



**Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi**

## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

### **PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA  
DETERMINACIÓN DE FALLAS CON LA UNIDAD TPU 2000R, EN LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.

#### **AUTORES:**

Alomoto Quinatoa Segundo Ismael

Lema Balladares María de Lourdes

#### **TUTOR:**

MSc. Ing. Edwin Lema Guamán

#### **ASESOR**

MSc. Ing. Fredy Fernando Rivera Ruiz

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2019**



### DECLARACION DE AUTORIA

Nosotros, ALOMOTO QUINATOÁ SEGUNDO ISMAEL y LEMA BALLADARES MARÍA DE LOURDES, declaramos ser autores del presente trabajo de investigación: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA DETERMINACIÓN DE FALLAS CON LA UNIDAD TPU 2000R, EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI", siendo el Ing. Edwin Marcelo Lema Guamán, Tutor del presente trabajo; y eximó expresamente a la UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Alomoto Quinatoa Segundo Ismael

C.C: 055001614-1

Lema Balladares María de Lourdes

C.C: 171345530-9



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre él, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA DETERMINACIÓN DE FALLAS CON LA UNIDAD TPU 2000R, EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, de Alomoto Quinatoa Segundo Ismael y Lema Balladares María de Lourdes, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, 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 Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 22 de Julio del 2019

El Tutor

Firma

Ing. Edwin Marcelo Lema Guamán MSc.

C.I. 0302241351



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el o los postulantes Alomoto Quinatoa Segundo Ismael y Lema Balladares María de Lourdes con el título de Proyecto de titulación , **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA DETERMINACIÓN DE FALLAS CON LA UNIDAD TPU 2000R, EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, 22 de Julio del 2019

Para constancia firman:

**Lector 1 (Presidente)**

Nombre: Ing. Gabriel Pesantez MSc.

MSc.

CC: 030189388-9

**Lector 2**

Nombre: Ing. Franklin Vásquez

CC: 171043449-7

**Lector 3**

Nombre: Ing. Wilian Guamán Cuenca MSc.

CC: 060357895-6 <sup>iv</sup>



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de director de carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica certifico que mediante el proyecto de investigación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA DETERMINACIÓN DE FALLAS CON LA UNIDAD TPU 2000R, EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** de los estudiantes; ALOMOTO QUINATO A SEGUNDO ISMAEL y LEMA BALLADARES MARÍA DE LOURDES, realizan la entrega de un módulo de pruebas para determinación de fallas con la unidad TPU 2000R, para el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica Cotopaxi.

Latacunga, Julio, 2019



Ph.D. Secundino Marrero Ramírez

C.C.175710790-7

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios y la Virgen del Cisne, por darme salud y fuerzas para culminar con éxito mis estudios.

A mis queridos padres Segundo y Laura, quienes confiaron plenamente en mí, siendo pilares fundamentales para culminar mis estudios.

A mis hermanos David y Selena por la paciencia y apoyo mutuo que me brindaron desde el inicio de mi carrera universitaria.

A los ingenieros: Edwin Lema y Freddy Rivera, ya que gracias a sus enseñanzas impartidas me han facilitado los conocimientos necesarios para hacer posible la culminación de este proyecto.

**Ismael**

## **AGRADECIMIENTO**

Al término del trabajo de investigación doy gracias primero a Jehová Dios por haberme guiado conjuntamente con mi compañero Ismael Alomoto en esta difícil tarea; una expresión de gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi, representada por sus autoridades, catedráticos y personal administrativo, quienes en conjunto han hecho posible la culminación de mi carrera.

Debo agradecer de manera sincera a mi amigo incondicional Marco Tipán, a mis compañeros de trabajo David Carrera, Patricio Proaño, Christian Cueva, y de manera especial al Ing. Freddy Rivera por haber aceptado dirigir este proyecto de titulación, brindando incondicionalmente su apoyo, comprensión y paciencia para guiar mis ideas en el desarrollo.

**María de Lourdes**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Segundo y Laura quienes con su esfuerzo, paciencia y amor me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía.

A mis hermanos David y Selena por su cariño y apoyo incondicional, durante mi carrera universitaria, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus consejos, oraciones y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

Finalmente quiero dedicar mi tesis a todos mis amigos y amigas, por apoyarme con palabras de aliento cuando más lo necesitaba.

