistencia primaria, más la resistencia secundaria reflejada al lado del primario, y una reactancia total X, que resulta de sumar las reactancias de dispersión primaria y secundaria reflejada al primario, como se indica en la siguiente figura.[7]



**Figura 3.5.** Circuito equivalente del transformador para el análisis de falla en la carga.

**Fuente:** [7]

En este caso, la ecuación para un cortocircuito repentino tiene la siguiente forma:

$$V1 = Vmax * \cos(\omega t + \beta) = IL * R + L \frac{dI_0}{dt} \dots\dots\dots(3.5)$$

Siendo  $\beta$  el ángulo en el que se produce la falla.

Resolución de la ecuación (3.5).

$$I_0 = \frac{Vmax}{Z} \left[ \cos(\omega t + \beta - \alpha) - \cos(\beta - \alpha) * e^{\frac{-R}{L}t} \right] \dots\dots\dots (3.6)$$

Entonces:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega * L)^2} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{\omega * L}{R} \right) \dots\dots\dots(3.8)$$

Donde:

V1 : Voltaje primario (v)

I<sub>0</sub> : corriente en vacío(A)

Vmax: voltaje máximo (v)

IL : corriente de línea(A)

R : resistencia ( $\Omega$ )

Z : impedancia ( $\Omega$ ).

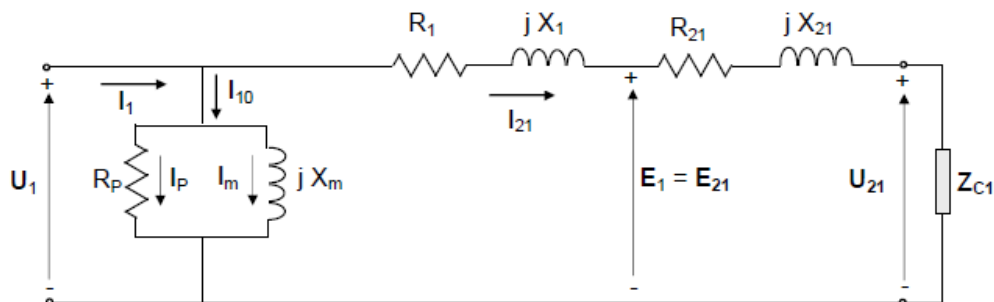
### 3.2.3 Funcionamiento del transformador real

Funcionamiento de un transformador real.

En los transformadores reales hay que tener en cuenta ambas cualidades. La apariencia de resistencia es inherente a los devanados hechos de cables. En el diagrama el circuito del transformador. Para mayor claridad, considerando las resistencias R1 y R2 del devanado, además de la propia bobina, también se encuentra que en el transformador real, solo una parte de todo el flujo magnético generado por el devanado es común. [8]

### 3.3 Circuito Equivalente del transformador

Los modelos de transformadores mostrados hasta ahora son más complejos que los requeridos para obtener buenos resultados en la práctica de la ingeniería. Una de las principales quejas sobre ellos es que la rama de excitación del modelo agrega otro nodo al circuito a analizar, lo que complica la solución más de lo necesario. En comparación con la corriente de carga del transformador, la corriente de la rama de excitación es muy pequeña. De hecho, la corriente de excitación es solo el 2-3% de la corriente de carga total de un transformador de potencia típico. Por esta razón, se puede producir un circuito equivalente simplificado y el efecto es casi tan bueno como el modelo original. La rama de excitación solo necesita moverse al extremo frontal del transformador, y las impedancias primaria y secundaria permanecen conectadas en serie.[9]



**Figura 3.6.** Circuito equivalente aproximado de un transformador.

**Fuente:** [10]

### 3.4 Disposiciones generales

1. El transformador se puede probar a cualquier temperatura ambiente entre 10 ° C y 40 ° C, y el transformador se puede probar a cualquier temperatura que no exceda los 25 ° C con refrigeración por agua (si es necesario).
2. Todos los componentes y accesorios externos que puedan afectar el funcionamiento del transformador deben estar colocados en su lugar.
3. En los devanados con derivaciones a menos que se acuerde otra cosa entre fabricante y comprador, y a menos que la prueba específicamente requiera otra cosa, las pruebas deben efectuarse en la derivación principal.
4. Las condiciones de prueba para todas las características, a excepción de las de aislamiento, deben ser a la condición nominal, a menos que en el numeral de la prueba se establezca otra cosa.[11]

#### 3.4.1 Recomendaciones del fabricante en la etiqueta

Las recomendaciones normales del fabricante incluidas en la etiqueta de un transformador de potencia de núcleo de hierro serán las siguientes:

5kVA      2000/100 V      60 Hz

Los 2000 V o los 100 V pueden ser o el voltaje primario o el voltaje secundario; es decir, si 2000 V son el voltaje primario, entonces 100 V son el voltaje secundario, y viceversa. Los 5 kVA son la potencia aparente (SVI) devaluación del transformador. [12]

#### 3.4.2 Disposiciones generales norma (NTE INEN 2 120:98)

##### 3.4.2.1 Transformadores monofásicos

Transformadores. Pruebas eléctricas.

Transformadores. Relación de transformación, verificación de la polaridad y desplazamiento angular.

Transformadores. Devanados y sus derivaciones.

Transformadores. Límites de calentamiento.

Transformadores. Niveles de aislamiento.

Transformadores. Pruebas del dieléctrico.

Transformadores. Determinación del voltaje de cortocircuito.

Transformadores. Determinación de pérdidas y corriente sin carga.

Transformadores. Valores de corriente sin carga, pérdidas y voltaje de cortocircuito.

Transformadores. Valores nominales de potencias aparentes.

Transformadores. Requisitos de funcionamiento en condiciones de altitud y temperatura diferentes a las normalizadas.

Transformadores. Certificado de pruebas para transformadores.

Transformadores. Accesorios para transformadores monofásicos.[13]

### **3.5 Pruebas en fábrica**

Estas pruebas pueden dividirse en tres partes:

a) Pruebas que nos determinan la calidad de su fabricación: Estas pruebas verificaron la calidad de fabricación del transformador y evalúan su capacidad para soportar condiciones de funcionamiento normales y condiciones anormales causadas por condiciones de falla por sobretensión atmosférica. Estas pruebas son:

- Resistencia de aislamiento.
- Factor de disipación de aislamiento.
- Rigidez dieléctrica del aceite.
- Relación de transformación y polaridad.
- Resistencia óhmica de los devanados.
- Potencial aplicado.
- Potencial inducido.
- Impulso por descarga atmosférica.
- Prueba de temperatura.
- Prueba de cortocircuito a tensión nominal.

b) Pruebas que nos determinan la calidad de servicio: Este conjunto de pruebas revela la eficiencia de trabajo y la tasa de regulación de voltaje del transformador. También determina si está dentro del 1% de la impedancia establecida garantizada y la corriente de excitación. Estas pruebas son:

- Pérdida en los devanados y % de impedancia.
- Pérdidas en el núcleo y % de corriente de excitación.

c) Pruebas para determinar la calidad de operación del transformador: Estas pruebas determinan la vida útil del transformador, porque de acuerdo con la tasa de envejecimiento del aislamiento, la vida útil del transformador se acortará en la misma proporción. Estas pruebas son:

- Temperatura
- Hermeticidad
- Descargas parciales.[1]

### 3.5.1 Ensayos de vacío y de cortocircuito en transformadores

Ninguna máquina trabaja sin producir pérdidas de potencia ya sea estática o dinámica ahora bien, las pérdidas en las máquinas estáticas son muy pequeñas, como le sucede a los transformadores.[14]

En un transformador se produce las siguientes perdidas:

1. Pérdidas por corriente de Foucault ( $P_f$ ).
2. Pérdidas por histéresis ( $P_H$ )
3. Pérdidas en el cobre del bobinado ( $P_{cu}$ )

Las pérdidas por corriente de Foucault ( $P_f$ ).y por histéresis ( $P_H$ ) son las llamadas **pérdidas en el hierro** ( $P_{Fe}$ ).

Cuando el transformador está vacío, la potencia que medimos en el transformador abierto consiste en la pérdida de potencia en el circuito magnético y la pérdida en el devanado del alambre de cobre.

Al ser nula la intensidad en el secundario ( $I_0 = 0$ ), no aparece en el pérdida de potencia; por otra parte; al ser muy pequeña la intensidad del primario en vacío ( $I_0$ ) con respecto a la intensidad en carga  $I_{2nf}$  las pérdidas que se originan en el cobre del bobinado primario resultan prácticamente insignificante.[14]

### 3.5.2 Pérdidas en el hierro ( $P_{Fe}$ )

Las pérdidas de potencia en el hierro ( $P_{Fe}$ ) en un transformador en vacío se produce por las corrientes de Foucault ( $P_f$ ) y por fenómeno de histéresis ( $P_H$ ).

La **histéresis magnética** es un fenómeno que se produce cuando la magnetización de un material ferromagnético depende no solo del valor del flujo magnético sino también del estado magnético. En el caso de un transformador, cuando el material magnético se somete a un flujo variable, se generará la magnetización. Cuando se detiene el flujo variable, la magnetización se mantendrá sin cambios, lo que conducirá a una pérdida de energía, que se ha demostrado en la forma de calor razonable.[14]

La pérdida de potencia en el núcleo de hierro o magnético es la suma correspondiente a la pérdida debida a las corrientes parásitas y la histéresis, como indica la siguiente formula:

$$P_F + P_H = P_{Fe} \dots \dots \dots (3.9)$$

Donde:

$P_F$ : Pérdidas por corriente de Foucault (W)

$P_H$ : Pérdidas por histéresis. (W)

No obstante, las pérdidas en la hierro se pueden determinar midiendo la potencia consumida por el transformador en vacío mediante vatímetro.[14]

### 3.5.3 Ensayo en vacío

Un transformador se dice que funciona en vacío (Fig. 10) cuando su primario se conecta a la tensión asignada ( $V_{1N}$ ) y su secundario se deja en circuito abierto (luego,  $I_2 = 0$ ). La marcha en vacío es, pues, una de las marchas industriales del transformador. Cuando un transformador funciona en vacío se denominan  $I_0$ ,  $P_0$ ,  $\cos \theta_0$  y  $V_{20}$  a la corriente primaria, a la potencia absorbida por el primario, al factor de potencia en el primario y a la tensión en bornes del secundario, respectivamente.[15]

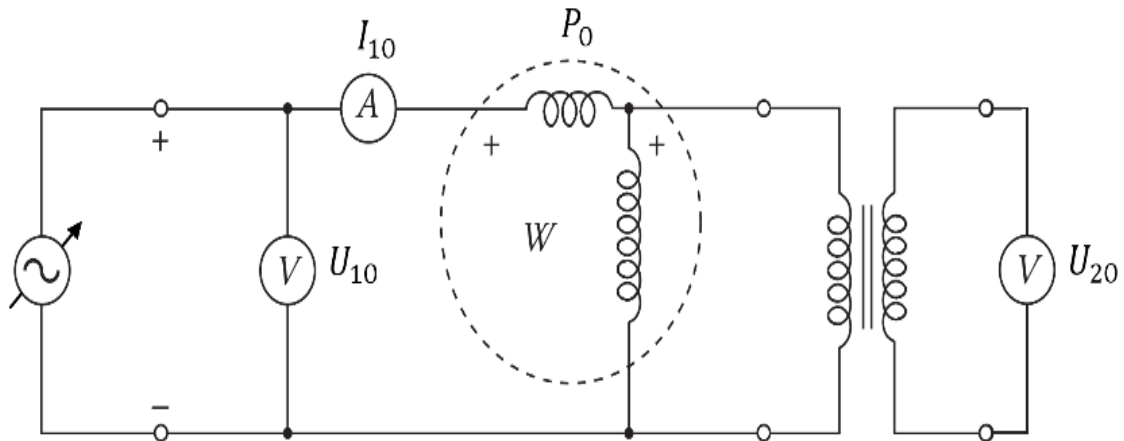


Figura 3.7. Esquema del ensayo de vacío en un transformador monofásico.

Fuente:[16]

El valor eficaz  $I_0$  de la corriente de vacío es tan pequeño ( $I_0$  no suele superar el 5% de  $I_{1N}$ ) que se pueden despreciar las caídas de tensión en el primario (caídas de tensión en la reactancia de dispersión  $X_1$  y en la resistencia  $R_1$  del devanado primario).[15]

En vacío:

$$V_1 = V_{1N} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$I_0 \ll \rightarrow V_1 = E_1 \dots\dots\dots(3.11)$$

Donde:

$V_1$ : Voltaje en el primario (V).

$V_{1N}$ : Voltaje nominal en el lado del primario (V).

$I_0$ : Corriente de vacío (A)

$E_1$ : Energía eficaz en el lado del primario (V).

Por otro lado, en el vacío, la corriente secundaria es nula.

$$I_2 = 0 \rightarrow V_{20} = E_2 \dots \dots \dots (3.12)$$

Donde:

$V_{20}$ : Voltaje de vacío en el lado del secundario (V).

$E_2$ : Energía eficaz en el lado del secundario (V).

se deduce que:

$$m = \frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_{20}} \rightarrow V_{20} = \frac{V_1}{m} \dots \dots \dots (3.13)$$

$$V_1 = V_{1N} \rightarrow V_{20} = V_{2N} \dots \dots \dots (3.15)$$

Donde:

$E_1$ : Energía eficaz en el lado del primario (V).

$E_2$ : Energía eficaz en el lado del secundario (V).

$V_1$ : Voltaje en el primario (V).

$m$ : Relación de transformación. (Adimensional)

$V_{1N}$ : Voltaje nominal en el lado del primario (V).

$V_{20}$ : Voltaje de vacío en el lado del secundario (V).

$V_{2N}$ : Voltaje de nominal en el lado del secundario (V).

El transformador bajo carga absorbe la potencia activa  $P_1$  a través del primario. Una pequeña parte de esta potencia se pierde en el propio motor, provocando que el motor se caliente, y el resto es potencia activa  $P_2$ . El transformador proporciona potencia activa  $P_2$  a la carga activa a través del secundario. En los devanados de la maquina existe la denominada pérdida de cobre en los devanados primario y secundario  $PCu_1$  y  $PCu_2$ , que se produce por el efecto Joule cuando las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  circulan por las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  de estos devanados, respectivamente. La potencia total de pérdida de cobre  $PCu$  es la suma de las pérdidas de cobre primario y secundario ( $PCu = PCu_1 + PCu_2$ ). Además, en el núcleo magnético del transformador se producen las pérdidas en el hierro,  $P_{Fe}$ .



En vacío la potencia suministrada por el secundario ( $P_2$ ) y las pérdidas en el cobre en el secundario ( $PCu_2$ ) son nulas (pues  $I_2$  es nula) y las pérdidas en el cobre en el primario ( $PCu_1$ ) son muy pequeñas (pues  $I_0$  es muy pequeña). Luego, en vacío la potencia activa consumida por el primario ( $P_0$ ) prácticamente es igual a las pérdidas que se producen en el núcleo magnético o pérdidas en el hierro ( $P_{Fe}$ ) de la máquina[16].

Teniendo en cuenta que la variable independiente  $V_0$  se puede reemplazar por el valor de inducción magnética nuclear proporcionado directamente  $B_m$ , la forma del gráfico de prueba es razonable.

El gráfico de la corriente  $I_0$  tiene la misma forma que la curva de magnetización de las láminas magnéticas del núcleo. En efecto, dado el pequeño valor y el grande desfase de la componente activa de la corriente respecto a la corriente magnetizaste; se puede hacer la siguiente aproximación:

$$I_0 = I_\mu$$

La potencia a vacío  $P_0$ , como ya se ha dicho, coincide con las pérdidas en el hierro  $P_{Fe}$  y estas últimas son efecto proporcionales al cuadrado de  $B_m$  (en realidad mientras que las componentes de  $P_{Fe}$  debida a las corrientes parásitas es proporcional a  $B_m^2$ , aquella debida a la histéresis magnética depende de  $B_m^{1.6+2}$  según la fórmula empírica de Steinmetz). [16]

### 3.6 Ensayo de cortocircuito

Este ensayo implica poner en cortocircuito un devanado de transformador y proporcionarle un voltaje reducido en el otro lado para que su corriente nominal fluya a través del devanado. En esta prueba, se miden el voltaje, la corriente y la potencia alimentados a los devanados por la máquina. A partir de los resultados de medición obtenidos en esta prueba, se pueden obtener los parámetros  $R_{CC}$  y  $X_{CC}$  de la rama en serie del circuito equivalente aproximado del transformador.

En esta prueba, el transformador debe estar alimentado por una fuente de voltaje variable. El voltaje proporcionado por esta fuente de alimentación tendrá que cambiar hasta que la corriente alcance su valor asignado. Se recomienda hacer funcionar el transformador de esta manera durante un tiempo antes de tomar la medida. De esta forma, la máquina alcanzará su temperatura de funcionamiento y no se medirá cuando la máquina esté fría. Se debe considerar que la resistencia  $R_{CC}$  varía con la temperatura y debe medirse a la temperatura a la que el transformador está funcionando normalmente.[17]

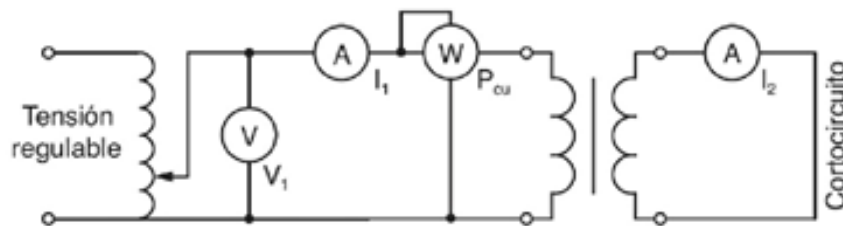


Figura 3.8. Circuito para el ensayo en cortocircuito.

Fuente:[17]

Las magnitudes medidas durante este ensayo serán las siguientes:

$$V_{1CC} \quad I_{1N} \quad P_{CC}$$

$V_{1CC}$ : Voltaje de cortocircuito.

$I_{1N}$ : Corriente nominal de cortocircuito.

$P_{CC}$ : Potencia de cortocircuito.

En la prueba de cortocircuito, el voltaje primario es muy pequeño ( $V_{1CC}$  rara vez excede el 15% del voltaje nominal  $V_{1N}$ ), por lo que la corriente sin carga es mucho menor que cuando el transformador está conectado a su voltaje nominal. Bastante pequeño. Esto significa que durante esta prueba, la corriente de vacío se puede ignorar por completo. El hecho de que ahora se pueda ignorar la corriente de vacío significa que las corrientes primaria y secundaria son proporcionales a la relación de transformación  $m$ . Cuando la corriente nominal fluye por el lado primario,  $I_{1N}$ , esto conlleva que también por el secundario circula su corriente  $I_{2N}$ . [18]

### 3.7 Matlab

#### 3.7.1 Qué es Matlab

Es un lenguaje de alto nivel utilizado para la informática y la ingeniería. Integra cálculo, visualización y programación.

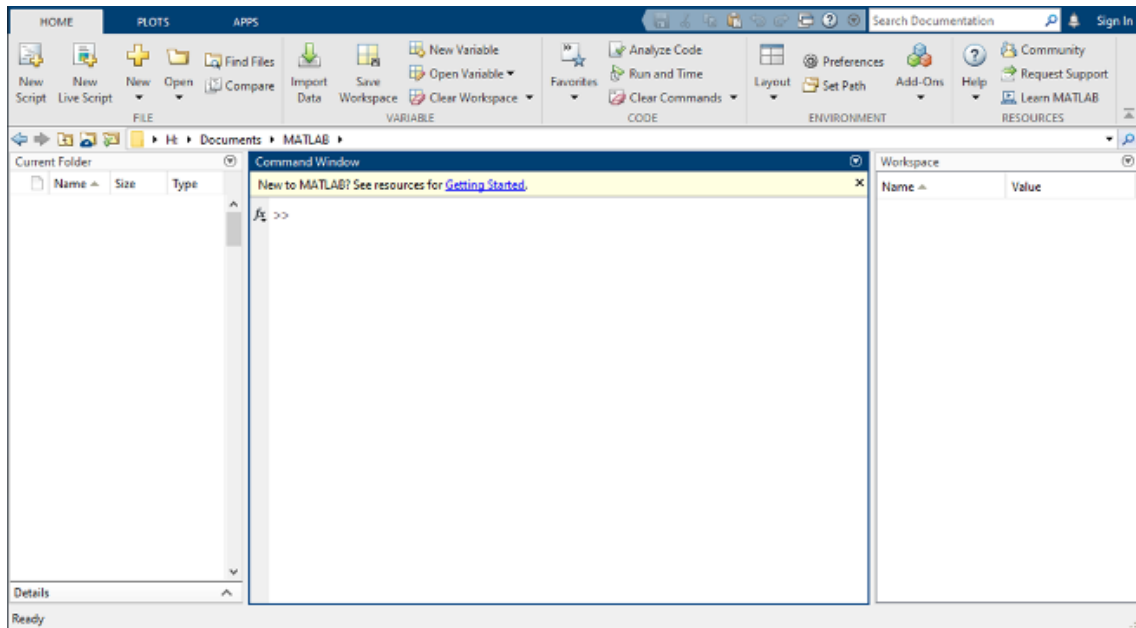
Las aplicaciones típicas de MATLAB son:

- Matemáticas y computación.
- Desarrollo de algoritmos.
- Modelado, simulación y prototipado.
- Análisis de datos, exploración y visualización.
- Gráficos científicos y de ingeniería.
- Desarrollo de aplicaciones.

Matlab es un sistema interactivo cuyo elemento básico son las matrices y no requiere dimensionamiento. El nombre proviene del "laboratorio de matrices". Originalmente fue escrito en FORTRAN y usó las bibliotecas LINPACK y EISPACK. La última versión está desarrollada en lenguaje C, y utiliza librerías LAPACK y BLAS, sobre la base de MATLAB se construye un conjunto de funciones específicas para diferentes problemas, denominado "toolboxes".[19]

#### 3.7.2 Características básicas de MATLAB

El espacio de trabajo de Matlab nada más abrir Matlab (podemos hacerlo pinchando en el ícono que aparece en el escritorio o en su defecto en inicio (todos los programas) luego aparecerá una pantalla.[20]



*Figura 3.9. Ventana principal de Matlab.*

*Fuente:[20]*

### 3.7.3 Matemática sencilla de MATLAB

Matlab brinda la posibilidad de realizar las siguientes operaciones básicas.

Operación	Símbolo	Expresión en Matlab
suma	+	$a + b$
resta	-	$a - b$
multiplicación	*	$a * b$
división	/	$a / b$
potencia	^	$a ^ b$

*Figura 3.10. Funciones matemáticas básicas de Matlab.*

*Fuente:[20]*

### 3.7.4 Funciones para el manejo de datos

Debido a que MATLAB está diseñado para usarse de manera interactiva, el usuario a menudo necesita saber qué variables creó, cuáles son sus características y cuánto espacio ocupan. Por este motivo, se encuentran disponibles determinadas funciones, que se explicarán a continuación.

**Dimensiones.** A veces es necesario conocer el tamaño o dimensiones de una única variable por ejemplo saber número de filas de una matriz y disponer de este número para posteriores cálculos.

Almacenamiento.\_ MATLAB permite almacenar en el disco variable. De esta manera, puede tener una sesión de trabajo y continuar en otro momento sin contar dos veces.

La orden más simple para guardar es `save` que puede usarse de varias maneras.