**Ismael**

## **DEDICATORIA**

A Jehová Dios, por haberme dado vida, fortaleza y sabiduría para vencer los obstáculos y alcanzar esta ansiada meta de mi formación profesional.

A mi madre Angelita, quien con su ejemplo de lucha y tenacidad ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores que me han permitido salir adelante en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi padre que de una u otra forma siempre estuvo alentándome para seguir adelante.

A mis hermanos: Carlos, Luis, Álvaro; que me han apoyado moralmente en todo momento y a mi princesita Ariatne.

**María de Lourdes**

## ÍNDICE

1.	INFORMACIÓN BÁSICA.....	1
2.	DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	3
2.1.	TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	3
2.2	TIPO DE ALCANCE .....	3
2.3	ÁREA DEL CONOCIMIENTO: .....	3
2.4	SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	3
2.5	OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	4
2.5.1	Objeto de Estudio.....	4
2.5.2	Campo de Acción.....	4
2.6	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA .....	4
2.6.1	Situación problemática.....	4
2.6.2	Problema.....	4
2.7	HIPÓTESIS .....	4
2.8	OBJETIVO(S) .....	5
2.8.1	Objetivo general .....	5
2.8.2	Objetivos Específicos.....	5
2.9	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS .....	5
3	MARCO TEÓRICO.....	7
3.1	ANTECEDENTES .....	7
3.2	INTRODUCCIÓN .....	9
3.3	INTRODUCCIÓN A LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS .....	12
3.3.1	Relés de protección .....	12
3.4	TRASFORMADORES DE INSTRUMENTO PARA RELEVADORES.....	14
3.4.1	Transformadores de corriente (TC).....	14
3.4.2	Trasformadores de potencial (TP).....	18
3.5	TRANSFORMADORES .....	19
3.5.1	Transformador de potencia.....	20
3.5.2	Transformadores trifásicos.....	22

3.5.3	Fallas en los Transformadores de Potencia .....	23
3.6	PROTECCIÓN DIFERENCIAL.....	25
3.7	PROTECCIÓN DIFERENCIAL PARA TRANSFORMADORES.....	29
3.7.1	Protección diferencial en transformadores trifásicos 3 $\phi$ . .....	30
4	IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA DETERMINACION DE FALLAS CON LA UNIDAD TPU2000R.....	33
4.1	DIAGRAMA DE BLOQUES .....	33
4.1.1	Equipo de inyección de corriente .....	33
4.1.2	Relé de protección.....	33
4.2	ESQUEMA ESTRUCTURAL .....	34
4.3	VALIDACIÓN TÉCNICA .....	35
5	METODOLOGÍA .....	36
5.1	MÉTODOS GENERALES .....	36
5.1.1	Exploratorio.....	36
5.1.2	Diseño.....	36
5.1.3	Experimental .....	36
5.2.2	Configuración.....	37
5.2.3	Experimentos.....	37
6	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. ....	38
6.1	CASO DE ESTUDIO N° 1 .....	38
6.2.	CASO DE ESTUDIO N°2.....	42
6.3.	CASO DE ESTUDIO N°3.....	46
7	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	50
7.1	PRESUPUESTO .....	50
7.2	ANÁLISIS DE IMPACTOS .....	53
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
8.1	CONCLUSIONES .....	55
8.2	RECOMENDACIONES.....	55
9	REFERENCIAS .....	57
	ANEXOS.....	59