Recuperación.\_ Las variables almacenadas en el disco se pueden utilizar en diferentes sesiones. Esto requiere que MATLAB los lea desde el disco usando el comando de carga. [21]

### **3.7.5 Funciones para trazado de gráficas**

Una de las razones por las que MATLAB se ha convertido en un entorno popular es que puede producir fácilmente muchos tipos diferentes de gráficos.

La orden de dibujo más simple es `plot`. Esta función puede ser utilizada de muchas maneras. En primer lugar puede usarse para representar las componentes de un vector. [21]

### **3.7.6 Funciones lógicas**

MATLAB proporciona estructuras de selección tradicionales (como la serie de funciones `if`) y una serie de funciones lógicas que realizan muchas de las mismas tareas.

La función lógica principal es `find`, que con frecuencia se puede usar en lugar tanto de las estructuras de selección tradicionales como de los bucles. [22]

### **3.7.7 Álgebra simbólica**

Las matemáticas simbólicas se utilizan a menudo en los cursos de matemáticas, ingeniería y ciencias. Por lo general, es mejor manipular las ecuaciones simbólicamente antes de reemplazar valores con variables.

Las capacidades simbólicas de MATLAB le permiten realizar esta simplificación o manipular el numerador y denominador por separado.

Las relaciones no siempre se constituyen en formas fáciles de resolver [22]

## **3.8 Simulink**

Simulink es una herramienta de gran utilidad para la simulación de sistemas dinámicos. Principalmente, se trata de un entorno de trabajo gráfico, en el que se especifican las partes de un sistema y su interconexión en forma de diagrama de bloques.

De nuevo, se trata de una herramienta muy amplia que se complementa con numerosos elementos opcionales. Por tanto, nos limitaremos a dar unas pinceladas de los elementos más útiles en Regulación Automática. Además de las capacidades de simulación de las que está dotado Simulink, conviene destacar que contiene cómodas utilidades de visualización y almacenamiento de resultados de simulación. [23]

### 3.8.1 Cómo iniciar Simulink

1. En el MATLAB ® Inicio pestaña, haga clic en Simulink.
2. En la página de inicio de Simulink ®, elija una plantilla o busque las plantillas.

Las plantillas de modelo son puntos de partida para aplicar enfoques de modelado comunes. Le ayudan a reutilizar configuraciones y bloquear configuraciones y compartir conocimientos. Utilice modelos y plantillas de proyectos para aplicar las mejores prácticas y aprovechar las soluciones de modelado anteriores. Se hace clic en el título de una plantilla para leer la descripción.

La ventana inicial no es adecuada para crear modelos de simulación. Su función principal es navegar por la enorme biblioteca de bloques disponibles para modelar. En él, distinguimos dos partes: el lado izquierdo contiene una vista de árbol de todas las cajas de herramientas instaladas que contienen bloques Simulink. El ancho de este árbol depende de las opciones que activamos cuando seleccionamos Matlab. Actualmente, entre todos los nodos del árbol, lo que nos interesa es el llamado Simulink y caja de herramientas del sistema de control. Por su interés, también cabe mencionar que el módulo de taller en tiempo real está diseñado para generar automáticamente códigos de control para algunas plataformas de hardware comerciales. El lado derecho de la ventana muestra los bloques de Simulink contenidos en la caja de herramientas o nodo en el lado izquierdo de la ventana.

Estos bloques deben arrastrarse al espacio de trabajo de Simulink para crear el modelo que se va a simular.

Por último, cabe indicar que en la parte superior de la ventana de inicio de Simulink hay varias herramientas como la búsqueda de un bloque determinado a partir de su nombre, que nos pueden resultar bastante útiles. [23]

### 3.8.2 Construcción de modelos

Ventana de modelo: Cada modelo (o submodelo) se construye en una ventana diferente. Por lo tanto, para construir un nuevo modelo, se debe abrir una nueva ventana "Modelo sin título". A partir de ahí, simplemente arrastre los módulos que componen el modelo desde la biblioteca SIMULINK a la ventana. Antes de comenzar a usar SIMULINK, se recomienda verificar la barra de menú y las opciones de la barra de herramientas de la ventana del modelo Interconectar bloques: La interconexión entre los bloques se logra arrastrando el mouse entre los puertos de entrada y salida de los bloques. También puede seleccionar un bloque, mantenga presionada la tecla <ctrl> y haga clic en otro bloque. Se puede poner texto en cualquier sitio (haciendo doble clic en el sitio deseado), se puede cambiar los nombres de los bloques y se pueden usar distintos colores (Formato

Foreground Color). También se pueden rotar bloques (Formato Flip block, Rotate block). [24]

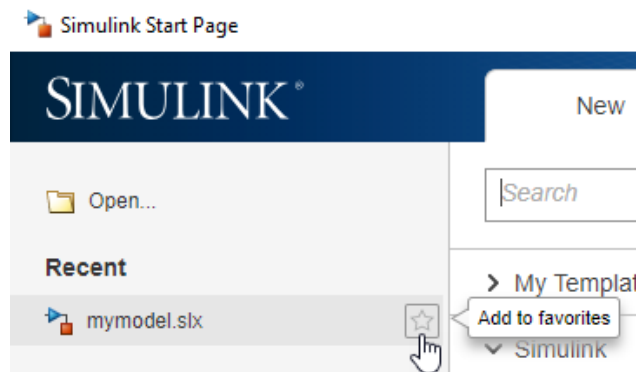


Figura 3.11. Opción de agregar a favoritos un modelo echo en simulink.

Fuente:[24]

### 3.9 GUIDE

GUIDE es un entorno de programación visual disponible en MATLAB para crear y ejecutar programas que requieren una entrada continua de datos. Tiene las funciones básicas de todos los programas visuales (como Visual Basic o Visual C ++).

Tabla 3.1. Descripción de componentes de GUIDE

Control	Valor de estilo	Descripción
Check box	“Checkbox”	Indica el estado de una opción o atributo.
Editable Text	“edit”	Caja para editar texto.
Pop-up menú	“popupmenu”	Provee una lista de opciones.
List Box	“listbox”	Muestra una lista deslizable.
Push Button	“pushbutton”	Invoca un evento inmediatamente.
Radio Button	“radio”	Indica una opción que puede ser seleccionada.
Toggle Button	“togglebutton”	Solo dos estados, “on” o “of”.
Slider	“slider”	Usado para representar un rango de valores.
Static Text	“text”	Muestra un string de texto en una caja.
Panel button		Agrupar botones como un grupo.
Button Group		Permite exclusividad de selección con los radio button.

Fuente:[25]

#### 3.9.1 Funcionamiento de una aplicación GUIDE

Una aplicación GUIDE consta de dos archivos: .my .fig. El archivo .m contiene el código con los botones de control de la interfaz y el archivo .fig contiene los elementos gráficos. Cada vez que se agrega un nuevo elemento a la interfaz gráfica, el código se genera automáticamente en el archivo .m.

Para ejecutar una Interfaz Gráfica, si la hemos etiquetado con el nombre curso.fig simplemente ejecutamos en la ventana de comandos >> curso. O haciendo clic derecho en el m-file y seleccionando la opción RUN. [25]

## **4 METODOLOGÍA**

### **4.1 Métodos investigativos**

#### **4.1.1 Método analítico**

En la investigación presente se utilizó el método analítico para así descomponer y analizar el diagrama de los respectivos ensayos y sus fórmulas a utilizar respectivamente, con sus partes principales, elementos que los componen.

#### **4.1.2 Método experimental**

Con este respectivo método se pudo analizar los diferentes resultados al ingresar datos principalmente en el ensayo de cortocircuito ya que se debe encontrar un voltaje que no dañe el equipo.

### **4.2 Tipos de investigación**

#### **4.2.1 Investigación bibliográfica**

Mediante esta investigación logramos obtener información relacionada con los ensayos en los transformadores a través de revistas, tesis, documentos, libros, manuales entre otros. Con el cual se puede analizar además de conocer los pasos y métodos usados en realizar los ensayos también en cómo crear la aplicación dentro del software MATLAB.

#### **4.2.2 Investigación Tecnológica**

Se puso en uso la aplicación de la simulación mediante un software de ejecución.

### **4.3 Técnicas e instrumentos.**

**Tabla 4.1.** Técnicas e instrumentos de investigación.

Nº	Técnicas	Instrumentos
1	Método experimental	Uso de varios valores del voltaje en el prueba de cortocircuito.
2	Modelación y Simulación	Software para permitir la simulación. "MATLAB"
3	Prueba de rendimiento	Comparación de resultados con una prueba certificada.

#### **4.4 Método experimental**

Para ingresar el dato de voltaje explícitamente en la prueba de cortocircuito, debe de ser un valor de voltaje adecuado para que no dañe el transformador, dicho valor de voltaje lo podemos obtener ingresando varios valores, hasta llegar al valor adecuado para la simulación, o a su vez se lo puedo encontrar calculando la corriente nominal en el lado del primario y del secundario, así siendo estos dos valores lo que dan un punto de

referencia el cual no debe sobrepasar y al cual debe llegar para que la simulación sea correcta.

#### 4.4.1 Modelamiento y Simulación

MATLAB es un software muy completo enfocado al estudio de sistemas eléctricos teniendo este dentro de su software varias opciones tales como el crear circuito o sistemas básicos, complejos dentro la rama de la electricidad como es el simulink, además que emerge varias entradas dentro de su interfaz como es el crear la aplicación con la ayuda de GUIDE que es un entorno visual el cual es muy didáctico y amigable con el programador y posterior usuario, con este entorno didáctico se llegara al mejor manejo y entendimiento de la aplicación realizada. Potencia.

#### 4.4.2 Variables a controlar

Las variables a tomar en cuenta para empezar con el proceso de simulación se muestran en el diagrama 4.1.

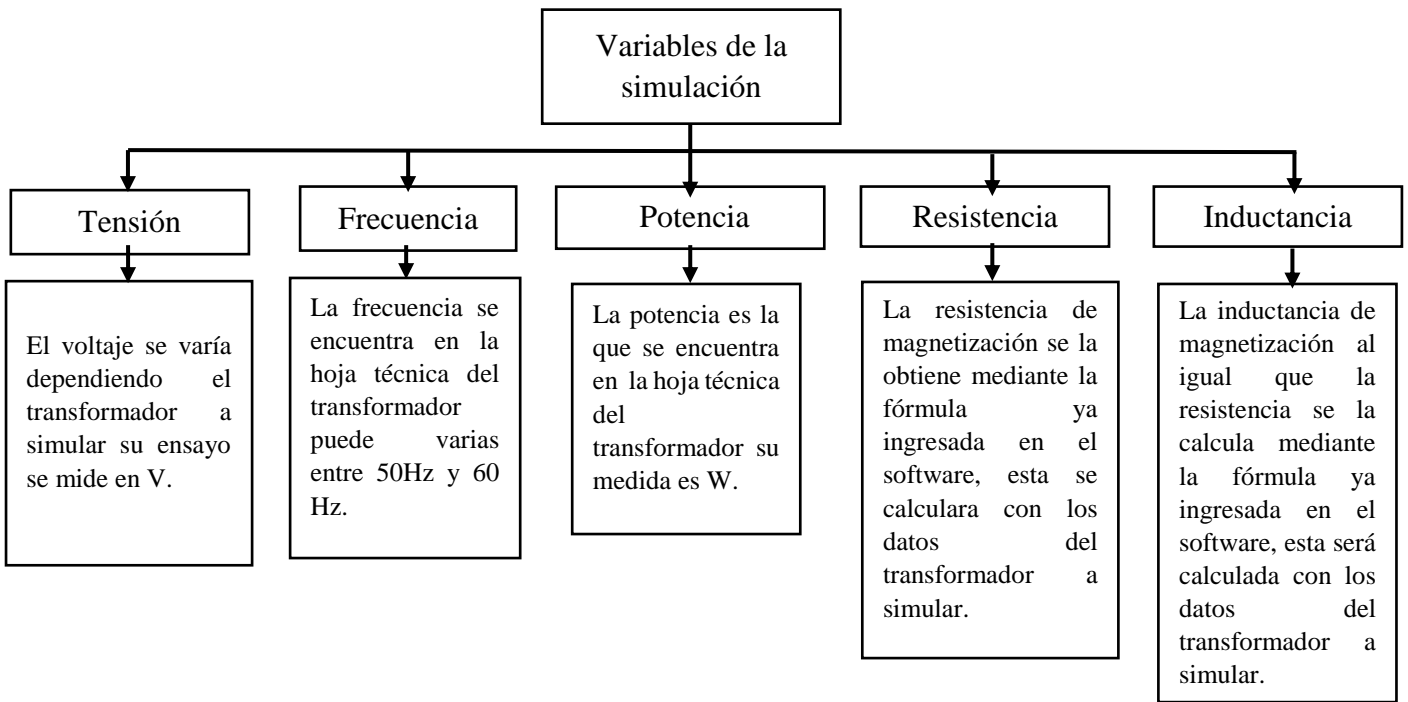


Diagrama 4.1. Variables a tomar en cuenta para la simulación.

#### 4.4.3 Simulación de los parámetros de transformador

##### 4.4.3.1 Parámetros eléctricos derivados de la simulación de vacío

De la prueba realizada y al obtener los datos de vacío que son los utilizados para posterior calcular los parámetros necesarios del transformador que son:



a) Factor de potencia.

$$\cos\phi = \frac{P_0}{V_0 \cdot I_0} \dots\dots\dots (4.1)$$

Donde:

$V_0$  = voltaje de línea de vacío (v).

$I_0$  = intensidad de línea de vacío (a).

$P_0$  = potencia en vacío (w)

b) Corriente de pérdida en el núcleo.

$$I_{fe} = I_0 \cdot \cos\phi \dots\dots\dots (4.2)$$

Donde:

$I_0$  = intensidad de línea de vacío (a).

$\cos\phi$  = factor de potencia del transformador en vacío.

c) Corriente de magnetización.

$$I_u = I_0 \cdot \sin\phi \dots\dots\dots (4.3)$$

Donde:

$I_0$  = intensidad de línea de vacío (a).

d) Resistencia de pérdida en el núcleo.

$$R_{fe} = \frac{V_0}{I_{fe}} \dots\dots\dots (4.4)$$

Donde:

$I_{fe}$  = Corriente de pérdida en el núcleo (a).

$V_0$  = voltaje de línea de vacío (v).

e) Reactancia de magnetización del núcleo.

$$X_m = \frac{V_0}{I_u} \dots\dots\dots (4.5)$$

Donde:

$I_u$  = Corriente de magnetización (a).

$V_0$  = voltaje de línea de vacío (v).

#### 4.4.3.2 Parámetros eléctricos derivados de la simulación de cortocircuito

De la prueba realizada y al obtener los datos de cortocircuito que son los utilizados para posterior calcular los parámetros necesarios del transformador que son:

a) *Impedancia de cortocircuito.*

$$Z_{cc}(\%) = \frac{V_{cc}}{V_p} * 100 \dots\dots\dots (4.6)$$

Donde:

$V_{cc}$ = voltaje de cortocircuito (v).

$V_p$ = voltaje del primario(v).

b) *Resistencia de cortocircuito.*

$$R_{cc}(\%) = \frac{P_{cc}}{S} * 100 \dots\dots\dots (4.7)$$

Donde:

$P_{cc}$ = potencia de cortocircuito (W).

$S$ = potencia aparente nominal (Kva).

c) *Reactancia de cortocircuito.*

$$X_{cc}(\%) = \sqrt{Z_{cc}(\%)^2 - R_{cc}(\%)^2} \dots\dots\dots (4.8)$$

Donde:

$Z_{cc}$ = impedancia de cortocircuito (W).

$R_{cc}$ =resistencia de cortocircuito(ohm)

d) *Impedancia base de cortocircuito.*

$$Z_{base} = \frac{S}{V_p} \dots\dots\dots (4.9)$$

Donde:

$S$ = potencia aparente nominal (Kva).

$V_p$ = voltaje del primario(v).

e) *Resistencia base de cortocircuito.*

$$R_{cc} = \frac{R_{cc}(\%)}{100} * Z_{base} \dots\dots\dots (4.10)$$

Donde:

$R_{cc}$ = resistencia de cortocircuitó.

$V_p$ = voltaje del primario(v).

f) *Resistencia base de pérdida del núcleo.*

$$X_{cc} = \frac{X_{cc}(\%)}{100} * Z_{base} \dots\dots\dots (4.11)$$

Donde:

$X_{cc}$ =reactancia de cortocircuito

## **5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1 Análisis**

El resultado alcanzado en el proyecto al realizar la aplicación en el programa MATLAB para las pruebas de cortocircuito y de vacío puede ser comparables, con pruebas realizadas en el transformador físico tomado como objeto de estudio, que cumple con valores cercanos al de los reales realizados en la empresa INATRA. En esta sección se empleará las ecuaciones establecidas en la sección de metodología, donde, se obtendrá los resultados por medio del software de Matlab, esto se representará en gráficos para su posterior discusión.

### **5.2 Datos técnicos del transformador monofásico**

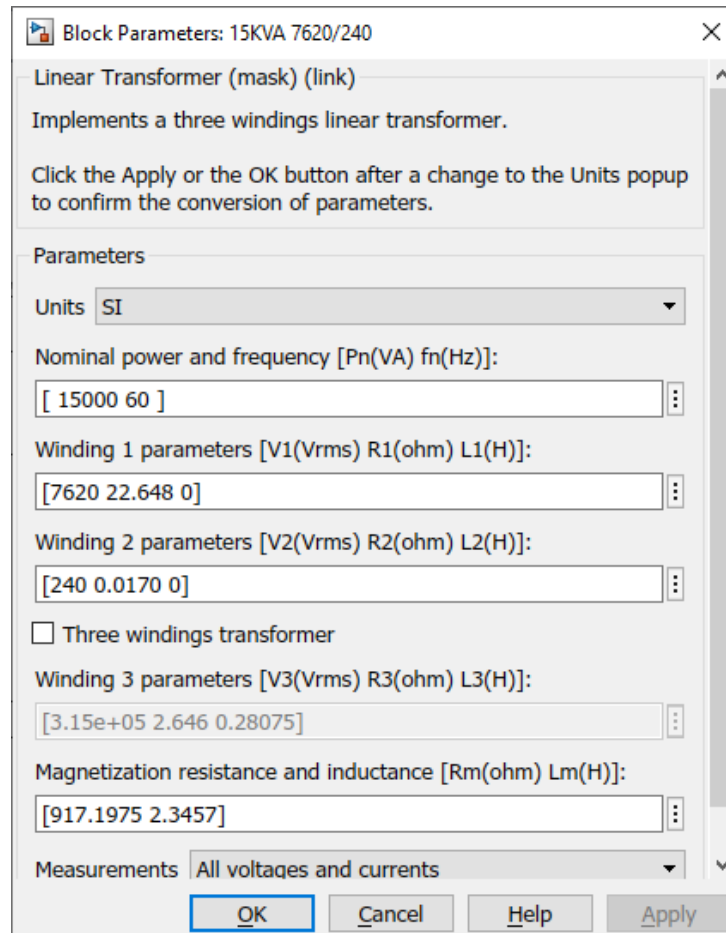
Los datos técnicos del transformador son los que están estipulados por el fabricante y que encontramos en su ficha técnica donde podremos diferencia y tomar datos de importancia como el voltaje del primario, del secundario al igual que sus corrientes correspondientes, además de su frecuencia, su potencia, sus resistencias que son parámetros necesario para realizar los ensayos necesarios y basándolo en la norma ecuatoriana (**NTE INEN 2 120:98**).

### **5.3 Configuración inicial del transformador**

Los datos necesarios para la correcta configuración del transformador, para su posterior simulación son los siguientes:

1. Potencia.
2. Frecuencia.
3. Voltaje en el primario.
4. Voltaje en el secundario.
5. Resistencia del primario.
6. Resistencia del secundario.
7. Resistencia de magnetización.
8. Inductancia de magnetización.

Los datos descritos anteriormente son proporcionados por la placa o a su vez la hoja técnica adquirida, los datos que no son de conocimiento público o datos ocultos por el fabricante son la resistencia de magnetización y la inductancia de magnetización, para poder conocer el valor de estos dos parámetros se los calcula mediante los datos de la prueba de vacío realizada por la empresa así podremos obtener los valores de los parámetros ocultos o privados del transformador.



*Figura 5.1. Configuración del transformador.*

En la siguiente figura indicada en la parte posterior, se encuentran ya ingresados los datos o parámetros del transformador, ya incluidos los datos no explícitos en la hoja técnica entregada por la empresa responsable del transformador monofásico.

#### **5.4 Ensayo en vacío del transformador monofásico**

Con los siguientes datos del transformador realizamos la simulación del ensayo de vacío.

**Tabla 5.1.** Datos del transformador monofásico para las pruebas de vacío y de cortocircuito

Potencia nominal	15(KVA)
Frecuencia	60 (Hz)
Voltaje primario	7260 (V)
Voltaje secundario	240/120 (V)

Corriente primaria	1.97(A)
Corriente secundaria	63(A)

Ensayo de circuito abierto o de vacío.

Los datos a encontrar en el ensayo o prueba de circuito abierto son los siguientes:

- Potencia en vacío que esta será medida en W(wats), que es la unidad de medida según el sistema internacional. Esta potencia será con la cual trabaja nuestra máquina estática no teniendo carga.
- Corriente de vacío su unidad de medida A(ampers), según el sistema internacional. La corriente de vacío será la corriente que circula en nuestra máquina estática siendo está sometida a trabajar sin carga alguna.
- Voltaje de vacío su unidad de medida el V(volt), según nos indica el sistema internacional. El voltaje de vacío será la tensión con la que puede trabajar la máquina estática sin tener a dañarse.

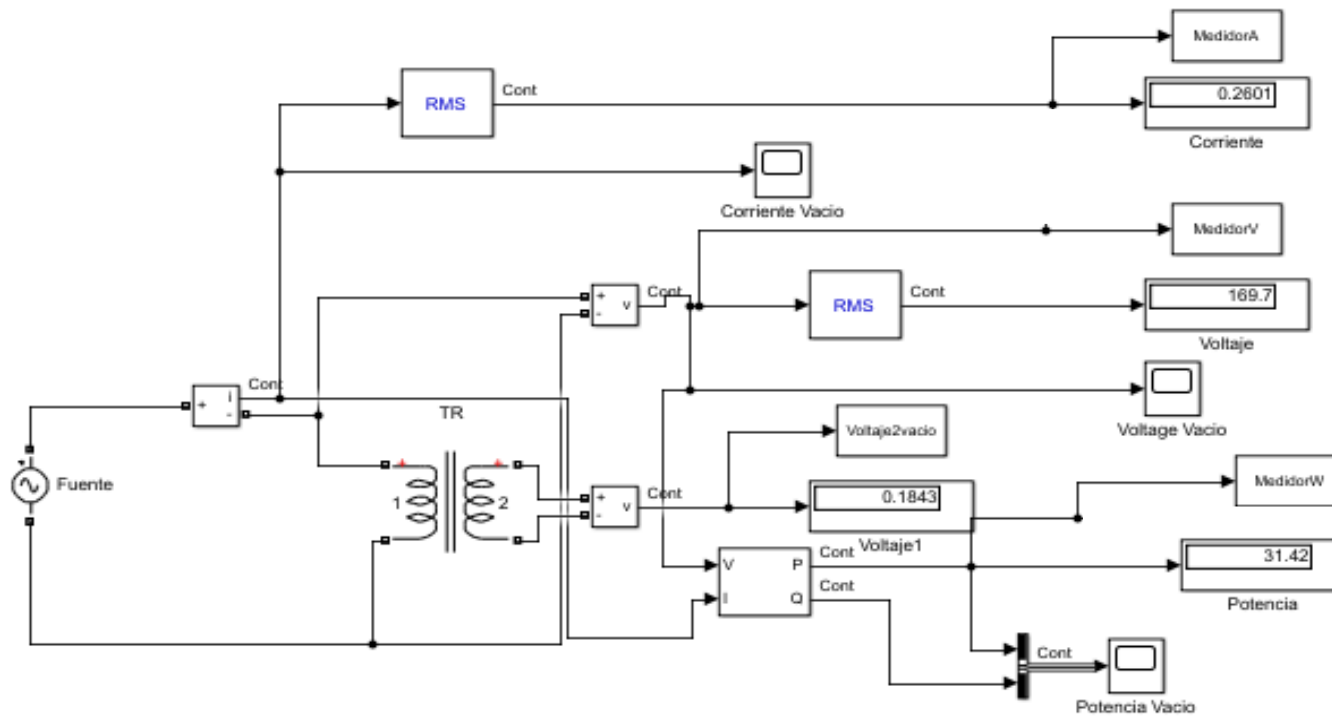
A continuación en la tabla 5.2 se muestra los datos que se obtuvieron de la figura 5.1 que son los datos respectivos del ensayo de vacío.