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3. 1.</b> Conexión de los terminales, con la mochila de pruebas (Omicron) y el relé TPU 2000R. 7	7
<b>Figura 3. 2.</b> Datos característicos para la operación de la protección 87T, mediante la mochila trifásica de pruebas marca Omicron..... 8	8
<b>Figura 3. 3.</b> Diagrama unifilar de un sistema eléctrico. .... 9	9
<b>Figura 3. 4.</b> Diagrama de un Sistema de Protección. .... 10	10
<b>Figura 3. 5.</b> Curva de saturación de los TC's ..... 15	15
<b>Figura 3. 6.</b> Representación más común de los TC's ..... 18	18
<b>Figura 3. 7.</b> Conexión Estrella de TC's ..... 18	18
<b>Figura 3. 8.</b> Partes del transformador de potencia ..... 20	20
<b>Figura 3. 9.</b> Partes constructivas del relé buchholz ..... 21	21
<b>Figura 3.12.</b> Principio de funcionamiento del relé diferencial 87T ..... 25	25
<b>Figura 3.13.</b> Representación cuando el relé no opera ..... 26	26
<b>Figura 3.14.</b> Representación de operación del relé ..... 26	26
<b>Figura 3. 15.</b> Protección diferencial para transformadores. .... 27	27
<b>Figura 3. 16.</b> Pendiente de operación del relé diferencial. .... 28	28
<b>Figura 3.17.</b> Conexión típica del relé de protección ..... 29	29
<b>Figura 3.20.</b> Conexión para transformadores trifásicos Yd1 ..... 31	31
<b>Figura 3.21.</b> Conexión para transformadores trifásicos Dy1..... 32	32
<b>Figura 4. 1</b> Funcionamiento del relé de protección..... 33	33
<b>Figura 4. 2.</b> Módulo de pruebas de Relé ..... 34	34

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Valores de corrientes normalizadas para relación de transformación . . . . .	16
<b>Tabla 3.2.</b> Conexiones normalizadas para transformadores trifásicos . . . . .	22
<b>Tabla 3.3.</b> Fallas internas y externas que inciden sobre los transformadores de potencia . . . . .	24
<b>Tabla 6. 1.</b> Cuadro de resultados Alto Voltaje. . . . .	41
<b>Tabla 6. 2.</b> Cuadro de resultados Alto Voltaje. . . . .	41
<b>Tabla 6. 3.</b> Resultados fase A primario. . . . .	44
<b>Tabla 6. 4.</b> Resultados fase a secundario. . . . .	44
<b>Tabla 6. 5.</b> Resultados fase B primario. . . . .	45
<b>Tabla 6. 6.</b> Resultados fase b secundario. . . . .	45
<b>Tabla 6. 7.</b> Resultados fase C primario. . . . .	45
<b>Tabla 6. 8.</b> Resultados fase c secundario. . . . .	45
<b>Tabla 6. 9.</b> Resultados fase A primario. . . . .	48
<b>Tabla 6. 10.</b> Resultados fase a secundario. . . . .	48
<b>Tabla 6. 11.</b> Resultados fase B primario. . . . .	49
<b>Tabla 6. 12.</b> Resultados fase b secundario. . . . .	49
<b>Tabla 6. 13.</b> Resultados fase C primario. . . . .	49
<b>Tabla 6. 14.</b> Resultados fase c secundario. . . . .	49

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**RESUMEN DEL PROYECTO**

**TEMA:**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA DETERMINACIÓN DE FALLAS CON LA UNIDAD TPU 2000R, EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.

**Autores:**

Alomoto Quinatoa Segundo Ismael

Lema Balladares María de Lourdes

El presente proyecto tiene como objetivo implementar un módulo de pruebas para la determinación de fallas del transformador, este módulo está compuesto por la unidad TPU2000R, unidad de inyección de corriente y un PC.

La unidad TPU2000R es un relé digital con diferentes aplicaciones de protección contra fallas, utilizando la PC conjuntamente con el programa WinECP se calibra y setea para el monitoreo. La unidad de inyección de corriente suministra valores de corriente que permite provocar desbalances considerados fuera de sus parámetros nominales, esta perturbación es receptada a través de los sensores del relé y con ello procede a desconectar el circuito.

Al implementar el módulo de pruebas con todos sus componentes se desarrollaran las prácticas de laboratorio haciendo uso del programa WinECP que permite ingresar los datos característicos de un transformador de potencia y a través del cálculo interno se obtiene las corrientes nominales, corrientes de corto circuito y relación de transformación de los TC's.

**Palabras claves:** relé TPU2000R, WinECP, transformador de potencia, perturbación, protección diferencial.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**

**FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED**

**TITLE:** "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TEST MODULE FOR DETERMINATION OF FAILURES WITH THE TPU 2000R UNIT, IN THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI".