**Tabla 5.2.** Datos de la prueba de vacío en el transformador monofásico.

Potencia en vacío	62,84 W
Corriente en vacío	0,3678 A
Voltaje en vacío	240 V

El diagrama empleado para la simulación del ensayo de vacío en el cual podemos diferencia con claridad su corriente de vacío, su voltaje de vacío y su potencia de vacío respectivamente es el diagrama que se encuentra en la figura 5.1 que fue realizado en simulink.

La ventana de interacción se encuentra en la figura 5.2 en dicha ventana el usuario tendrá acceso para ingresar los datos técnicos del transformador, dicha ventana es realizada en GUIDE.



*Figura 5.2. Diagrama de la simulación del ensayo de vacío en el transformador monofásico en simulink.*

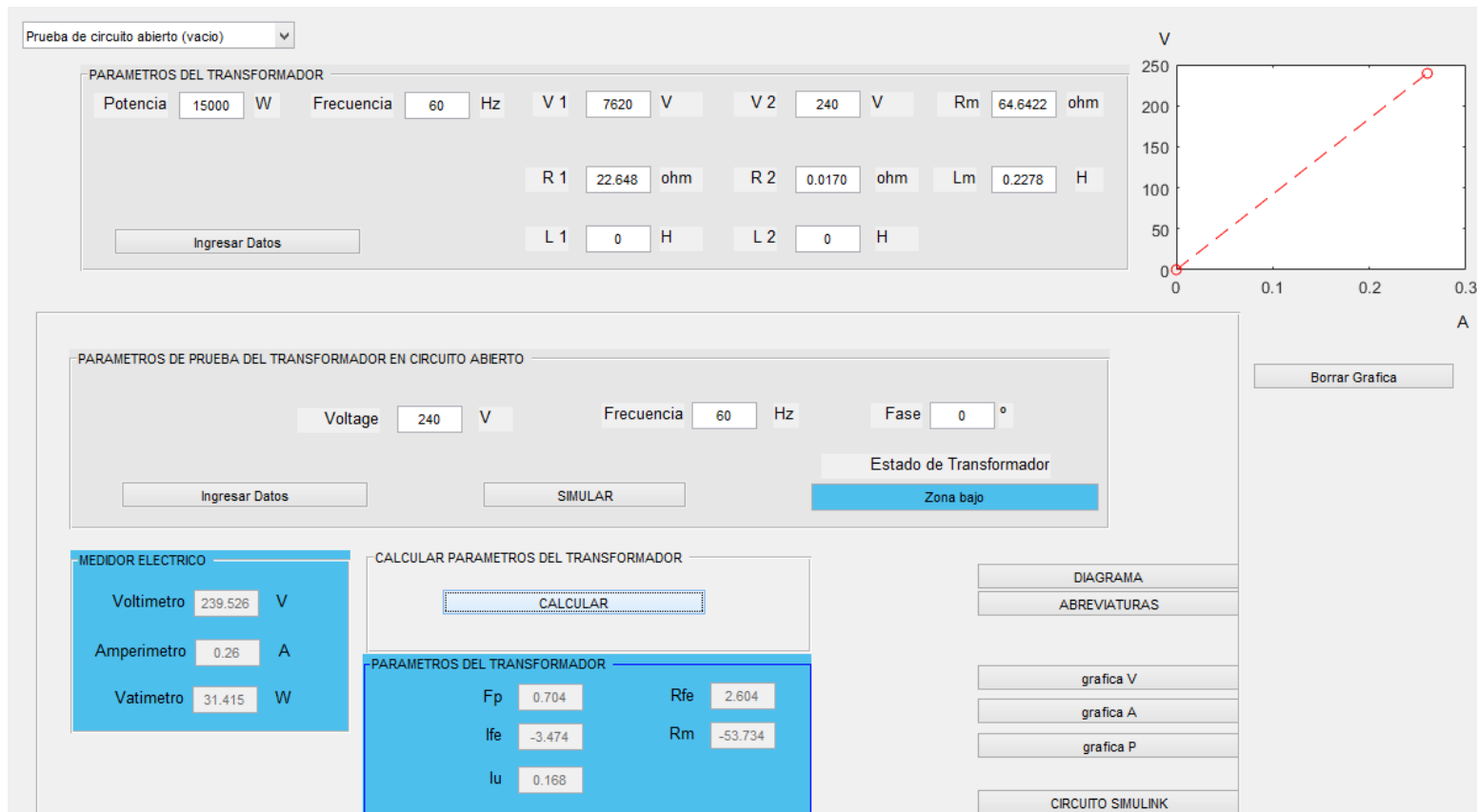
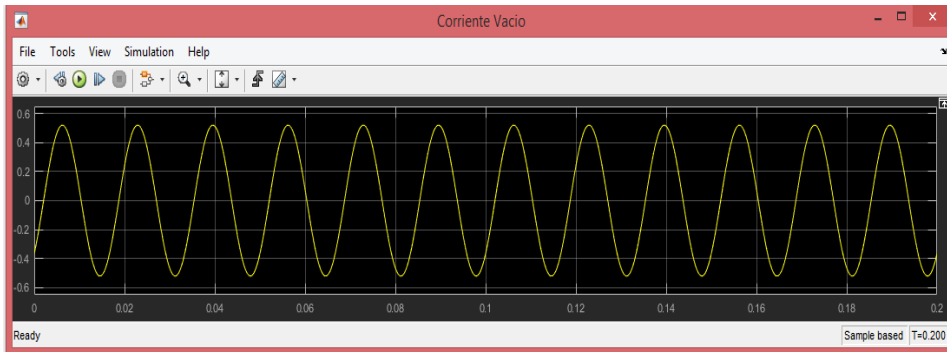


Figura 5.3. Ventana de simulación del ensayo de vacío en el transformador monofásico en GUIDE.

Mediante la simulación del ensayo de vacío es posible obtener las formas de ondas de la corriente de vacío la cual se la obtiene directamente de la venta de GUIDE, como además la forma de onda del voltaje y potencia de vacío correspondiente a la simulación.

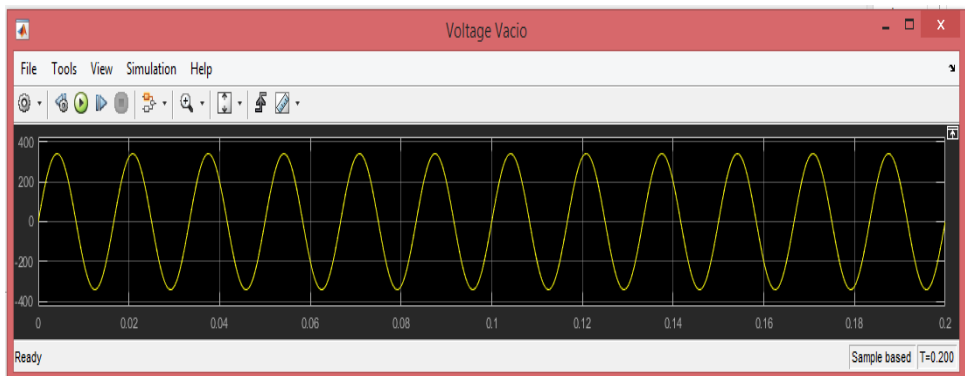
Como resultado obtenemos las siguientes gráficas representativas de cada uno de sus parámetros característicos del ensayo de vacío y su forma de onda.

f) Corriente (Amperímetro).



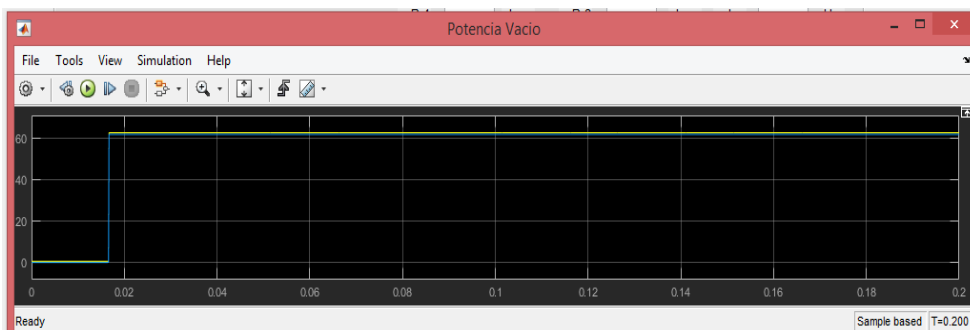
*Figura 5.4. Onda de corriente del ensayo de vacío en el transformador monofásico.*

g) Voltaje (Voltímetro) color amarillo.



*Figura 5.5. Onda del voltaje del ensayo de vacío en el transformador monofásico.*

h) Potencia (Watímetro) color celeste



*Figura 5.6. Onda de la potencia del ensayo de vacío del transformador monofásico línea amarilla es la potencia activa, línea azul potencia reactiva.*

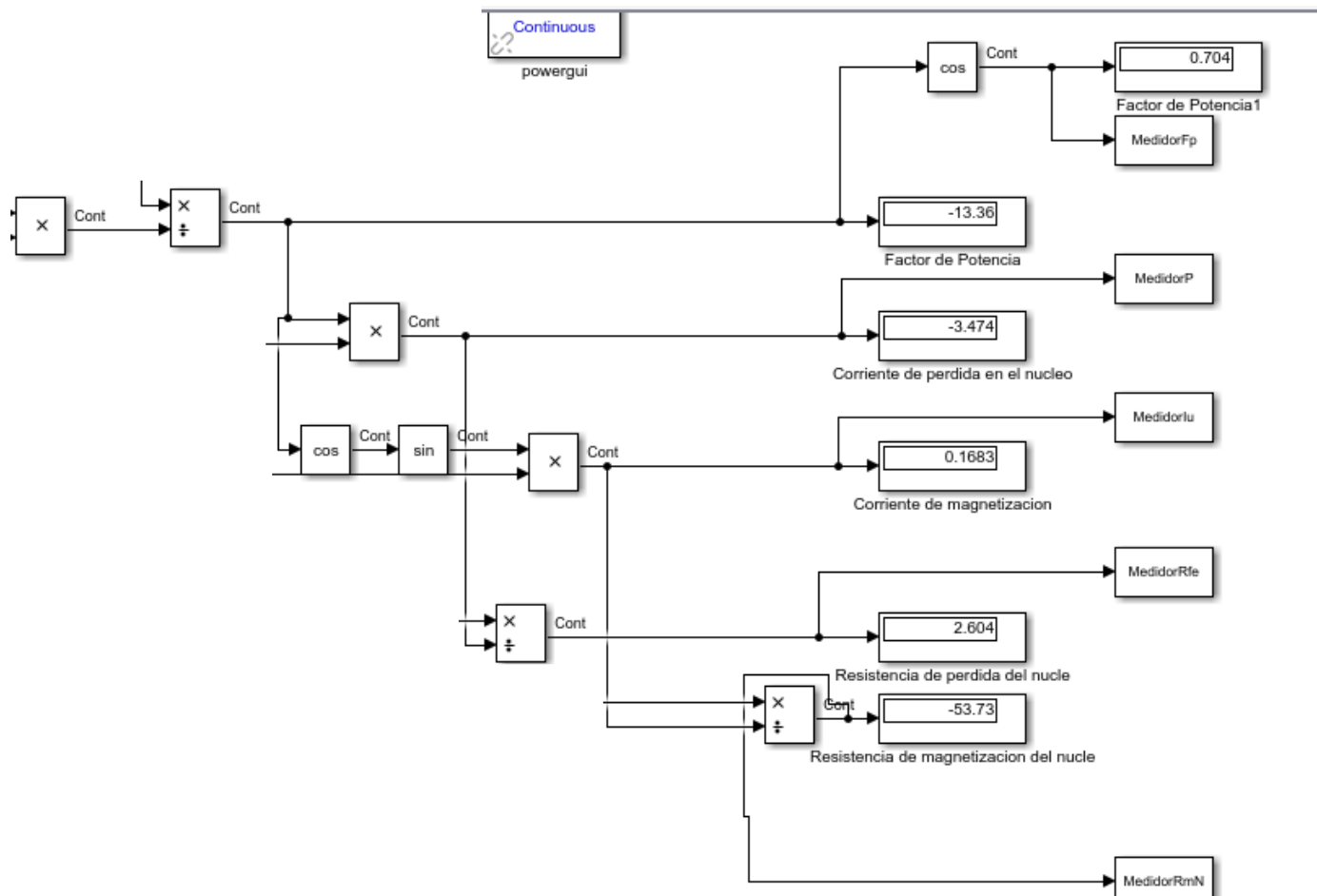


Además de la respectiva simulación del ensayo y sus resultados además podemos obtener un programa que permita observar y determinar los cálculos restantes como los parámetros que intervienen en el ensayo de vacío.

Ya una vez obtenidos los datos del ensayo de vacío en el transformador monofásico podemos obtener los siguientes cálculos de los parámetros eléctricos.

Tales como:

1. Factor de potencia.
2. Corriente de pérdida en el núcleo.
3. Corriente de magnetización.
4. Resistencia de pérdida en el núcleo.
5. Reactancia de magnetización del núcleo.



*Figura 5.7. Diagrama de los parámetros eléctricos del transformador en vacío.*

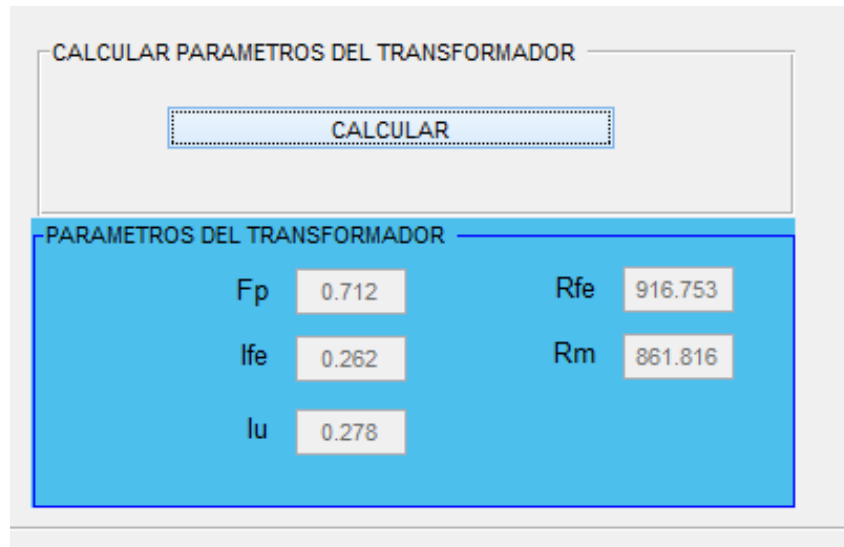


Figura 5.8. Resultados de los parámetros eléctricos del ensayo de vacío en la venta de GUIDE.

#### 5.4.1 Gráfica de la prueba de vacío

La gráfica característica de la prueba de vacío o ensayo de vacío es la gráfica que se encuentra en la figura 5.9 que se grafica mediante el voltaje de vacío y la corriente de vacío dicha onda es creciente debido a la toma de mediciones simultaneas que se realiza por medio de los aparatos correspondiente que son el voltímetro y amperímetro.

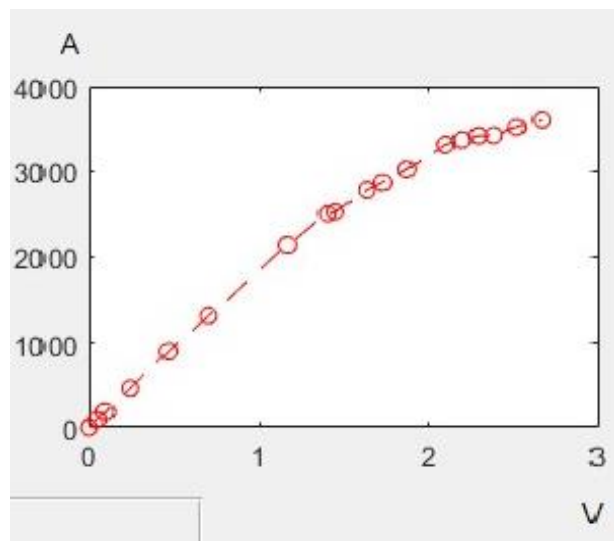


Figura 5.9. Gráfica característica del ensayo de vacío.

#### 5.4.2 Ventana con mensaje de prevención en vacío

En la gráfica 5.10 podemos observar un mensaje el cual nos da una recomendación que es la de ingresar datos correctos de la hoja de protocolo del fabricante del transformador a realizar los ensayos.

### 5.5 Ensayo en cortocircuito del transformador monofásico

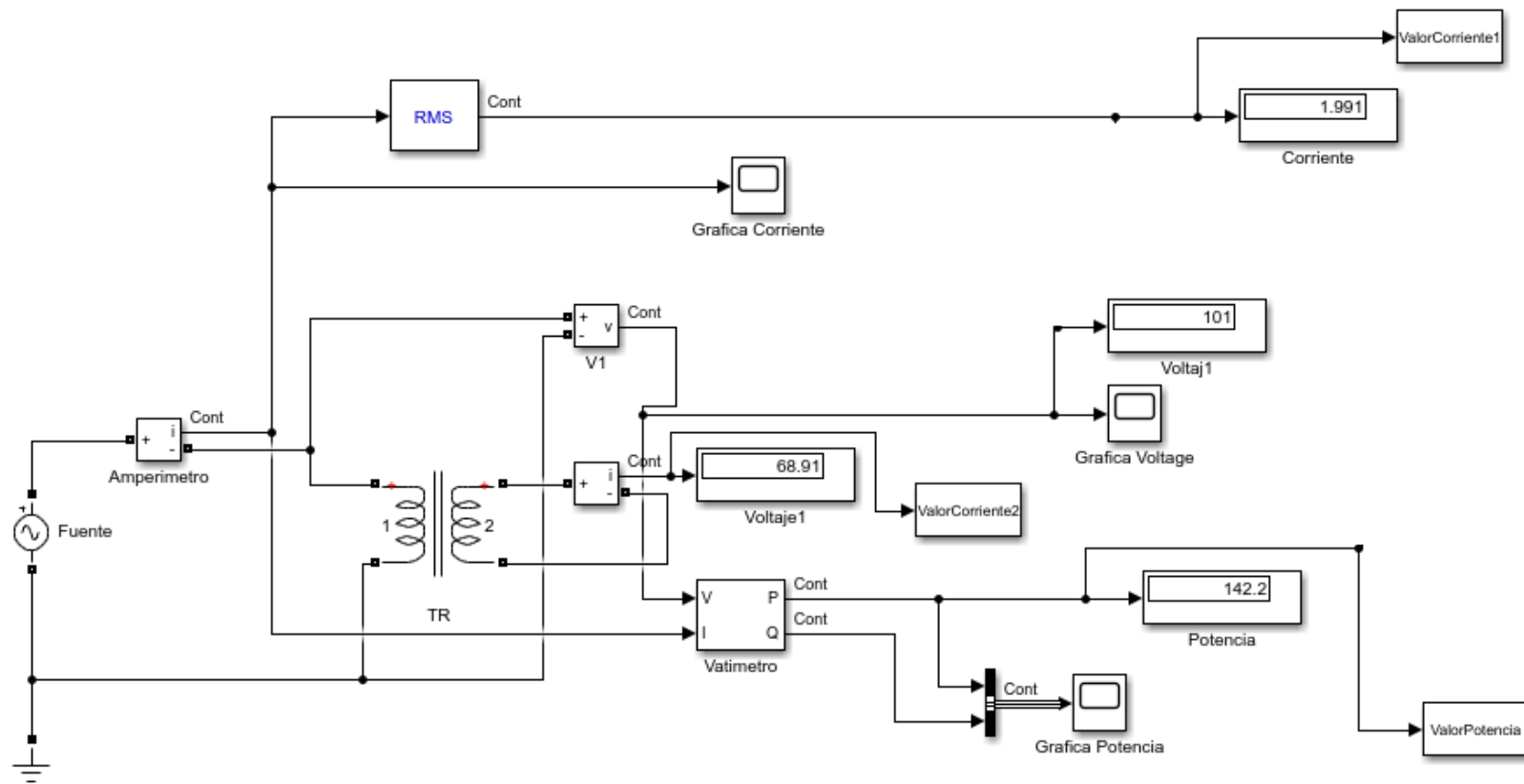
En el ensayo de cortocircuito los principales datos a obtener son su corriente de cortocircuito, el voltaje de cortocircuito y la potencia de cortocircuito, que gracias a este posterior realizaremos cálculos adicionales como su resistencia de cortocircuito, la reactancia de cortocircuito y la impedancia de cortocircuito.

Los datos utilizados para realizar el ensayo de cortocircuito son respectivamente los que el fabricante facilita en su hoja técnica.

**Tabla 5.3.** Datos de la prueba de vacío en el transformador monofásico.

Potencia de cortocircuito	142.2 W
Corriente de cortocircuito	1.991 A
Voltaje de cortocircuito	101 V

El diagrama empleado para la simulación del ensayo de cortocircuito, en el cual se logra observar con facilidad su voltaje respectivo al ensayo, su corriente, y su potencia es la figura.