Authors: Alomoto Quinatoa Segundo Ismael

Lema Balladares María de Lourdes

**ABSTRACT**

This project aims to implement a test module for the determination of transformer failures, this module is composed of the TPU2000R unit, current injection unit and a PC. The TPU2000R unit is a digital relay with different fault protection applications, using the PC in conjunction with the WinECP program that is calibrated and set for monitoring. The current injection unit supplies current values that can cause imbalances considered outside its nominal parameters, this disturbance was received through the relay sensors and thus proceeds to disconnect the circuit. When implementing the test module with all its components, laboratory practices will be developed using the WinECP program that allows the input of the characteristic data of a power transformer and through the internal calculation the nominal currents, short circuit currents and ratio of transformation of the CT's.

**Keywords:** TPU2000R relay, WinECP, power transformer, disturbance, differential protection.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

## *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 la Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería Y Aplicadas, de **ALOMOTO QUINATO A SEGUNDO ISMAEL** y **LEMA BALLADARES MARÍA DE LOURDES**, cuyo título versa “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA DETERMINACIÓN DE FALLAS CON LA UNIDAD TPU 2000R, 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 a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Julio del 2019

Atentamente,

.....  
Lic. Jose Ignacio Andrade MSc.  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.C. 050310104-0**



## **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **PROPUESTO POR:**

Alomoto Quinatoa Segundo Ismael

Lema Balladares María de Lourdes

### **TEMA APROBADO**

Diseño e Implementación de un Módulo de Pruebas para determinación de fallas con la Unidad TPU 2000R, en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **CARRERA:**

Carrera de Ingeniería Eléctrica

### **DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN**

Ing. Edwin Lema Guamán MSc.

### **ASESOR**

Ing. Fredy Fernando Rivera Ruiz MSc.

### **EQUIPO DE TRABAJO**

#### **TUTOR**

Nombres:	Edwin Marcelo
Apellidos:	Lema Guamán
Nacionalidad:	Ecuatoriana
Estado Civil:	Soltero
Numero de Cedula:	030224135-1
E-mail:	edwin.lema@utc.edu.ec
Teléfono Celular:	095 904 6477

#### **ASESOR**

Nombres:	Freddy
Apellidos:	Rivera
Nacionalidad:	Ecuatoriana

Fecha de nacimiento: 20 de enero del 1961  
Estado Civil: Casado  
Numero de Cedula: 170659198-7  
Dirección: Pasaje Buenos Aires y Los Muelles  
E-mail: freddyrivera\_01075@yahoo.com  
Teléfono Celular: 099 813 0117

### **ESTUDIANTE 1**

Nombres: Segundo Ismael  
Apellidos: Alomoto Quinatoa  
Nacionalidad: Ecuatoriana  
Fecha de nacimiento: 20 de diciembre de 1994  
Estado Civil: Soltero  
Numero de Cedula: 055001614-1  
Dirección: Sangolqui (Av. El Inca y Calle San Carlos.)  
E-mail: ismaelalomotoquinatoa@yahoo.es  
Teléfono Celular: 098 795 1585

### **ESTUDIANTE 2**

Nombres: María de Lourdes  
Apellidos: Lema Balladares  
Nacionalidad: Ecuatoriana  
Fecha de nacimiento: 30 de junio de 1976  
Estado Civil: Soltera  
Numero de Cedula: 171345530-9  
Dirección: Conocoto (Calle García Moreno S/N)  
E-mail: maria\_lemaballadares@yahoo.es  
Teléfono Celular: 0997608748

### **LUGAR DE EJECUCIÓN:**

Barrio El Ejido Sector San Felipe, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

## **TIEMPO DE DURACIÓN DEL PROYECTO:**

Marzo - Agosto 2019

## **FECHA DE ENTREGA:**

25 de agosto del 2019

## **LÍNEA(S) Y SUBLINEAS DE INVESTIGACIÓN:**

Protecciones Eléctricas.

## **TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA**

El presente trabajo con modalidad de propuesta tecnológica es la implementación de un módulo de pruebas para determinación de fallas con la unidad TPU 2000R ver **Anexo I**, en el laboratorio de la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

El módulo se encuentra estructurado a través de la unidad TPU 2000R y una mochila de pruebas para relés, la cual permite inyectar corrientes nominales y de desbalance determinando las condiciones operativas y de falla con la función diferencial 87T.