*Figura 5.10. Diagrama de simulación del ensayo de cortocircuito del transformador monofásico en simulink.*

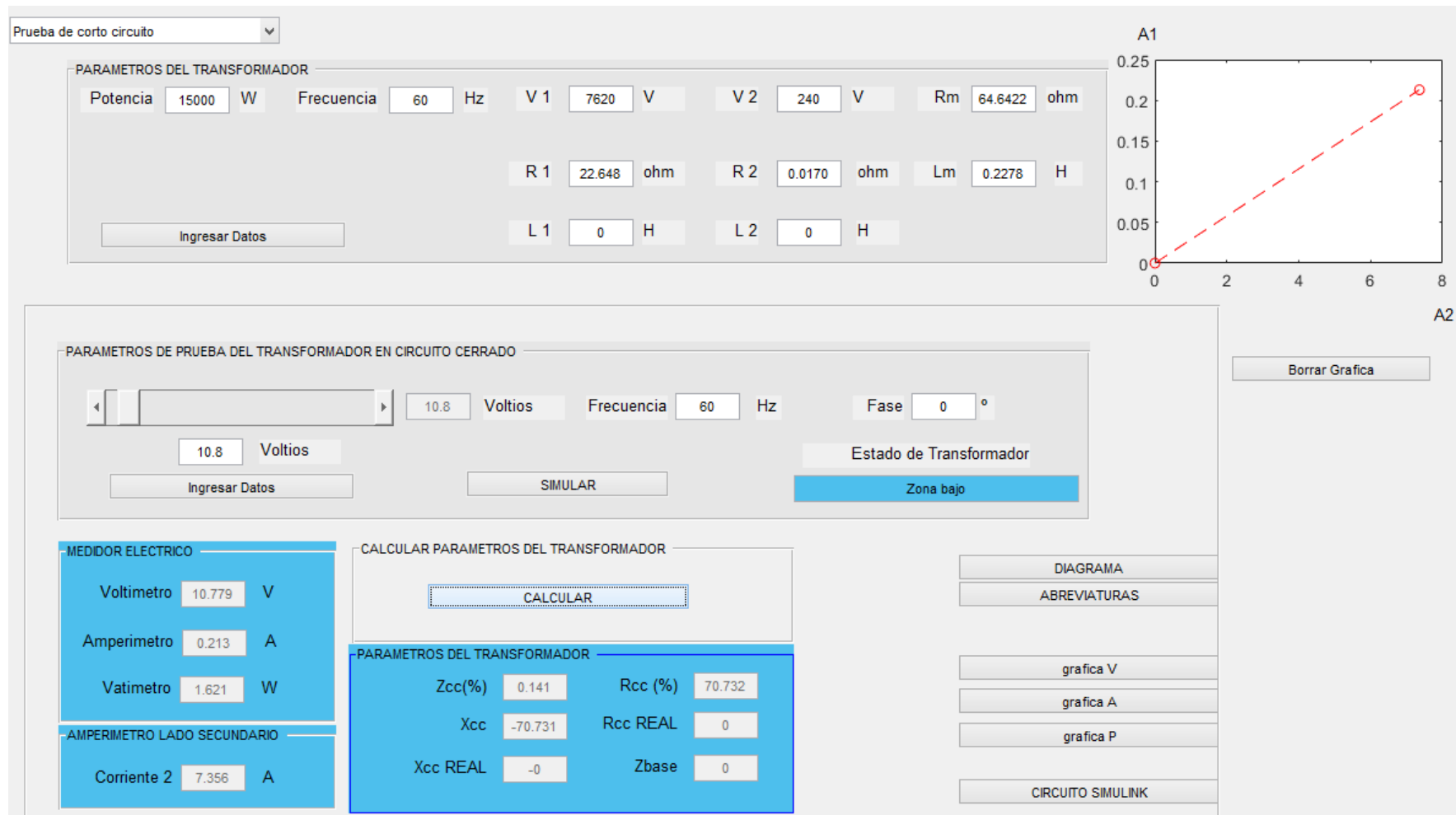


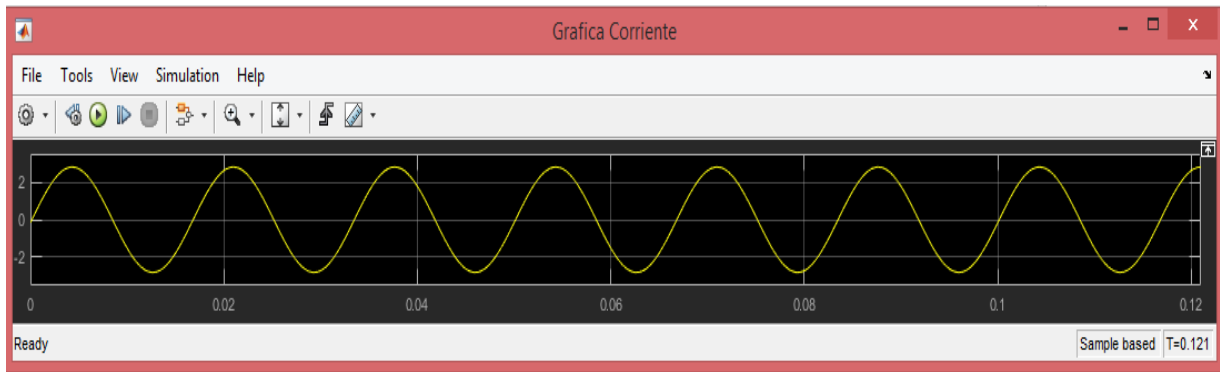
Figura 5.11. Ventana de simulación del ensayo de cortocircuito del transformador monofásico en GUIDE.

Mediante la simulación del ensayo de cortocircuito es posible obtener las formas de ondas de cada parámetro correspondiente y de cómo es su comportamiento respectivo:

1. Corriente de cortocircuito.
2. El voltaje de cortocircuito.
3. La potencia de cortocircuito.

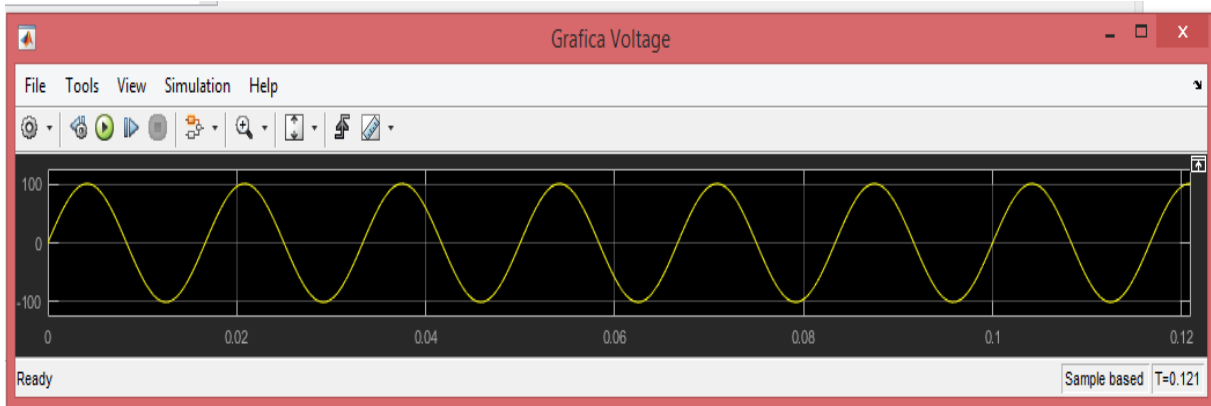
Como resultado tenemos las siguientes gráficas.

1. Corriente (Amperímetro) color verde



**Figura 5.12.** Onda de la corriente del ensayo de cortocircuito en el transformador monofásico.

2. Voltaje de cortocircuito (Voltímetro).



**Figura 5.13.** Onda del voltaje del ensayo de cortocircuito en el transformador monofásico.

3. Potencia de cortocircuito (Watímetro).



**Figura 5.14.** Onda de la potencia del ensayo de cortocircuito en el transformador monofásico.

Además de la respectiva simulación del ensayo y sus respectivos resultados, podemos obtener un programa que permita observar y determinar los 40 cálculos restantes como los parámetros que intervienen en las pruebas de cortocircuito.

Ya una vez obtenidos los datos del ensayo de cortocircuito en el transformador monofásico podemos obtener los siguientes cálculos de los parámetros eléctricos.

Tales como:

- Impedancia de cortocircuito.
- Resistencia de cortocircuito.
- Reactancia de cortocircuito.
- Impedancia base de cortocircuito.
- Resistencia base de cortocircuito.
- Resistencia de pérdida del núcleo base.



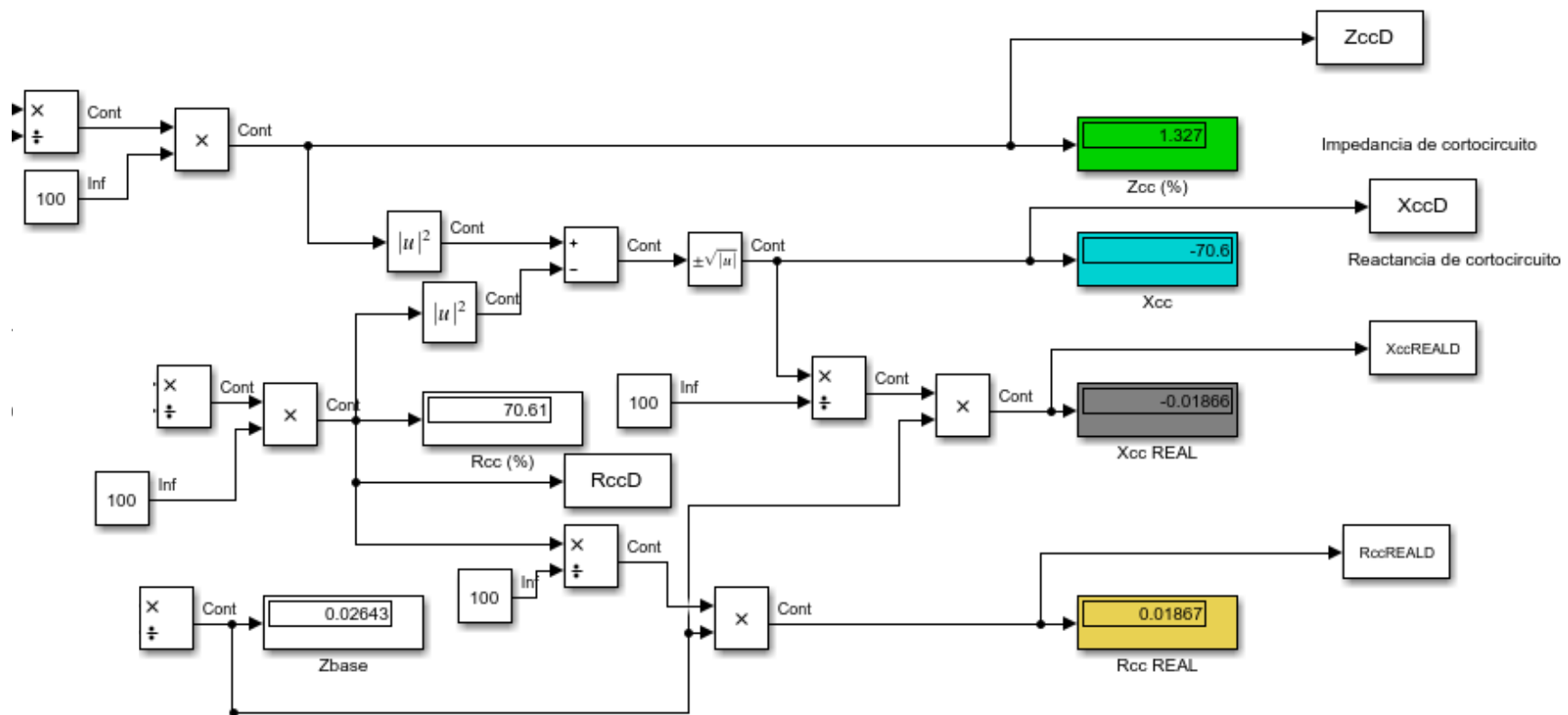


Figura 5.15. Diagrama de simulación de los parámetros del transformador en simulink.



Figura 5.16. Resultados de los parámetros eléctricos del ensayo de cortocircuito en la venta de GUIDE.

### 5.5.1 Gráfica de ensayo de cortocircuito

La Gráfica característica del ensayo de cortocircuito se la obtiene mediante la corriente 1 y la corriente 2 que se las toman cada que se incrementa su voltaje en la prueba.

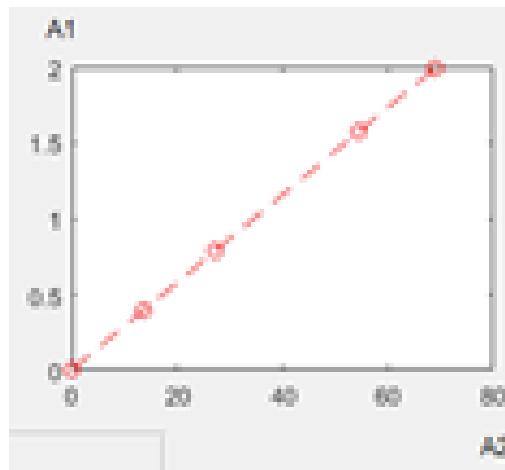


Figura 5.17. Gráfica característica del ensayo de cortocircuito.

#### 5.5.1.1 Ventana con mensaje de prevención en cortocircuito

En la gráfica 5.18 podemos observar un mensaje el cual nos da una recomendación que es la de ingresar datos correctos de la hoja de protocolo del fabricante del transformador a realizar los ensayos.

## **5.6 Comparación de resultados**

Las mediciones de las pruebas eléctricas ayudan a tener un mejor criterio y visión real del verdadero funcionamiento de las máquinas eléctricas estáticas y equipos eléctricos, con él se contribuye al mejor y buen funcionamiento en trabajos, con su respectivo proceso de trabajo así ayudando a poder optimizar los procesos, productivos, ahorro de energía y aprovechamiento en la vida útil de estos equipos.

El tener un modelo y un patrón mediante la simulación contribuye en gran medida la realización de los ensayos eléctricos únicamente con sus respectivos datos de placa de los equipos eléctricos con sus características técnicas, esto contribuye con gran medida al estudio en los parámetros eléctricos de las máquinas estáticas y equipos. A continuación se procede a presentar comparaciones con resultados del proceso de simulación mediante una computadora y las pruebas realizadas hechas al transformador.

Cabe recalcar que los datos tomados o resultados utilizados son dados por la empresa a través de una hoja o ficha técnica en la cual están descritos cada parámetro respectivamente con su unidad de medida basada en el sistema internacional.

## **5.7 Comparaciones**

Los datos característicos del transformador monofásico son:

15 KVA, Potencia nominal.

7620 V: Voltaje primario

240/120 V: Voltaje secundario.

Con las mediciones tomadas de la simulación y las medidas del laboratorio de la Industria de transformadores (Inatra S.A), fabricante del transformador, usaremos su respectiva hoja de prueba de protocolo para la respectiva comparación.

La comparación se realizara en base a las medidas obtenidas en las pruebas de protocolo y entre la simulación, de esta manera compararemos los porcentajes de erros en cada una de ellas y veremos cuan eficaz es la simulación.

Ecuaciones que se usara para calcular el porcentaje de error es la siguiente fórmula:

### **5.7.1 Ensayos al transformador monofásico a comparar**

Los ensayos realizados son los ensayos de vacío o circuito abierto y ensayo de cortocircuito.

### **5.7.2 Ensayo de vacío o de circuito abierto.**

En la figura 5.4 se muestra los datos que se han obtenido del transformador monofásico de empresa Inatra, los datos están especificados en la hoja técnica entregada por dicha empresa la cual se la puede encontrar en los anexos.

Los datos siguientes son específicamente al ensayo de vacío del transformador monofásico.

**Tabla 5.4.** Datos de la prueba de vacío en el transformador monofásico realizados por la fábrica.

Potencia en vacío	62.8 W
Corriente en vacío	0.377 A
Voltaje en vacío	240 V

Simulación.\_ Los datos especificados en la tabla siguiente 5.5 son los datos obtenidos mediante la simulación en el programa MATLAB, los cuáles se obtienen gracias a datos especificados en la hoja técnica del transformador monofásico, los siguientes datos solo conlleva al ensayo de vacío.

**Tabla 5.5.** Datos de la prueba de vacío en el transformador monofásico de la simulación.

Potencia en vacío	62,831 W
Corriente en vacío	0,368 A
Voltaje en vacío	240 V

### 5.7.2.1 Comparación del ensayo de vacío

a) Potencia de vacío.

Datos:

$$P_1 = 62.8 \text{ W.}$$

$$P_2 = 62.831 \text{ W.}$$

$$\epsilon = \left( \frac{62.8 - 62.831}{62.831} \right) * 100\%$$

$$\epsilon = 0.06 \%$$

El error obtenido en la potencia de cortocircuito es de un 0.06% lo cual no indica que no hay mucha variación entre los datos simulados y los proporcionados por la empresa. Lo cual nos conlleva a decir que la simulación es muy eficiente en este cálculo.

a) Corriente de vacío.

Datos:

$$I_1 = 0.377 \text{ A.}$$

$$I_2 = 0.368 \text{ A.}$$

$$\epsilon = \left( \frac{0.377 - 0.368}{0.368} \right) * 100\%$$

$$\epsilon = 2.5 \%$$

El error obtenido en la comparación del voltaje de vacío entre la simulación y el datos de fábrica nos da un error de 2.5% lo cual conlleva a ver y decir que la simulación tiene un error no muy significativo y se puede manejar un porcentaje tan bajo de error en futuras prácticas de ensayos de transformadores.

b) Voltaje de vacío.

Datos:

$$V_1 = 240 \text{ V.}$$

$$V_2 = 240 \text{ V.}$$

$$\epsilon = \left( \frac{240 - 240}{2040} \right) * 100\%$$

$$\epsilon = 0 \%$$

No hay error porque el voltaje de vacío es el voltaje nominal que circula por el secundario lo que nos conlleva que en la simulación como en el laboratorio tendremos el mismo valor de voltaje.

c) Error total.

$$P = 0.06\%$$

$$I = 2.5\%$$

$$V = 0\%$$

$$E_T = \left( \frac{0.06 + 2.5 + 0}{3} \right)$$

$$E_T = 0.85\%$$

El error de 0.85% es el error total que nos da entre simulación y los datos de la empresa Inatra en el ensayo de vacío lo cual implica que con un porcentaje de error de 0.85% es manejable, se lo puedo ocupar en prácticas posteriores enfocadas en la materia de

máquinas eléctricas específicamente a máquinas eléctricas estáticas “transformadores” y se puede ocupar al programa sin problemas en lo que es a tener un gran margen de error o diferencia en los resultados entre una simulación y una toma de mediciones del transformador monofásico físico.

En comparación entre realizar el ensayo en el simulador y una práctica real con el instrumento físico viendo el costo y el tiempo que se perdería al conectar la máquina eléctrica estática un error de 0.85 se lo puede manejar sin problemas.

### 5.7.3 Ensayo de cortocircuito

Pruebas de Fábrica.\_ En la tabla 5.6 se muestra los datos que se han obtenido del transformador monofásico de empresa Inatra, los datos están especificados en la hoja técnica entregada por dicha empresa la cual se la puede encontrar en los anexos.

Los datos siguientes son específicamente al ensayo de cortocircuito del transformador monofásico.

**Tabla 5.6.** Datos de la prueba de cortocircuito en el transformador monofásico realizado por la fábrica.

Potencia de cortocircuito	158.37 W
Corriente de cortocircuito	1.969 A
Voltaje de cortocircuito	101.18 V

Simulación.\_ Los datos especificados en la tabla siguiente 5.7 son los datos obtenidos mediante la simulación en el programa MATLAB, los cuales se obtienen gracias a datos especificados en la hoja técnica del transformador monofásico, los siguientes datos solo conlleva al ensayo de cortocircuito.

**Tabla 5.7.** Datos de la prueba de cortocircuito en el transformador monofásico de la simulación.

Potencia de cortocircuito	142.2 W
Corriente de cortocircuito	1.991 A
Voltaje de cortocircuito	101 V

### 5.7.3.1 Comparación del ensayo de cortocircuito

a) Potencia de cortocircuitó.

Datos:

$$P_1 = 158.37 \text{ W.}$$

$$P_2 = 142.2 \text{ W.}$$

$$\epsilon = \left( \frac{158.37 - 142.2}{142.2} \right) * 100\%$$

$$\epsilon = 11.37 \%$$

El error obtenido en la potencia de cortocircuito es de un 11.37% lo cual nos conlleva a una relación entre ver si el docente a cargo permite trabajar con ese porcentaje de error o no para el uso de este dato en posteriores ejercicios.

b) Corriente de cortocircuito.

Datos:

$$I_1 = 1.969 \text{ A}$$

$$I_2 = 1.991 \text{ A.}$$

$$\epsilon = \left( \frac{1.969 - 1.991}{1.991} \right) * 100\%$$

$$\epsilon = 1.10 \%$$

El error en la corriente de cortocircuito es de 1.10% es un porcentaje bajo y que se lo puede usar.

c) Voltaje de cortocircuito.

Datos:

$$V_1 = 101.18 \text{ V.}$$

$$V_2 = 101 \text{ V.}$$

$$\epsilon = \left( \frac{101.18 - 101}{101} \right) * 100\%$$

$$\epsilon = 0.17 \%$$

El error obtenido en el voltaje de cortocircuito es de un 0.17% es bajo y con ese porcentaje se lo puedo ocupar para posteriores cálculos o en lo que se lo pueda usar a este dato.

d) Error total.

$$P=11.37\%$$

$$I= 1.10\%$$

$$V=0.17\%$$

$$E_T = \left( \frac{11.37 + 1.10 + 0.17}{3} \right)$$

$$E_T = 4.21\%$$

El error total obtenido es de un 4.21% lo cual es bueno si se puede comparar lo que cuesta la adquisición de un transformador monofásico y en esta crisis no es algo en lo cual la Universidad pueda gastar su presupuesto, para eso la opción más viable es el usar este software con el programa para simular los ensayos.

## 6 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

En esta sección, se estimará los gastos producidos por el proyecto, en estos influirá los costos directos e indirectos, para posteriormente realizar el análisis de impacto, donde se evaluará la factibilidad del proyecto y su acción para solucionar el problema.

### 6.1 Presupuesto

En este apartador se evaluará los gastos producidos que interviene en la realización del proyecto.

#### 6.1.1 Gastos directos

Como se puede observar en la tabla 6.1 se puede apreciar los gastos directos con su valor total.

**Tabla 6.1.**Total de los costos directos.

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>V. Total</b>
Laptop (4GB DDR4, 1TB de almacenamiento )	1	600.00	600.00
Total			600.00



### 6.1.2 Gastos indirectos

El total de los costos indirectos se lo muestra en la tabla 6.2.

**Tabla 6.2.**Total de los costos indirectos.

Cantidad	Descripción	V. Unitario	V. Total
24(horas)	Investigación internet.	0.80	19.00
1	Material bibliográfico	10.00	10.00
2	Transporte	10.00	20.00
1	Impresión del documento.	10.00	10.00
Total			59.00

Costos totales

Los costos totales es la suma de los costos directos más los costos indirectos.

**Tabla 6.3.**Total de los costos.

Costos directos	600.00
Costos indirectos	59.00
total	659.00

## 6.2 Análisis de impactos

### 6.2.1 Impacto práctico

La aplicación para los ensayos en los transformadores monofásicos, es una herramienta digital que realiza los ensayos de forma automática sin tener que conectar físicamente el transformador, con eso no tener el riesgo de quemar o dañar la máquina eléctrica estática, además de no ser necesario tener la máquina para realizar los ensayos ya que solo con los datos técnicos se podrá realizar los ensayos y los cálculos de sus respectivos parámetros.

En tal sentido con la manipulación de esta aplicación, sin la necesidad de los aparatos eléctricos (voltímetro, amperímetro, vatímetro), se podrá tener los valores del respectivo ensayo, bajo una comparativa es más fácil realizar el ensayo en la aplicación que en un transformador físico y así genera menor tiempo en esta práctica.