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

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

Diseño e Implementación de un Módulo de Pruebas para determinación de fallas con la Unidad TPU 2000R, en la Universidad Técnica de Cotopaxi”

### **2.2 Tipo de alcance**

a) Desarrollo

### **2.3 Área del conocimiento:**

07 Ingeniería, Industria y Construcción.	071 Ingeniería y profesiones a fines.	0713 Electricidad y Energía.
--	---------------------------------------	------------------------------

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

El desarrollo de la propuesta tecnológica, se basa en reforzar el aprendizaje teórico práctico a través de la implementación de un módulo de pruebas, el cual permitirá realizar los diferentes ensayos con la utilización de la función diferencial 87T de la unidad TPU 2000R. Este módulo permitirá al estudiante verificar y observar la aplicabilidad de la protección

diferencial 87T, ante la actuación de fallas internas de un transformador de potencia, para lo cual se deja un manual de usuario, y su respectiva guía de prácticas.

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

### **2.5.1 Objeto de Estudio**

La calibración y seteo de la función diferencial 87T en el relé TPU 2000R.

### **2.5.2 Campo de Acción**

Protecciones Eléctricas.

## **2.6 Situación problemática y problema**

### **2.6.1 Situación problemática**

Una de las ofertas académicas de la Universidad Técnica de Cotopaxi es la carrera de Ingeniería Eléctrica y dentro de su malla curricular vigente se encuentra la asignatura de Protecciones Eléctricas, que permite el estudio de los diferentes sistemas de protección y la aplicación adecuada ante fallas para preservar el funcionamiento y la vida útil en cualquier equipo eléctrico, razón por la cual, para que el estudiante logre enfrentar con éxito los retos impuestos en el campo laboral, se pretende reforzar el aprendizaje teórico – práctico implementando un módulo de pruebas en el Laboratorio.

A la fecha actual la institución cuenta con la unidad de protección TPU 2000R marca ABB la misma que no ha sido aprovechada de manera adecuada, por desconocer su estado de funcionamiento.

Por lo tanto, los autores plantean la solución a esta interrogante, primero verificar el correcto funcionamiento de la unidad de protección TPU 2000R, previo al análisis de su estado implementar un módulo de pruebas para la determinación de fallas, que permitirá realizar los ajustes adecuados de la función diferencial 87T, utilizando una mochila de pruebas, la cual ayudará al estudiante en su ámbito práctico.

### **2.6.2 Problema**

En la actualidad la institución cuenta con la unidad de protección TPU 2000R marca ABB la misma que no ha sido utilizada de manera adecuada, por carecer de los equipos necesarios para poder determinar su operatividad y el correcto manejo de la unidad.

## **2.7 Hipótesis**

Mediante la implementación de un módulo de pruebas, se evaluará la actuación de la protección diferencial 87T en el Relé TPU 2000R.

## 2.8 Objetivo(s)

### 2.8.1 Objetivo general

Implementar un módulo con la unidad TPU 2000R, ajustada con la protección diferencial 87T para evaluar y determinar fallas.

### 2.8.2 Objetivos Específicos.

- Investigar acerca del funcionamiento de la unidad de protección de transformadores TPU 2000R marca ABB, utilizando fuentes bibliográficas confiables y los manuales técnicos para determinar sus condiciones operativas.
- Implementar el módulo de pruebas con la unidad TPU 2000R marca ABB para el laboratorio de Protecciones Eléctricas.
- Realizar ensayos del relé TPU 2000R, con ayuda de la mochila de prueba monofásica para evaluar la protección diferencial (87T).

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

OBJETIVO	ACTIVIDAD (TAREA)	RESULTADOS ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Investigar acerca del funcionamiento de la unidad de protección de Transformadores TPU 2000R marca ABB, utilizando los manuales técnicos para determinar sus condiciones operativas.	Recolectar la mayor información acerca del relé de protección. Revisar los manuales técnicos del fabricante.	La información adquirida fue la adecuada para comprender la composición y sus características técnicas operativas del equipo TPU 2000R.	Mediante la utilización de Páginas web, libros, revistas, artículos científicos se procederá a la realización de un marco teórico, basándonos fundamentalmente en el equipo de protección que disponemos. Esto nos ayudara para conocer el comportamiento teórico de esta protección y más adelante comparar con el comportamiento técnico.
Implementar el módulo de pruebas con la unidad TPU 2000R, para el laboratorio de Protecciones	Poner en marcha las diferentes pruebas planificadas para el diseño de nuestro	Con la verificación del estado de la protección diferencial procedemos a la realización de un diseño arquitectónico y guía didáctica.	Hoja diaria (apuntar datos, arrojados en las simulaciones) Con la ayuda de un software de programación ejecutaremos una serie de pruebas para analizar su operatividad y así comprobar el caso

<b>OBJETIVO</b>	<b>ACTIVIDAD (TAREA)</b>	<b>RESULTADOS ACTIVIDAD</b>	<b>MEDIO DE VERIFICACIÓN</b>
Eléctricas.	módulo.		teórico con el caso práctico.
Realizar ensayos del relé TPU 2000R marca ABB, para evaluar la protección diferencial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Llevar el equipo a los laboratorios de la E.Q.Q.</li> <li>-Encendido del equipo.</li> <li>-Verificar su funcionamiento, (sirve o no sirve)</li> </ul>	<p>Inducción técnica del equipo por parte de los Ingenieros de la E.Q.Q.</p> <p>Prueba de encendido con las mochilas de pruebas.</p> <p>Elaboración de una guía de prácticas para el Laboratorio de la Universidad</p>	<p>Estudio del relé de protección con la ayuda de los manuales ABB, analizando cada componente que posee.</p> <p>Con la ayuda de la maleta de pruebas se aplica corriente y voltaje para determinar las condiciones operativas del relé de pruebas.</p>

### 3 MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Antecedentes

Para dar inicio al desarrollo del proyecto con la autorización de la Dirección de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se egresa del laboratorio la unidad de protección TPU2000R marca ABB para ingresar al laboratorio de Sistemas de Potencia de la Empresa Eléctrica Quito para su revisión.

El técnico a cargo del laboratorio convoca a una reunión de trabajo al representante tutor académico asignado por la Universidad Técnica de Cotopaxi y a los estudiantes responsables del trabajo de titulación para verificar el encendido y apagado del relé con la ayuda de una fuente de alimentación de cien voltios de corriente continua, determinando su correcto funcionamiento del circuito de encendido.

#### Puesta en marcha del relé de protección

Para determinar el sistema de comunicación del relé se procede a identificar los terminales de las corrientes primarias y secundarias conectándose con la mochila trifásica de pruebas marca Omicron.