### 6.2.2 Impacto simbólico

El diseño de la aplicación para los ensayos en vacío y cortocircuito del transformador, simboliza un crecimiento en utilizar software para el apoyo de los docentes y permite la aplicación de conocimientos fundamentales y el desarrollo en las habilidades.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

- La correcta recopilación de información de citas bibliográficas es importante para tener claro cómo funciona nuestra aplicación de ensayos de vacío y cortocircuito en transformadores monofásicos y los beneficios de usar correctamente el programa.
- La interfaz dentro del software MATLAB llamada GUIDE es de gran manejo para conocer las curvas características de cada ensayo, además de ser muy llamativa, amigable y didáctica para fines prácticos en el ámbito estudiantil, claramente se puede observar el comportamiento de cada gráfica, siendo en cortocircuito de manera lineal y en vacío lineal hasta cierto punto, dependiendo del material que esté compuesto dicho transformador hasta que se sature y cambie la forma de la gráfica tal y como indican los textos.
- La simulación del software se la realiza con datos del transformador de la Empresa Inatra, su potencia nominal de 15 KVA, voltaje primario 7620 V y voltaje secundario de 240/120V, teniendo así resultados en el software con pequeños errores en, potencia de vacío de 0.06%, corriente de vacío 2.5%, voltaje de vacío de 0%, potencia de cortocircuito 11.37%, corriente de cortocircuito 1.10% y el voltaje de cortocircuito del 0.17%.
- Los resultados de los datos permite ver la confiabilidad del programa para obtener datos similares a los de la Empresa Inatra, con un bajo margen de error siendo así en vacío de 0.85% y en cortocircuito de 4,21%.
- Las pruebas realizadas permitieron validar el diseño de la aplicación para los ensayos de vacío y cortocircuito, además de que el estudiante no tiene riesgo de estar expuesto a valores de tensiones elevadas.

## 7.2 Recomendaciones

- La utilización del software de simulación aporta de gran manera al estudio y al análisis del comportamiento en los parámetros eléctricos de los transformadores monofásicos, por lo que sería de gran manera que se siga impulsando la investigación de temas similares para poder así complementar en prácticas de laboratorio que aporta al proceso de aprendizaje.
- La aplicación de los ensayos está inmersa en variaciones de resultados dicho esto los valores de la simulación serán muy cercanos mas no exactos a los de la hoja técnica del fabricante, se recomienda usar con fines de estudio porque su variación es mínima.
- Para realizar las pruebas de cortocircuito y vacío es necesario contar con la ficha técnica para el ingreso de parámetros de dicho transformador, así garantizará que los resultados sean acorde a los datos de pruebas proporcionados por el fabricante.

## 8. REFERENCIAS

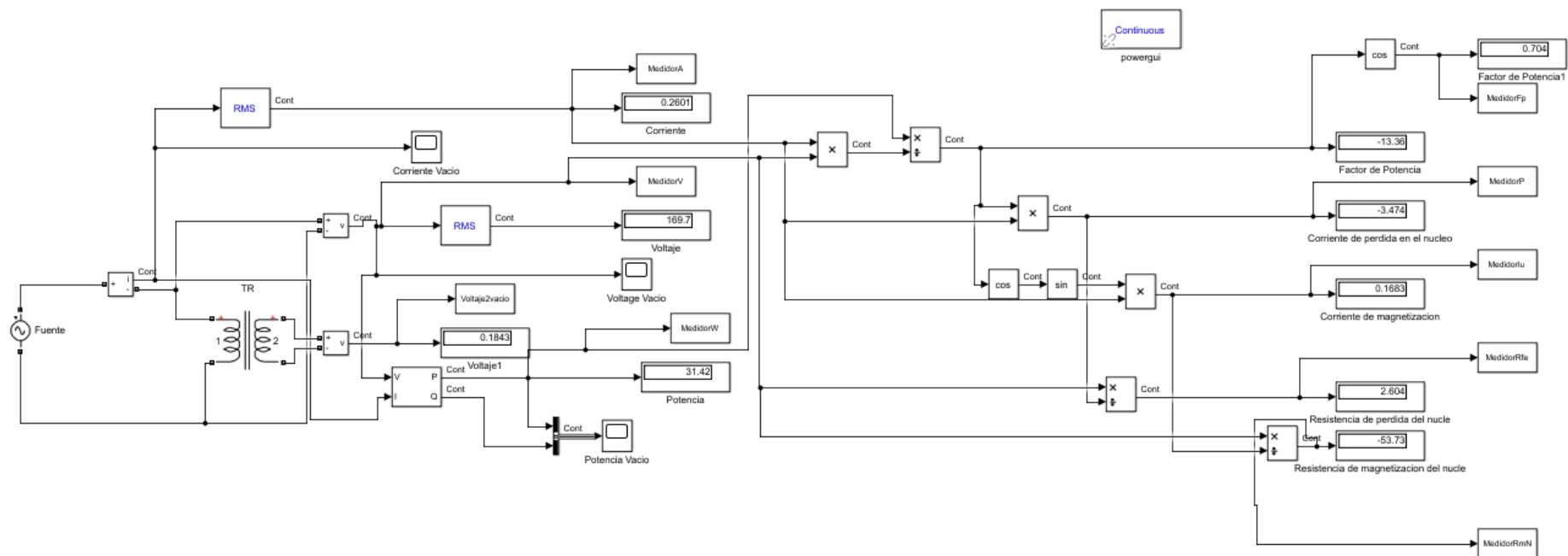
- [1] O. D. E. Sobrepresion, Y. R. Termica, P. D. E. Almacenamiento, and D. E. G. A. S. En, “Escuela Superior Politecnica Del Litoral Aprobación Del Docente-Tutor,” 2015.
- [2] C. Aleaga and J. Pablo, “Directory,” *Rev. Soc. Econ.*, vol. 3, no. 1, pp. 72–80, 1944, doi: 10.1080/00346764400000025.
- [3] J. Oliver, “TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN,” *Hilos Tensados*, vol. 1, no., pp. 1–476, 2019, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [4] M. Á. Pulido, *Transformadores: Cálculo fácil de transformadores y autotransformadores monofásicos y trifásicos de baja tensión*, Barcelona: Marcombo, 2009, 2009.
- [5] A. Fitzgerald, *MÁQUINAS ELÉCTRICAS SEXTA EDICIÓN*, Buenos Aires: Mc Graw Hill, 2004.
- [6] E. Ras Oliva, “Transformadores de potencia, medida y de proteccion- Enrique Ras.pdf.” p. 303, 1994, [Online]. Available: <https://dotorresg.files.wordpress.com/2011/12/transformadores-de-potencia-de-medida-y-de-proteccion.pdf>.
- [7] P. Krause, *ANALYSIS OF ELECTRIC MACHINERY AND DRIVE SYSTEMS*, CANADA: Mohamed E. EL-Hawary, 2013.
- [8] J. F. Mora, “Maquinas Electricas 5Ta Edicion By Jesus Fraile Mora.Pdf.” p. 769, 2003.
- [9] G. Amaral *et al.*, *No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title*, vol. 369, no. 1. 2013.
- [10] Alvarez Julio, “Introducción Transformador monofásico Transformador ideal en vacío,” *Transformadores*, pp. 1–38, 2009, [Online]. Available: [http://www4.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/electrotecnica\\_y\\_maquinas\\_electricas/apuntes/7\\_transformador.pdf](http://www4.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/electrotecnica_y_maquinas_electricas/apuntes/7_transformador.pdf).
- [11] Q. -Ecuador, “Instituto Ecuatoriano De Normalización,” 2004.
- [12] Robert L.Boylestad, *Introducción al análisis de circuitos*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [13] Q. -Ecuador, “Instituto Ecuatoriano De Normalización.”
- [14] www.mheducation.es, “Ensayo de transformadores Transformador en vacío,” [Online]. Available: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448141784.pdf>.
- [15] T. Transformadores, “Máquinas Eléctricas I - - - G862.”
- [16] D. P. C. C. L. E. Y. N. to K. in 20 Weeks, “濟無No Title No Title,” *Dk*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2015, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [17] A. M. M. da Silveira, “Transformadores,” *Neutro à Terra*, no. 8, 2011, doi:

10.26537/neutroaterra.v0i8.356.

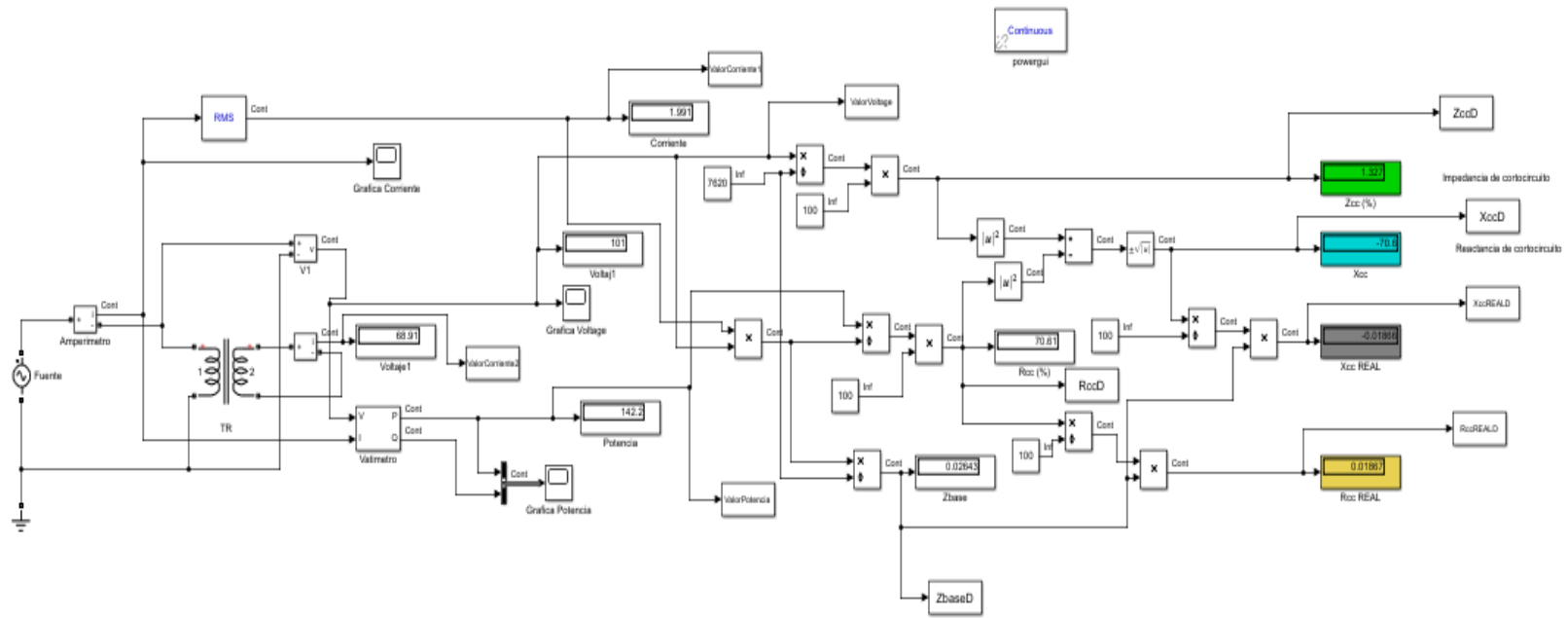
- [18] D. De Ingenier, A. Herreros, E. Baeyens, and D. E. I. I. Uva, ““ n en Matlab y Simulink Curso de Programaci o Alberto Herreros ( albher@eis.uva.es ) Enrique Baeyens ( enrbae@eis.uva.es ) Contenidos Contenidos,” 2013.
- [19] S. I. U. C. M, “Manual Básico De Matlab.”
- [20] C. Esto, “Programación en MATLAB,” pp. 157–200.
- [21] Holly Moore, “MATLAB ® para ingenieros Contenido,” p. 619, 2010, [Online]. Available: [http://dea.unsj.edu.ar/control2/matlab para ingenieros.pdf](http://dea.unsj.edu.ar/control2/matlab%20para%20ingenieros.pdf).
- [22] D. Baez-Lopez, “Simulink,” *MATLAB with Appl. to Eng. Phys. Financ.*, pp. 255–280, 2009, doi: 10.1201/b12337-9.
- [23] J. Aracil, “Introducción a Matlab y Simulink Introducción Componentes de Matlab,” *Matlab y Simulink*, pp. 1–24, 2007.
- [24] M. Vivanco, *Muestreo Estadístico Diseño y Aplicaciones*, Santiago de Chile: UNIVERSITARIA, S.A, 2005.
- [25] “MANUAL DE INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN MATLAB Parte I Autor: Diego Orlando Barragán Guerrero.”

# ANEXOS

Figura I.1 Diagrama completo del circuito del ensayo en vacío (monofásico)



**Figura II:** Diagrama completo de circuito del ensayo en corto circuito (monofásico).





## ANEXO III HOJA DE PROTOCOLO DEL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

Nuestros procesos son certificados por las normas  
**ISO 9001:2000**



Km. 10,5 Vía a Daule  
Urb. Los Virreyes  
Teléfono: 2110949  
Fax: 2110014  
E-mail: inatra@inatra.com  
www.inatra.com  
Guayaquil - Ecuador

### PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES

SERIE No:	010915140	TENSION PRIMARIA (V)	TENSION SECUNDARIA (V)	CONEXION	I 1 B
NORMAS:	INEN 2114	7620	240 /120	96 B.F. (KV)	63 A.T. (KV)
POTENCIA (KVA)	15	CORRIENTE PRIM. (AMP)	CORRIENTE SEC. (AMP)	30	95
TIPO:	En aceite	1,97	63	ALFURA: 1000 mm	FRIGERACION: 08 H.

N° FASES:	1	W0	W0	Wtot	% Io	% T0C	Refrigeración: OA
DATOS GARANTIZADOS	68	192	260	2,4	3	Aislamiento: AD	
85 °C	Watt	Watt	Watt				
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		TENSION APLICADA			TENSION INDUCIDA A 400 Hz		
Con Megger de 5000 Voltios		60 Hz			10 Seg.		
AT&BT	>2000	Megohm.	AT&BTyT	34	KV	VOLT:	400
BT&T	>2000	Megohm.				AMP:	5
AT&T	>2000	Megohm.	BT&ATyT	10	KV		
MEDIDA DE RESISTENCIAS TAP No:		3		CALCULO DE RESISTENCIAS POR FASE			
to		29,3 °C		to		29,3 °C	
A T		B T		to		85 °C	
R1-R2 (ohm)	22,648	Xo-X1 (ohm)	0,017	Rh (ohm)	22,648	Rh (ohm)	27,427
DEVANADOS EN COBRE				Rx (ohm)	0,0170000	Rx (ohm)	0,0205870
RELACION DE ESPIRAS TTR				RESULTAC. 85 °C		RENDIMIENTO 85 °C	
				100% de carga		100% de carga	
T A P	A			FP: 0.8	1,86	FP: 0.8	97,94
1	33,344			FP: 0.9	1,76	FP: 0.9	98,16
2	32,549			FP: 1	1,27	FP: 1	98,34
3	31,753						
4	30,957						
5	30,161						
PRUEBA SIN CARGA ( vacio )				CALCULO DE PERDIDAS E IMPEDANCIA			
Vc	Ic1		Wc	Vc	240	Voltios	
240	0,377		62,8	To	0,6	Amperios	
PRUEBA DE CORTO CIRCUITO A to				Wc (to)			
Vc	Ic1		Wc	Wc (to)	3	Vaticos	
101,18	1,969		158,37	Wc (tf)	190	Vaticos	
				% toc			
				Wtot			
				253 Vaticos			
PINTURA : gris		ACEITE TIPO: 2		RIGIDIZ DIELECTRICA ACEITE: 40 KV		PESO T: 158 Kg	
ESPESOR: 125 MICRAS		MARCA: REPSOL		METODO: D-877 A. S. T. M.		ACEITE: 44 Lt	

Observaciones:

Responsable Técnico:	DARWIN ARTEAGA	<b>inatra S.A.</b> 
Lugar y Fecha:	Guayaquil, 18 de febrero del 2009	



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## PRÁCTICA DE LABORATORIO LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
C: B-Q:E	J. PORRAS	J:PORRAS
FECHA:23-02-2021	FECHA:23-02-2021	FECHA: 23-02-2021

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECÁNICA	IELM 306	Máquinas Eléctricas

SIMULACIÓN	LABORATORIO:	Maquinas Eléctricas.	DURACIÓN (HORAS)
01	NOMBRE DE LA SIMULACION:	ENSAYO DE VACIO	1

1	OBJETIVO
	Simular el ensayo de vacío en el transformador monofásico siguiendo los pasos explicados a continuación.

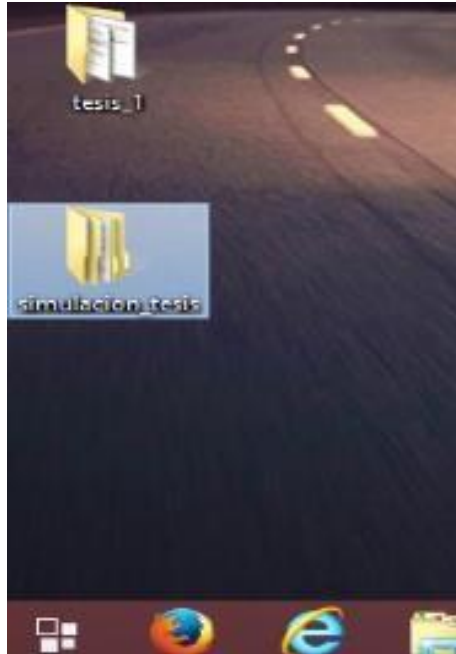
2	MANUAL PRACTICÓ
	<p><b>1. Introducción del manual práctico</b></p> <p>En este presente manual se podrá comprender los diferentes procedimientos que se deberá realizar dentro del control de la aplicación de los ensayos.</p> <p>Con la ayuda del software MATLAB y el respectivo conjunto de interfaz dentro del software es el que dará funcionamiento a la simulación.</p> <p>Es importante tener en cuenta el transformador a simular su respectivo ensayo ya que se necesita de datos técnicos y parámetros detallados.</p> <p>La interfaz GUIDE nos permite comunicarnos con el software, para así tener una interacción más didáctica.</p> <p><b>2. Alcance del manual</b></p> <p>El manual ofrece una explicación breve y de forma detallada cada paso que ayuda al estudiante a realizar la operación correcta de la aplicación.</p> <p><b>3. Objetivo general</b></p>

Realizar un manual práctico de procedimientos para la simulación de los ensayos de vacío y de cortocircuito.

## 1. Operación de la aplicación

### a) Inicío

Al ingresar a la pantalla principal de la maquina “computador” encontraremos una carpeta con el nombre de simulación-tesis, daremos clic en esa carpeta para ingresar.



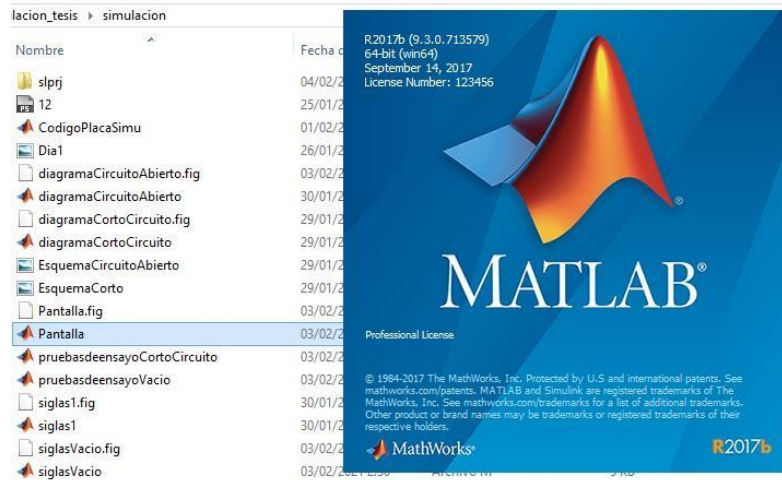
**Figura 1** Carpeta de ingreso para la simulación.

### a) Opciones

Entrar en la carpeta simulación-tesis encontraremos varias opciones en la cual vamos a la opción de pantalla y dando doble clic en esa opción nos ingresara al programa de MATLAB como se muestra en la figura 3.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
slprj	04/02/2021 9:04	Carpeta de archivos	
12	25/01/2021 10:28	Soporte PostScript...	19 KB
CodigoPlacaSimu	01/02/2021 17:25	Archivo M	1 KB
Dia1	26/01/2021 2:27	Imagen JPEG	60 KB
diagramaCircuitoAbierto.fig	03/02/2021 2:54	Archivo FIG	15 KB
diagramaCircuitoAbierto	30/01/2021 0:35	Archivo M	6 KB
diagramaCortoCircuito.fig	29/01/2021 14:33	Archivo FIG	18 KB
diagramaCortoCircuito	29/01/2021 14:33	Archivo M	5 KB
EsquemaCircuitoAbierto	29/01/2021 23:27	Imagen JPEG	49 KB
EsquemaCorto	29/01/2021 14:17	Imagen JPEG	66 KB
Pantalla.fig	03/02/2021 2:53	Archivo FIG	115 KB
Pantalla	03/02/2021 2:53	Archivo M	59 KB
pruebasdeensayoCortoCircuito		Archivo SLX	28 KB
pruebasdeensayoVacio		Archivo SLX	25 KB
siglas1.fig	30/01/2021 2:01	Archivo FIG	6 KB
siglas1	30/01/2021 2:01	Archivo M	5 KB
siglasVacio.fig	03/02/2021 2:30	Archivo FIG	6 KB
siglasVacio	03/02/2021 2:30	Archivo M	5 KB

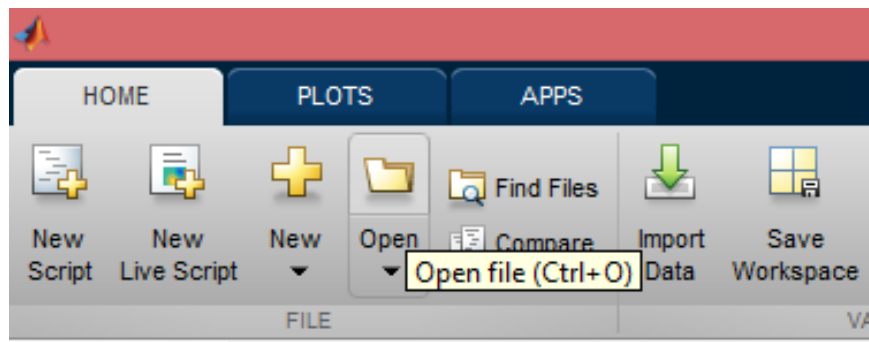
**Figura 2** opciones dentro de la carpeta simulación-tesis



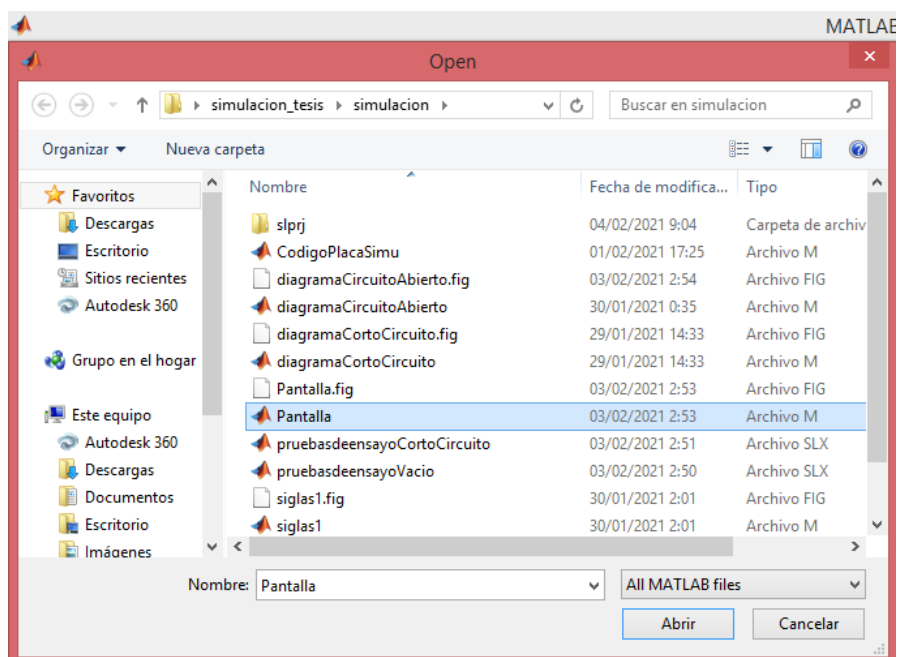
**Figura 3** Ingresó al programa.

a) Open

Ya una vez ingresado en el programa vamos a la opción de open que posterior abrirá una pestaña con varias opciones, en la cual elegiremos ventana.



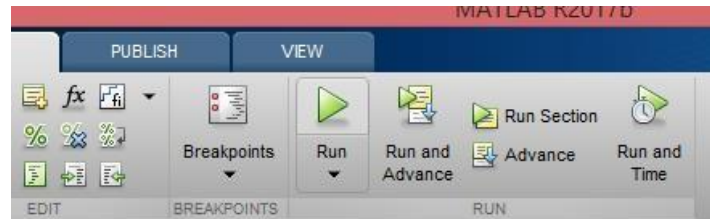
**Figura 4** Opción open.



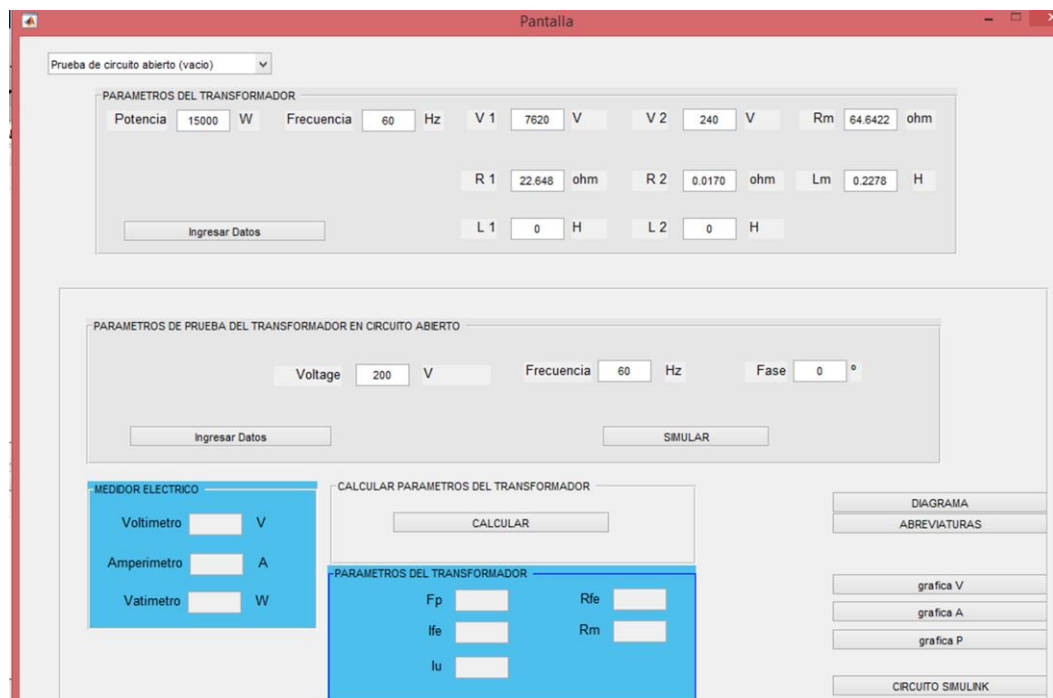
**Figura 5** Opción pantalla.

b) Run

Una vez ya ingresado vamos nuevamente a parte superior del software y clic en RUN que es la opción para iniciar la simulación, posterior se abrirá otra ventana con la simulación.



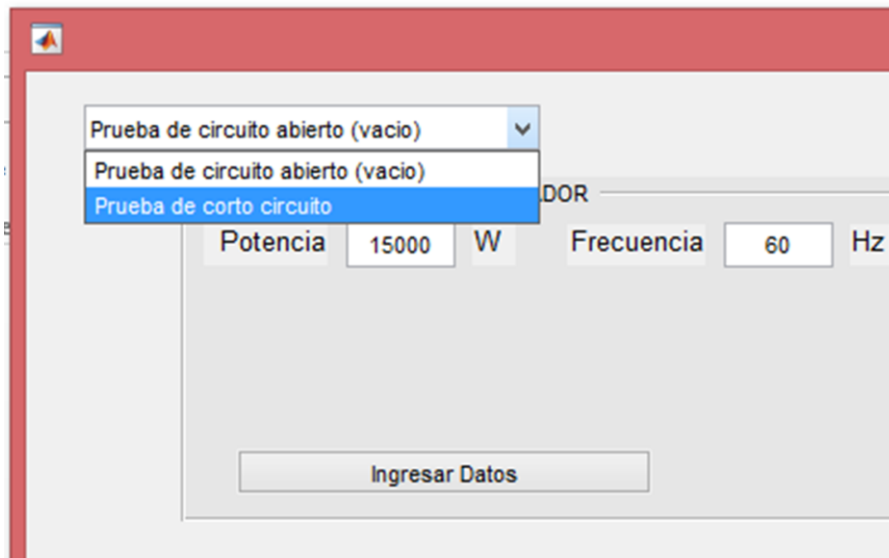
**Figura 6** Opción Run.



**Figura 7** Ventana principal para realizar las pruebas.

a) Elección de prueba

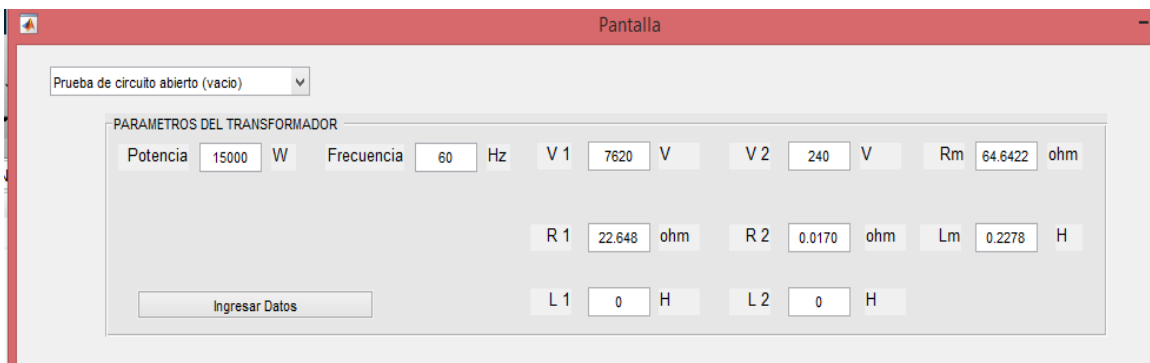
Dentro de la ventana principal se encuentra una opción la cual sirve para cambiar entre las dos respectivas pruebas que son de cortocircuito y de vacío.



**Figura 8** Elección de prueba a simular.

a) Ingreso de datos

Dentro de la ventana principal de la simulación hay varias opciones como el voltaje, resistencias, reactancia, las que son los datos característicos del transformador los cuales se los puede cambiar para realizar las pruebas en otro transformador monofásico.



**Figura 9** Ingreso de datos del transformador a simular.

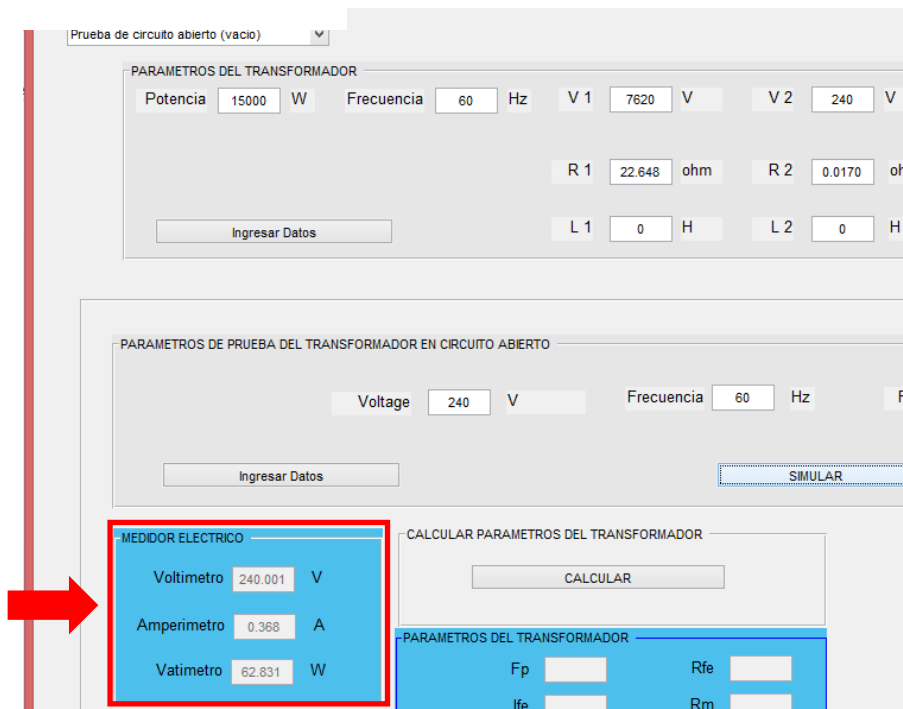
b) Prueba de vacío

Dentro de esta prueba tendremos varias opciones como son los parámetros del transformador y las respectivas lecturas del voltaje, corriente, potencia de vacío.

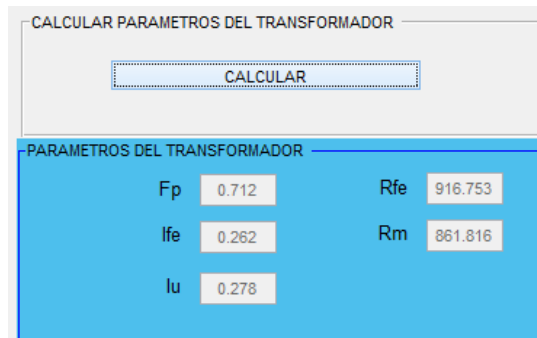
Para iniciar con la simulación damos clic en opción ingresar datos y posterior en simular y a continuación nos darán los resultado de la prueba de vació, luego ya con las datos de la prueba de vació damos a continuación calcular con lo cual podremos obtener los parámetros del transformador como el factor de potencia la corriente del núcleo la resistencia de magnetización parámetros que serán de utilidad para posteriores ejercicio de la temática de máquinas eléctricas.

**Figura 10** Simulación del ensayo de vació.

**Figura 11** Clic en simular.



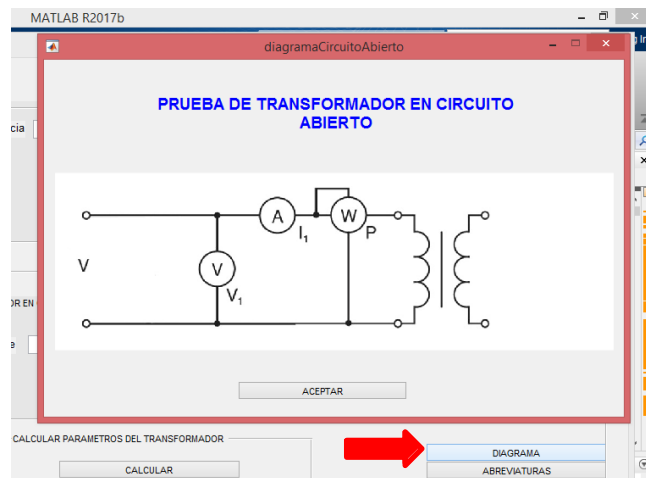
**Figura 12** Visualización de los valores de la prueba de vacío.



**Figura 13** Visualización de los parámetros del transformador.

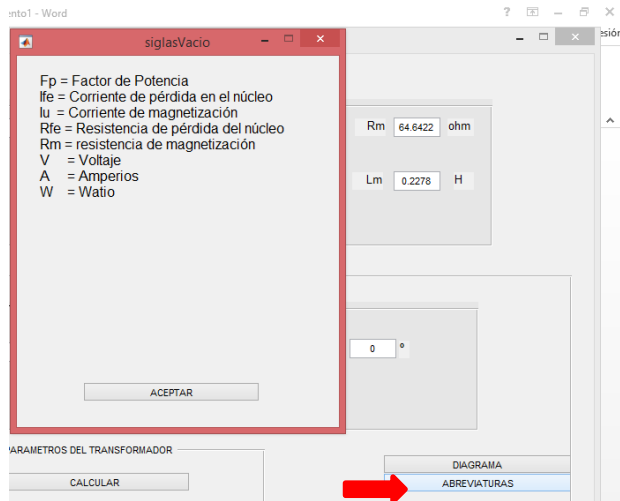
**a) Diagrama del ensayo**

Dentro de la ventana de simulación tendremos varias opciones como el diagrama, abreviaturas, graficas de voltaje, de corriente y de potencia además de poder visualizar el diagrama en simulink.

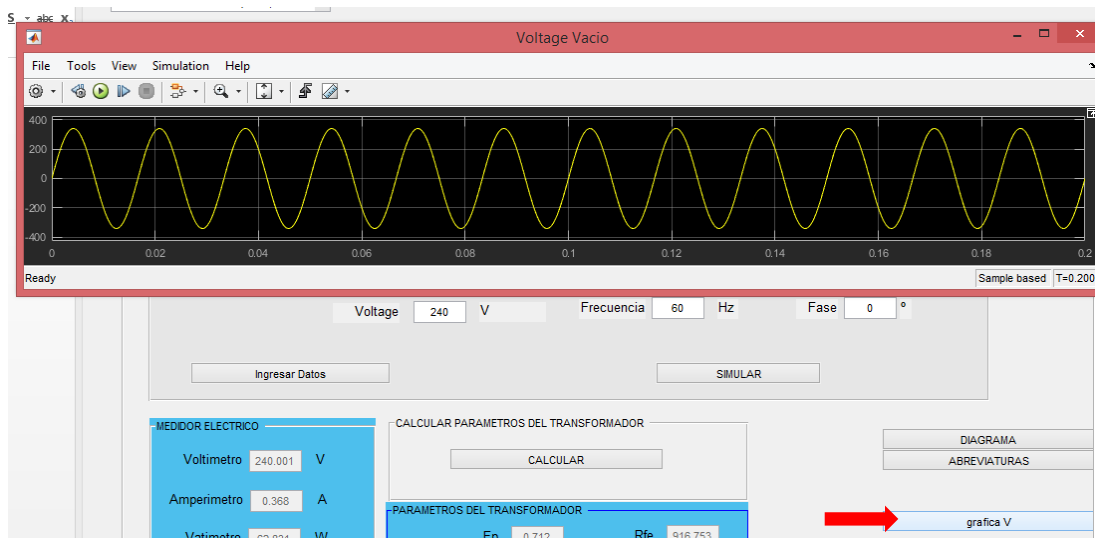


**Figura 14** Visualización de la opción diagrama

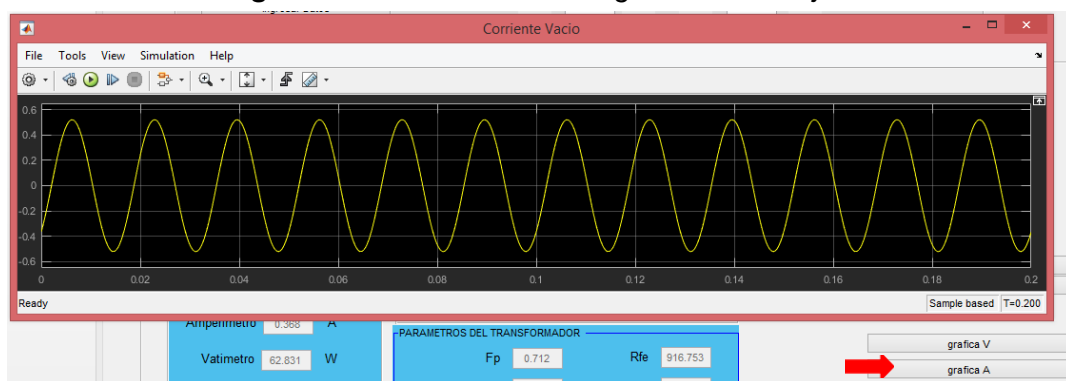




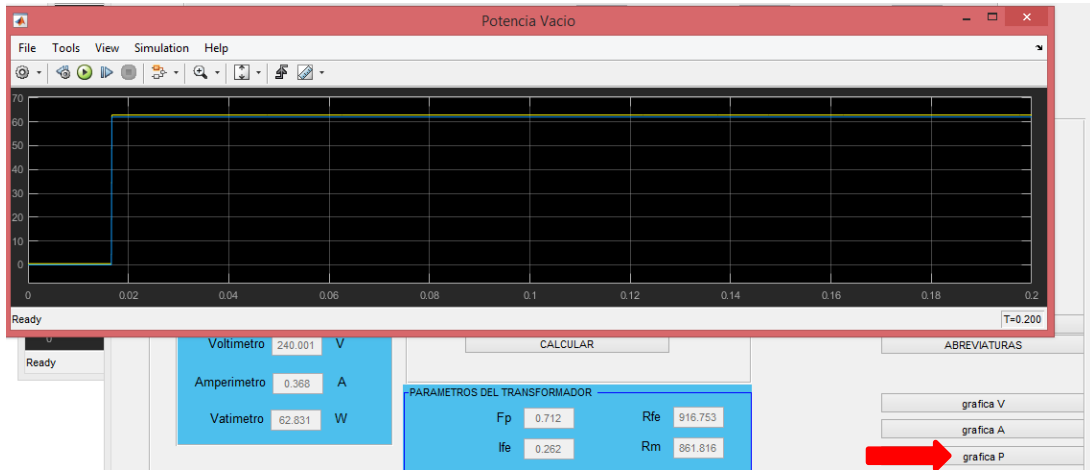
**Figura 15** Visualización de la opción abreviaturas.



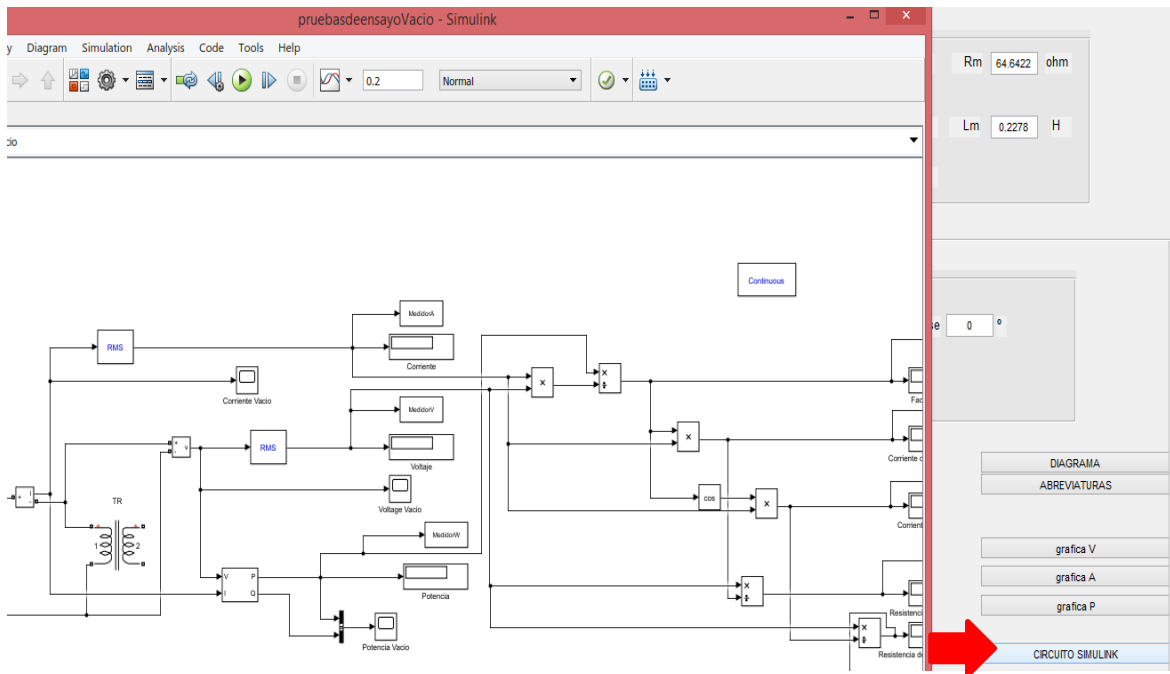
**Figura 16** Visualización de la gráfica de voltaje.



**Figura 17** Visualización de la gráfica de corriente.

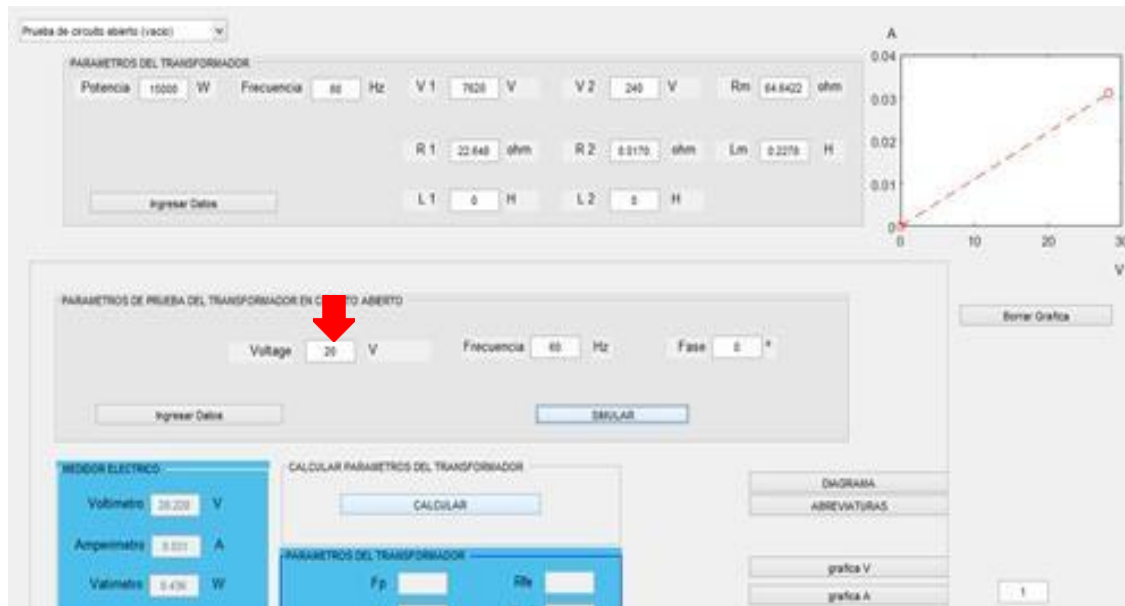


**Figura 18** Visualización de la gráfica de potencia.

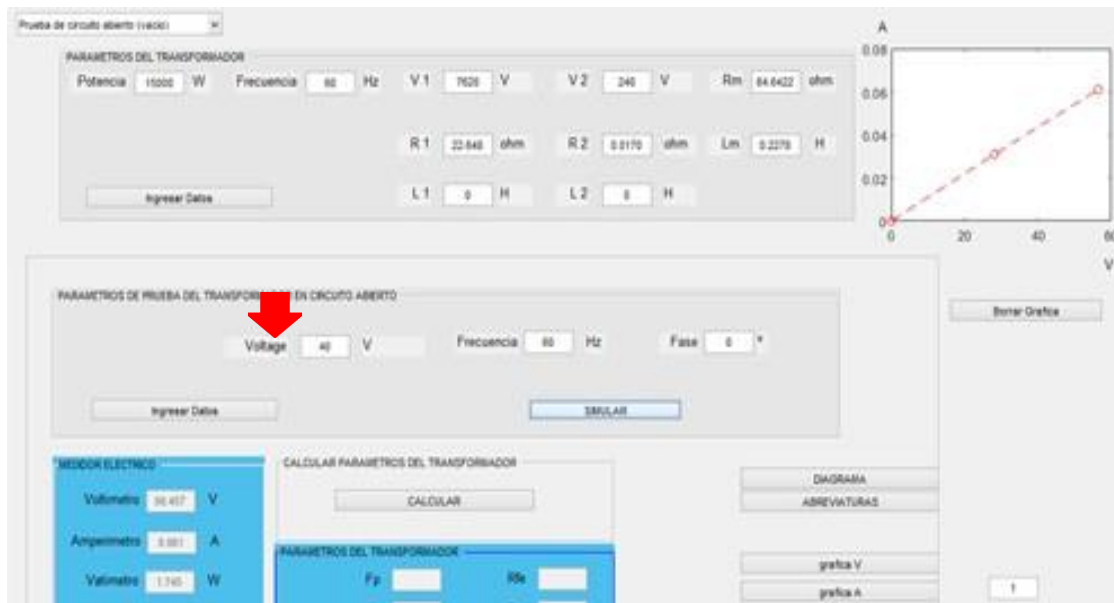


**Figura 19** Visualización del diagrama en simulink.

Para obtener esta grafica se debe de realizar varias mediciones, estas mediciones se hacen cada que el voltaje de entrada se varié, hasta que dicho voltaje llegue a su valor nominal, esta onda es la relación entre la corriente de vacío y voltaje de vacío.



**Figura 20** Grafica de corriente de vacío vs voltaje de vacío tomada a un voltaje de entrada de 20v.

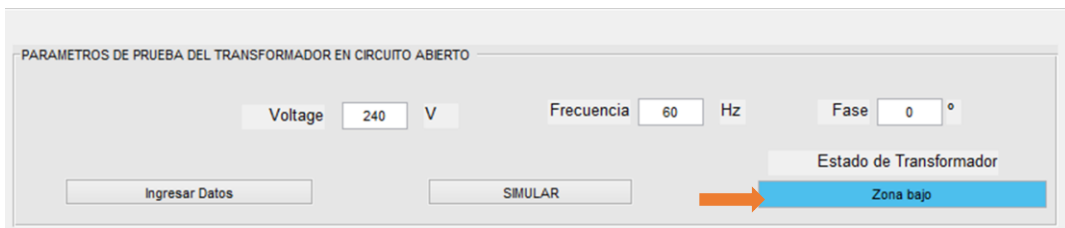


**Figura 21** Grafica de corriente de vacío vs voltaje de vacío tomada a un voltaje de entrada de 40v.

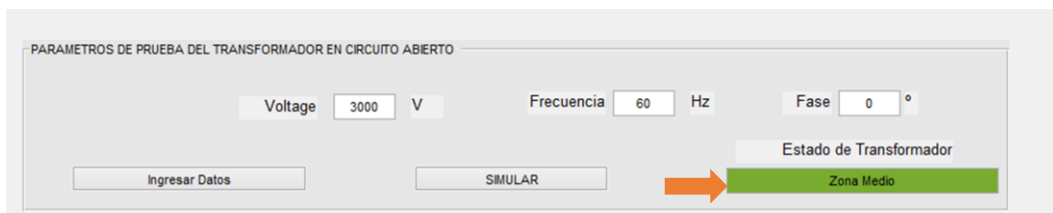


**Figura 22** Grafica de corriente del ensayo de vacío a su corriente máxima de 5700.

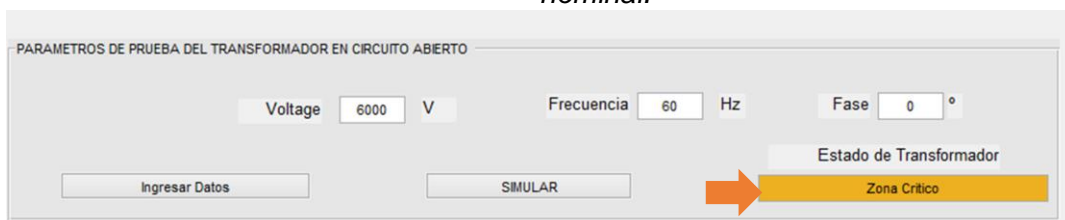
- Para conocer el estado del transformador se opta por dar 4 estados los cuales son:
  - Zona baja.- La cual estará debajo del 30% del voltaje nominal
  - Zona media.- La cual estará por encima del 30% y debajo del 70% del voltaje nominal.
  - Zona critica.- La cual estará por encima del 70% y su punto límite será el voltaje nominal.
  - Cuarto estado.- El cual estará encima del voltaje nominal, cuando llegue a este estado el software nos dará un mensaje de excedió el voltaje nominal.



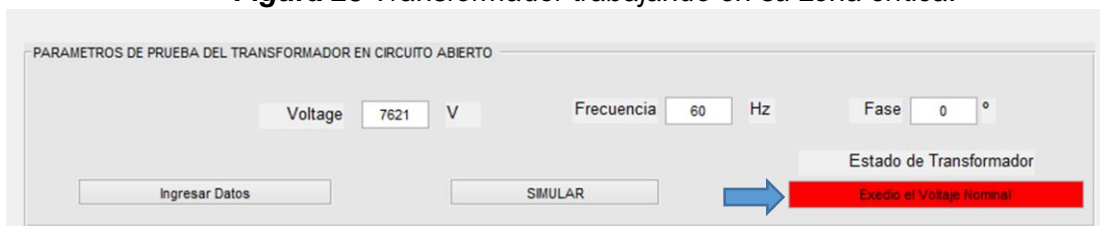
**Figura 23** Zona baja con un voltaje inferior del 30% del voltaje nominal.



**Figura 24** Zona media con un voltaje superior al 30% e inferior del 70% del voltaje nominal.



**Figura 25** Transformador trabajando en su zona crítica.



**Figura 26** Transformador trabajando excediendo su voltaje nominal.



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## PRÁCTICA DE LABORATORIO LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
C: B-Q:E	J. PORRAS	J:PORRAS
FECHA:23-02-2021	FECHA:23-02-2021	FECHA: 23-02-2021

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECÁNICA	IELM 306	Máquinas Eléctricas

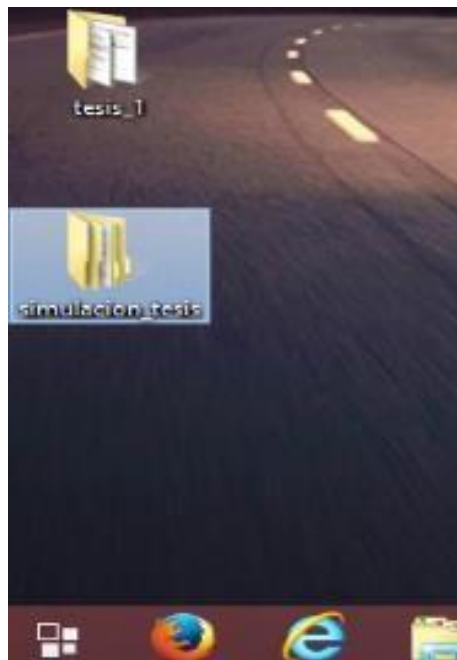
SIMULACIÓN	LABORATORIO:	Máquinas Eléctricas.	DURACIÓN (HORAS)
02	NOMBRE DE LA SIMULACION:	ENSAYO DE CORTOCIRCUITO	1

1	OBJETIVO
	Simular el ensayo de cortocircuito en el transformador monofásico siguiendo los pasos explicados a continuación.

2	MANUAL PRACTICÓ
	<p><b>1. Introducción del manual práctico</b></p> <p>En este presente manual se podrá comprender los diferentes procedimientos que se deberá realizar dentro del control de la aplicación de los ensayos.</p> <p>Con la ayuda del software MATLAB y el respectivo conjunto de interfaz dentro del software es el que dará funcionamiento a la simulación.</p> <p>Es importante tener en cuenta el transformador a simular su respectivo ensayo ya que se necesita de datos técnicos y parámetros detallados.</p> <p>La interfaz GUIDE nos permite comunicarnos con el software, para así tener una interacción más didáctica.</p> <p><b>2. Alcance del manual</b></p> <p>El manual ofrece una explicación breve y de forma detallada cada paso que ayuda al estudiante a realizar la operación correcta de la aplicación.</p> <p><b>3. Objetivo general</b></p> <p>Realizar un manual práctico de procedimientos para la simulación de los ensayos de vacío y de cortocircuito.</p> <p><b>4. Operación de la aplicación</b></p>

a) Inicío

Al ingresar a la pantalla principal de la maquina "computador" encontraremos una carpeta con el nombre de simulación-tesis, daremos clic en esa carpeta para ingresar.



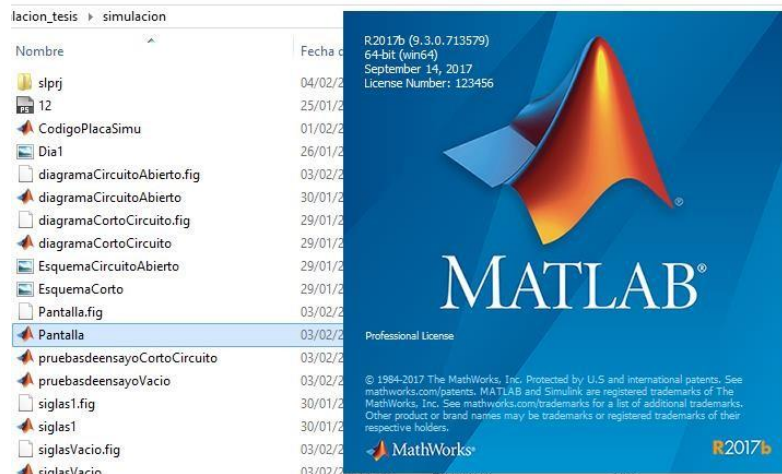
**Figura 1** Carpeta de ingreso para la simulación.

a) Opciones

Entrar en la carpeta simulación-tesis encontraremos varias opciones en la cual vamos a la opción de pantalla y dando doble clic en esa opción nos ingresara al programa de MATLAB como se muestra en la figura 3.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
slprj	04/02/2021 9:04	Carpeta de archivos	
12	25/01/2021 10:28	Soporte PostScript...	19 KB
CodigoPlacaSimu	01/02/2021 17:25	Archivo M	1 KB
Dia1	26/01/2021 2:27	Imagen JPEG	60 KB
diagramaCircuitoAbierto.fig	03/02/2021 2:54	Archivo FIG	15 KB
diagramaCircuitoAbierto	30/01/2021 0:35	Archivo M	6 KB
diagramaCortoCircuito.fig	29/01/2021 14:33	Archivo FIG	18 KB
diagramaCortoCircuito	29/01/2021 14:33	Archivo M	5 KB
EsquemaCircuitoAbierto	29/01/2021 23:27	Imagen JPEG	49 KB
EsquemaCorto	29/01/2021 14:17	Imagen JPEG	66 KB
Pantalla.fig	03/02/2021 2:53	Archivo FIG	115 KB
Pantalla	03/02/2021 2:53	Archivo M	59 KB
pruebasdeensayoCortoCircuito		Archivo SLX	28 KB
pruebasdeensayoVacio		Archivo SLX	25 KB
siglas1.fig	30/01/2021 2:01	Archivo FIG	6 KB
siglas1	30/01/2021 2:01	Archivo M	5 KB
siglasVacio.fig	03/02/2021 2:30	Archivo FIG	6 KB
siglasVacio	03/02/2021 2:30	Archivo M	5 KB

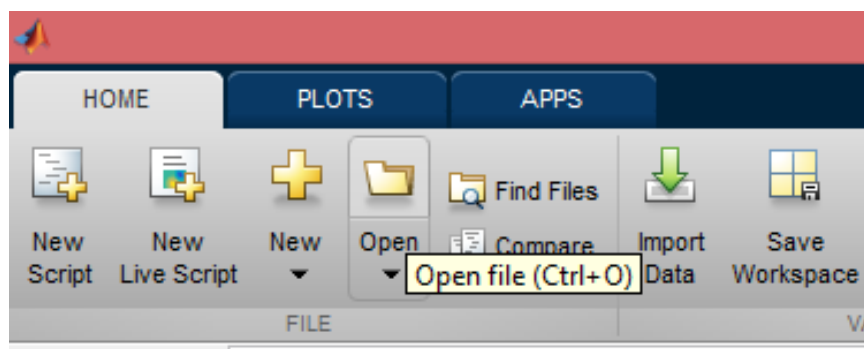
**Figura 2** opciones dentro de la carpeta simulación-tesis



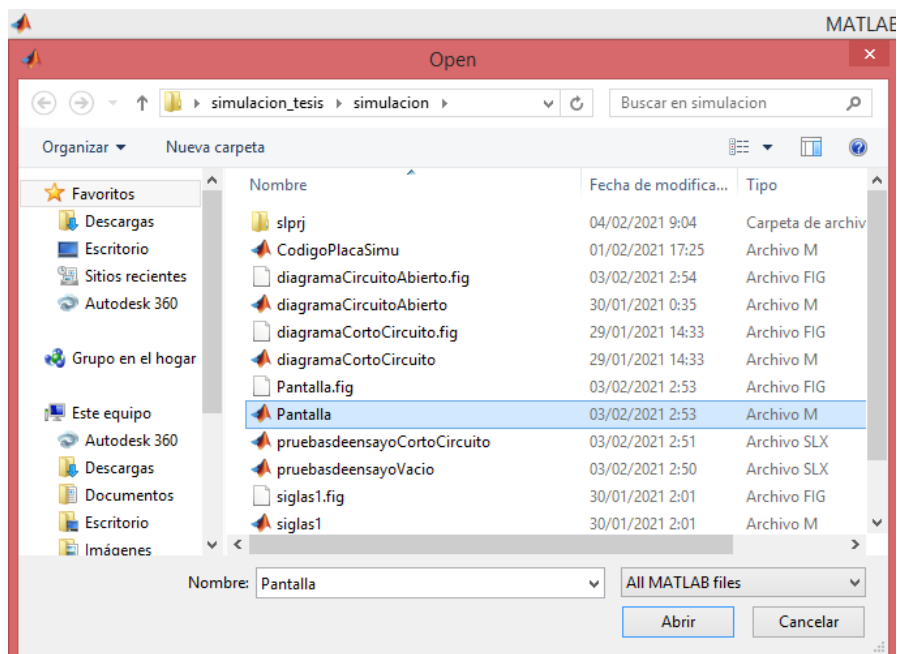
**Figura 3** Ingresó al programa.

a) Open

Ya una vez ingresado en el programa vamos a la opción de open que posterior abrirá una pestaña con varias opciones, en la cual elegiremos ventana.



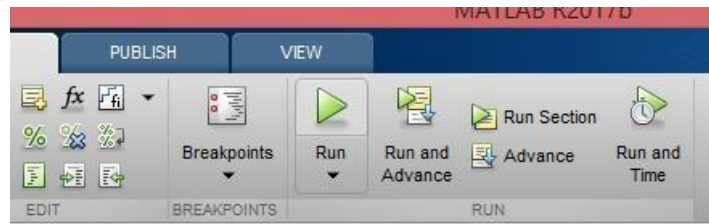
**Figura 4** Opción open.



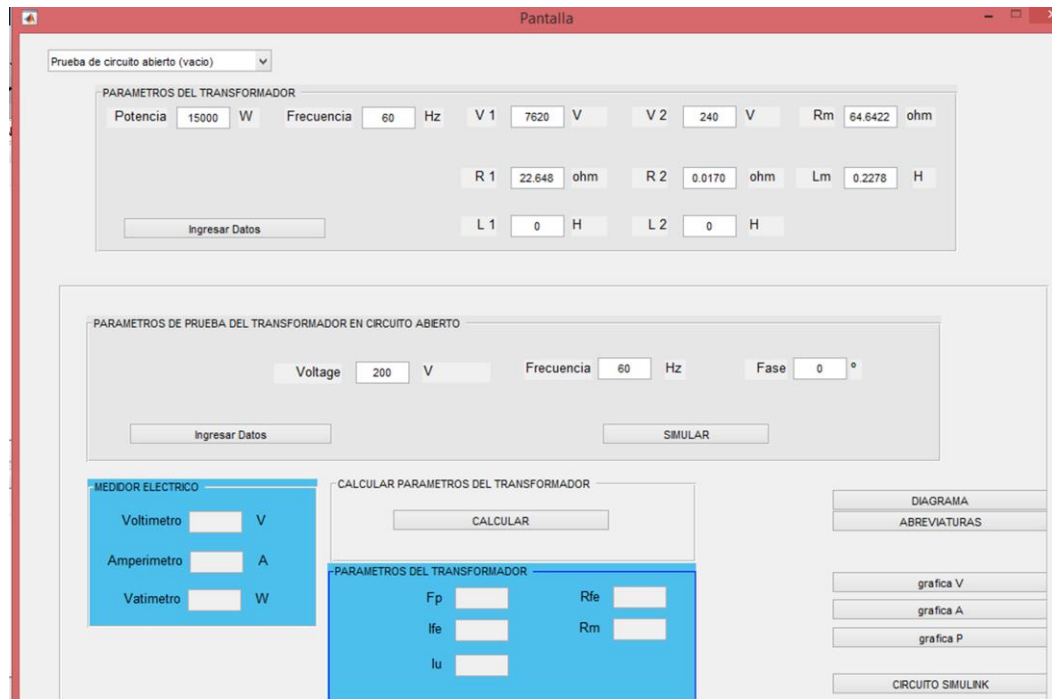
**Figura 5** Opción pantalla.

## b) Run

Una vez ya ingresado vamos nuevamente a parte superior del software y clic en RUN que es la opción para iniciar la simulación, posterior se abrirá otra ventana con la simulación.



**Figura 6** Opción Run.

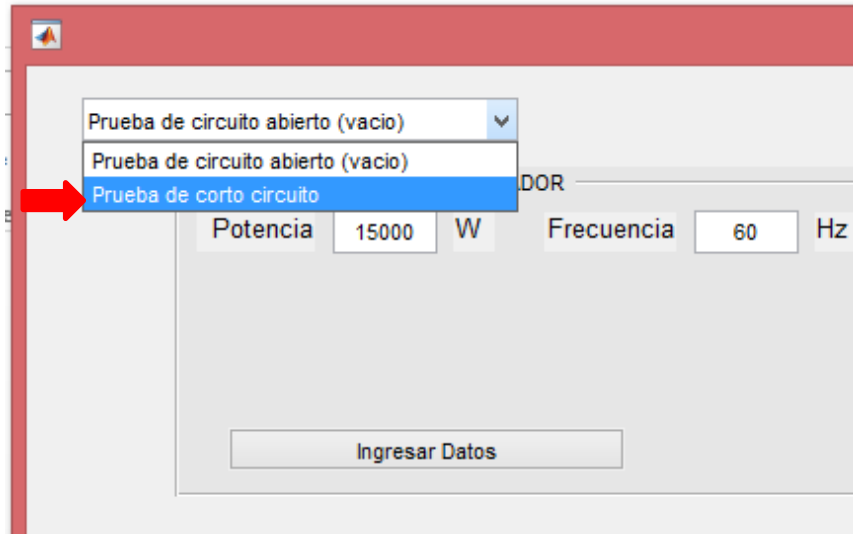


**Figura 7** Ventana principal para realizar las pruebas.

## a) Elección de prueba



Dentro de la ventana principal se encuentra una opción la cual sirve para cambiar entre las dos respectivas pruebas que son de cortocircuito y de vacío. En este punto daremos clic en la opción de prueba de cortocircuito.

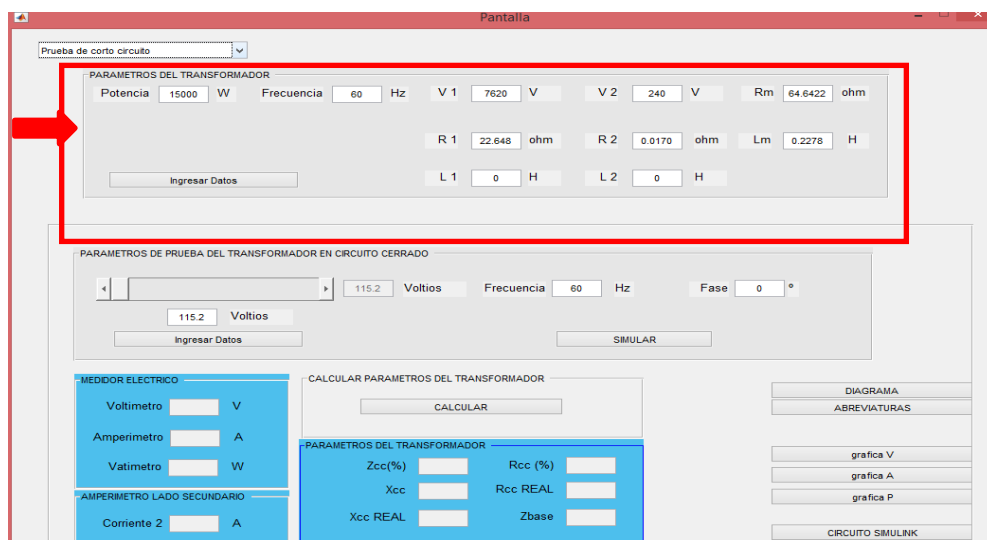


**Figura 8** Elección de prueba a simular.

### b) Parámetros del transformador

Dentro de esta prueba tendremos varias opciones como son los parámetros del transformador y las respectivas lecturas del voltaje, corriente, potencia de cortocircuito.

A continuación daremos clic en ingresar datos y posterior en simular y a continuación nos darán los resultados de la prueba de vacío, luego ya con los datos de la prueba de vacío damos a continuación calcular con lo cual podremos obtener los parámetros del transformador como el factor de potencia, la corriente del núcleo, la resistencia de magnetización, parámetros que serán de utilidad para posteriores ejercicios de la temática de máquinas eléctricas.



**Figura 9** Simulación del ensayo de cortocircuito.

c) Ingreso de datos

Dentro de la ventana principal de la simulación hay varias opciones como el voltaje, resistencias, reactancia, las que son los datos característicos del transformador los cuales se los puede cambiar para realizar las pruebas en otro transformador monofásico, cabe recalcar que los datos ingresados son los mismo datos para el ensayo de vacío y de cortocircuito porque se lo realizara a un mismo transformador.

Pantalla

Prueba de corto circuito

PARAMETROS DEL TRANSFORMADOR

Potencia 15000 W Frecuencia 60 Hz V 1 7620 V V 2 240 V Rm 64.6422 ohm

R 1 22.648 ohm R 2 0.0170 ohm Lm 0.2278 H

L 1 0 H L 2 0 H

Ingresar Datos

PARAMETROS DE PRUEBA DEL TRANSFORMADOR EN CIRCUITO CERRADO

118.8 Voltios Frecuencia 60 Hz Fase 0 °

101.18 Voltios

Ingresar Datos SIMULAR

**Figura 10** Ingreso de datos del transformador a simular.

PARAMETROS DE PRUEBA DEL TRANSFORMADOR EN CIRCUITO CERRADO

100 Voltios Frecuencia 60 Hz

101.18 Voltios

Ingresar Datos SIMULAR

MEDIDOR ELECTRIC

Voltmetro 100.98 V

Amperimetro 1.991 A

Vatimetro 142.241 W

AMPERIMETRO LADO SECUNDARIO

Corriente 2 68.913 A

CALCULAR PARAMETROS DEL TRANSFORMADOR

CALCULAR

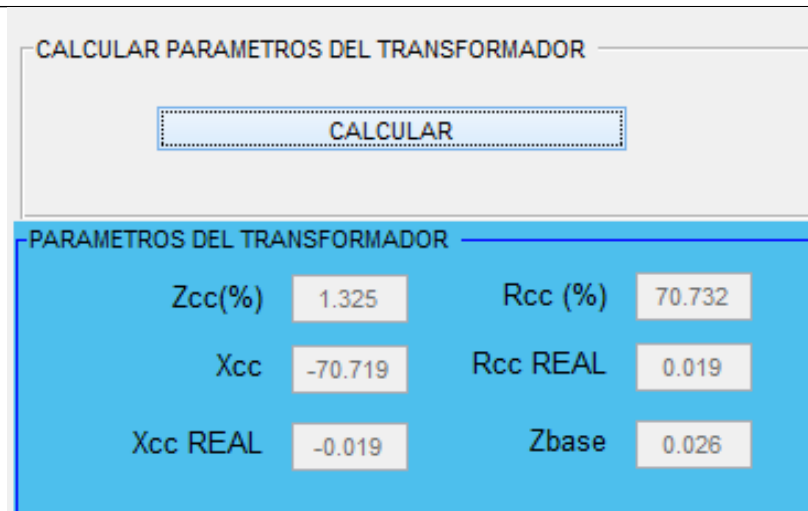
PARAMETROS DEL TRANSFORMADOR

Zcc(%) Rcc(%)

Xcc Rcc REAL

Xcc REAL Zbase

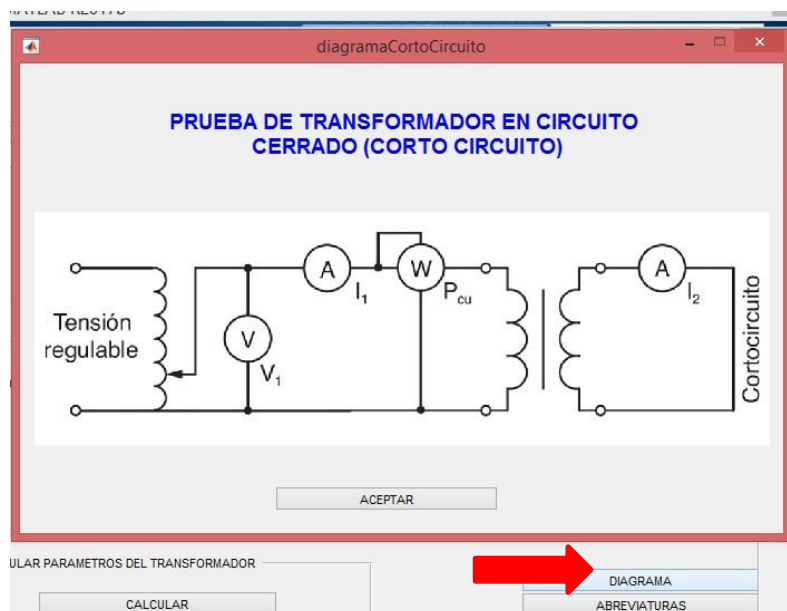
**Figura 11** Simulación del ensayo de cortocircuito



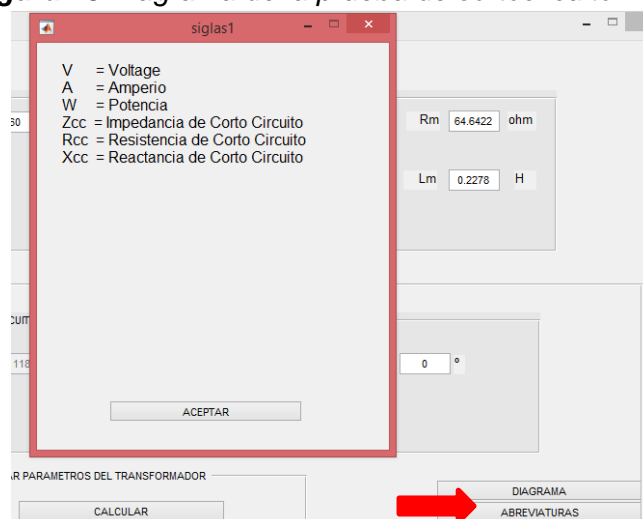
**Figura 12** Valores de los parámetros del transformador.

**d) Diagrama del ensayo de cortocircuitó**

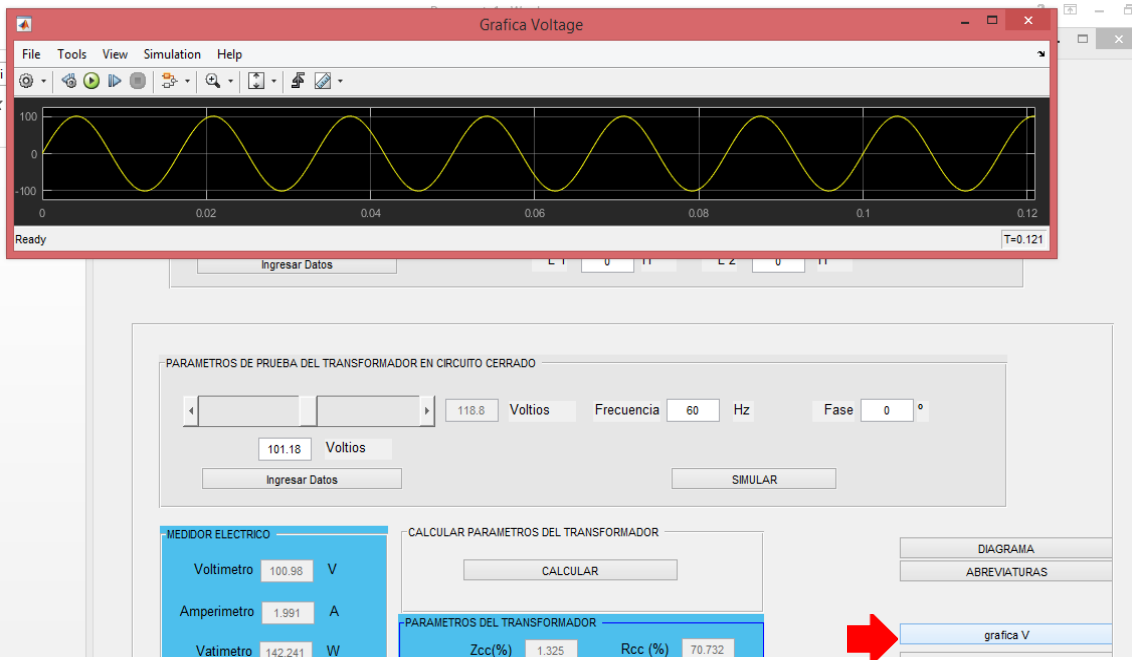
Dentro de la ventana de simulación tendremos varias opciones como el diagrama, abreviaturas, graficas de voltaje, de corriente y de potencia además de poder visualizar el diagrama en simulink.



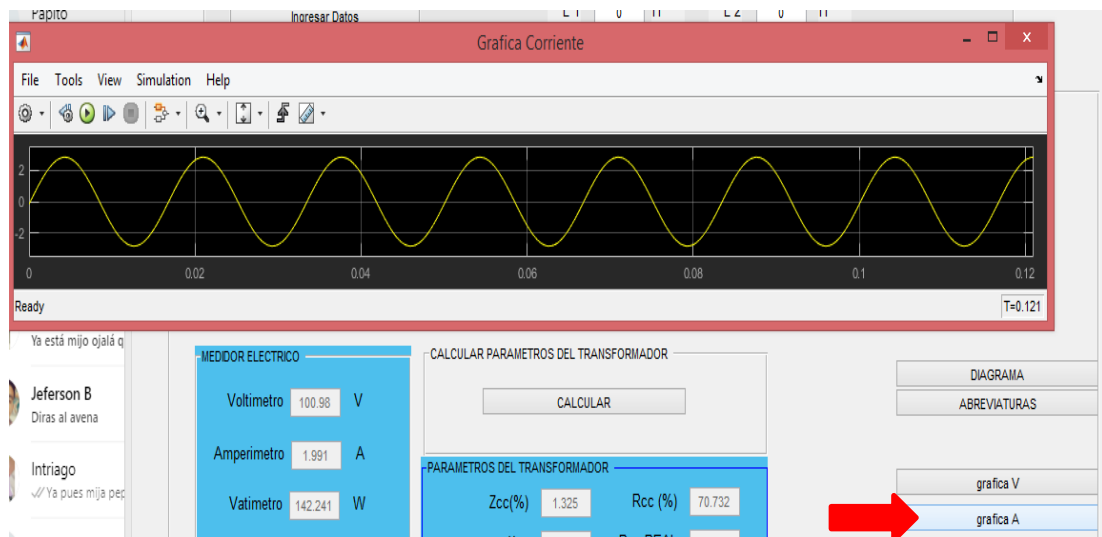
**Figura 13** Diagrama de la prueba de cortocircuito.



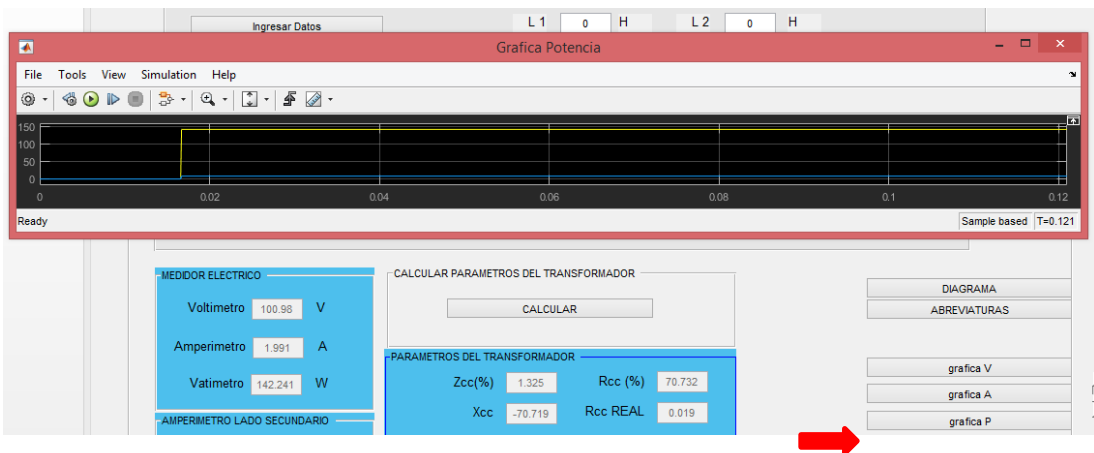
**Figura 14** Visualización de la opción



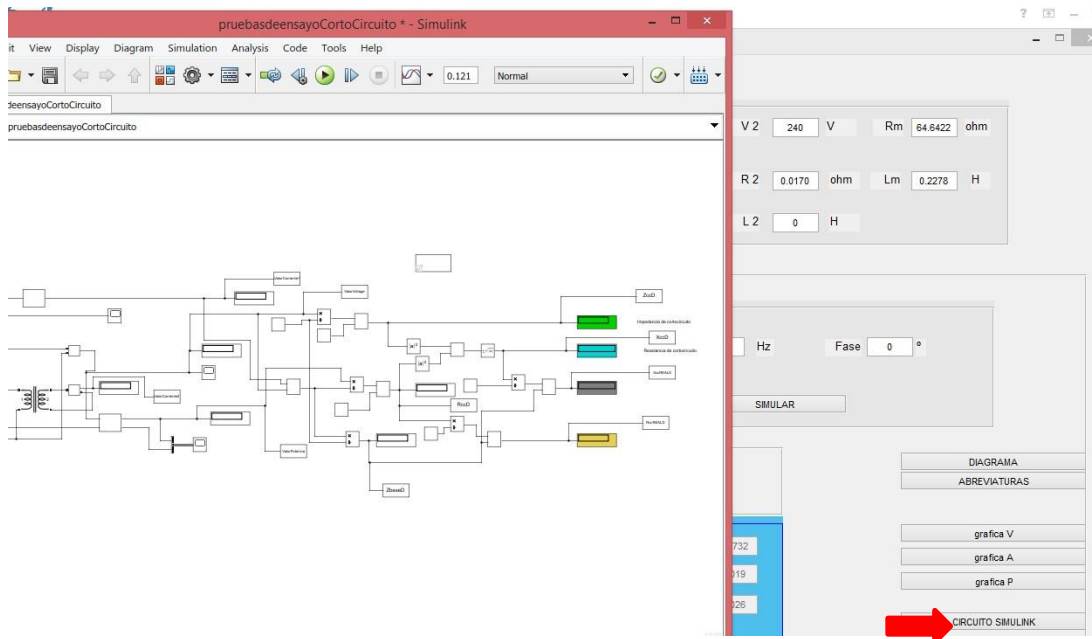
**Figura 15** Visualización de la gráfica de voltaje.



**Figura 16** Visualización de la gráfica de corriente

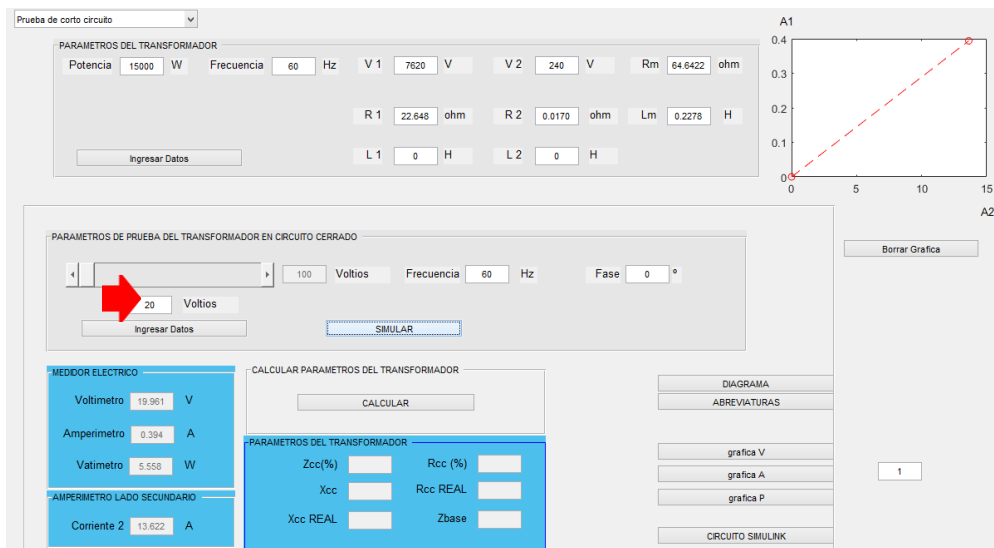


**Figura 17** Visualización de la gráfica de la

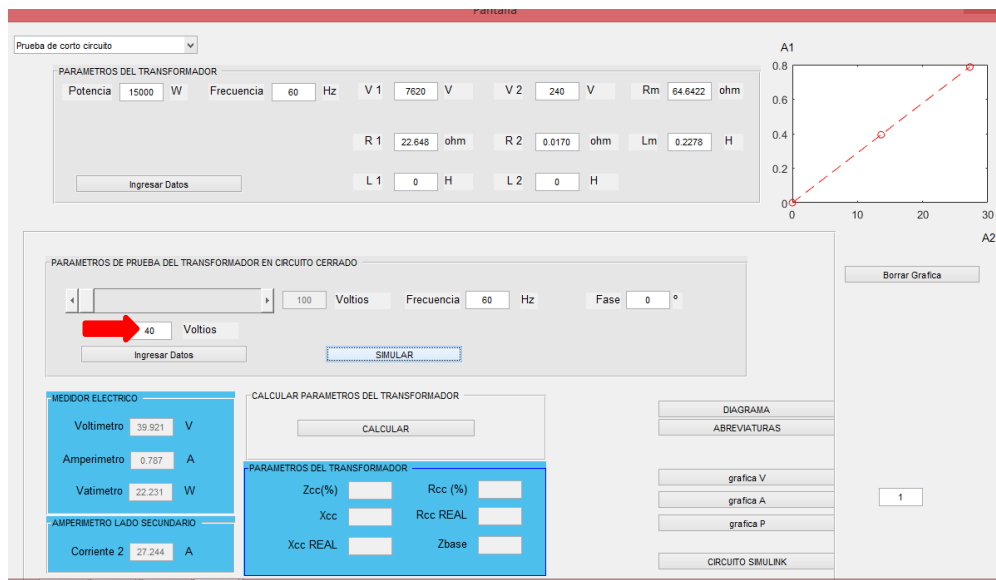


**Figura 18** Visualización del diagrama en simulink.

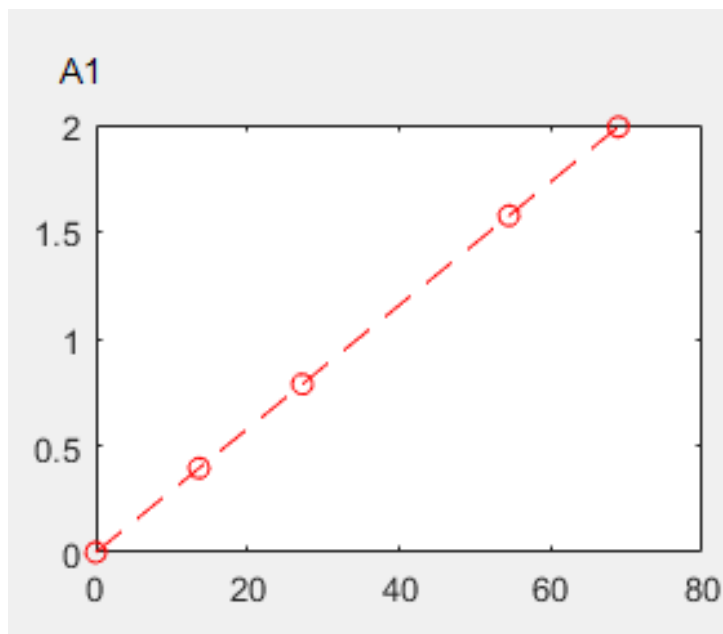
- e) Onda del ensayo de cortocircuito.  
 Para obtener esta grafica se debe de realizar varias mediciones, estas mediciones se hacen cada que el voltaje de entrada se varié.



**Figura 19** Onda de cortocircuito a 20v

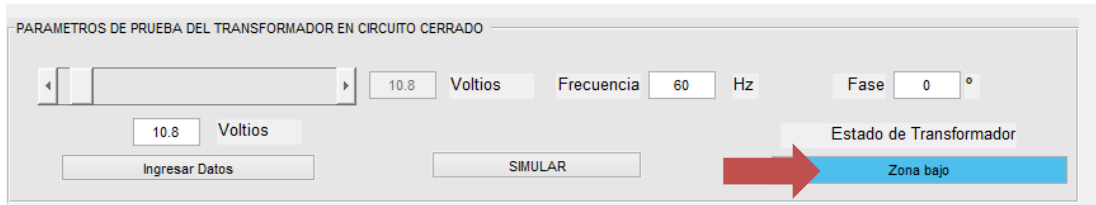


**Figura 20** Onda de cortocircuito a 240v

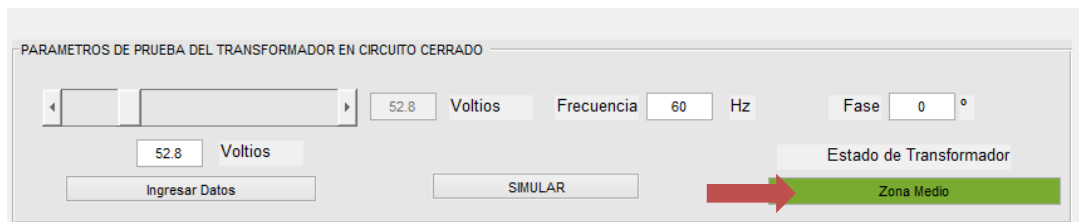


**Figura 21** Onda de cortocircuito a su máximo voltaje.

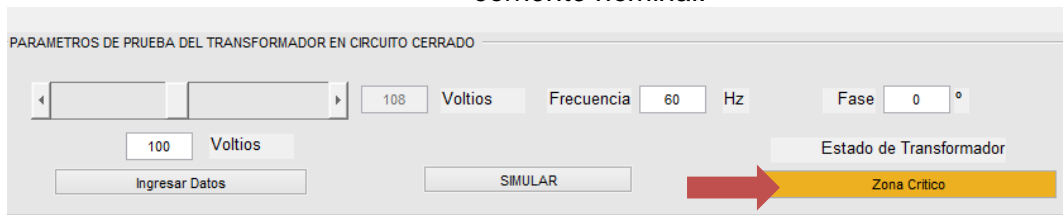
- Para conocer el estado del transformador se opta por dar 4 estados los cuales son:  
Zona baja.- La cual estará debajo del 30% de la corriente nominal  
Zona media.- La cual estará por encima del 30% y debajo del 70% de la corriente nominal.  
Zona crítica.- La cual estará por encima del 70% y su punto límite será su corriente nominal.  
Cuarto estado.- El cual estará encima del voltaje nominal, cuando llegue a este estado el software nos dará un mensaje de excedió la corriente nominal.



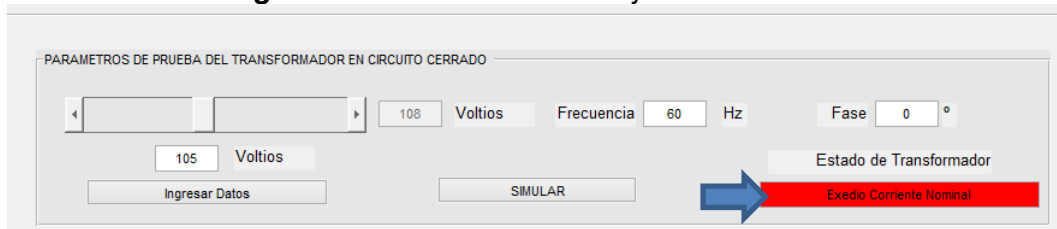
**Figura 22** Zona baja con un corriente inferior del 30% de su corriente nominal.



**Figura 23** Zona media con una corriente superior al 30% e inferior del 70% de su corriente nominal.



**Figura 24** Transformador trabajando en su zona crítica.



**Figura 25** Transformador trabajando excediendo su corriente nominal.