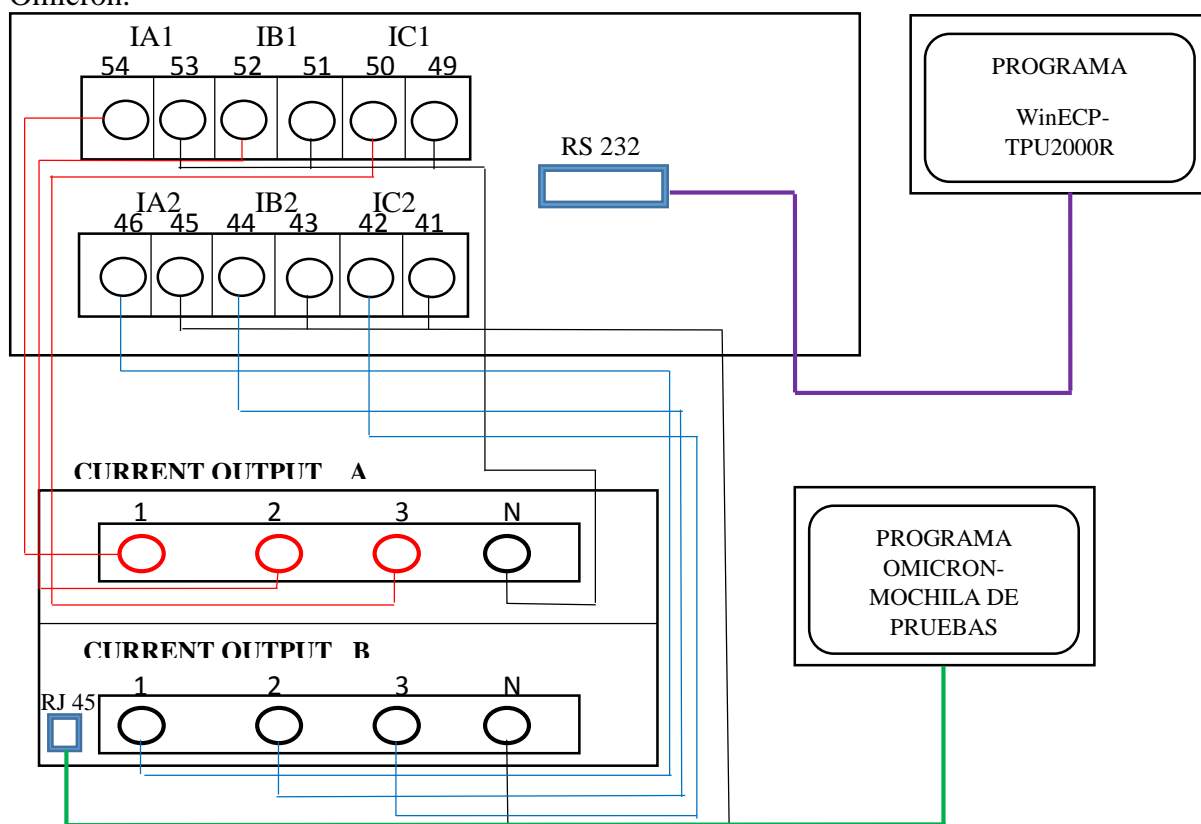
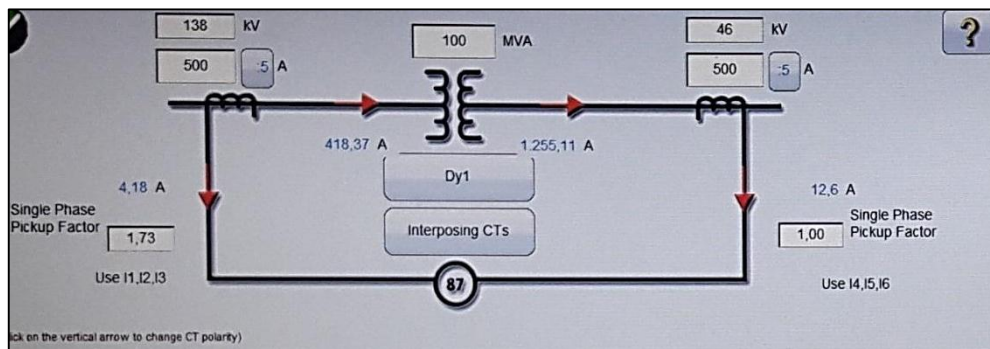


Figura 3. 1. Conexión de los terminales, con la mochila de pruebas (Omicron) y el relé TPU 2000R.

El software de Omicron permite ingresar los datos característicos del transformador de potencia como es:

- Potencia nominal = 100 MVA
- Voltaje primario = 138 kV
- Voltaje secundario = 46 kV
- Grupo de conexión, para nuestro análisis es *Dy1*.

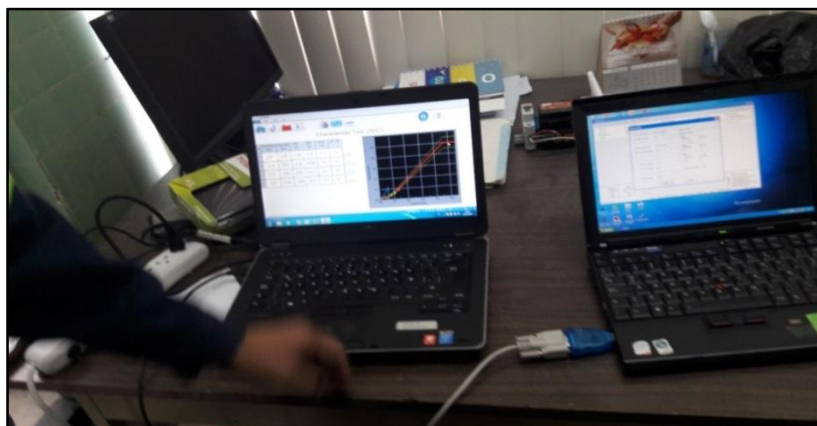
Como se muestra en la Figura 3.2.



**Figura 3. 2.** Datos característicos para la operación de la protección 87T, mediante la mochila trifásica de pruebas marca Omicron.

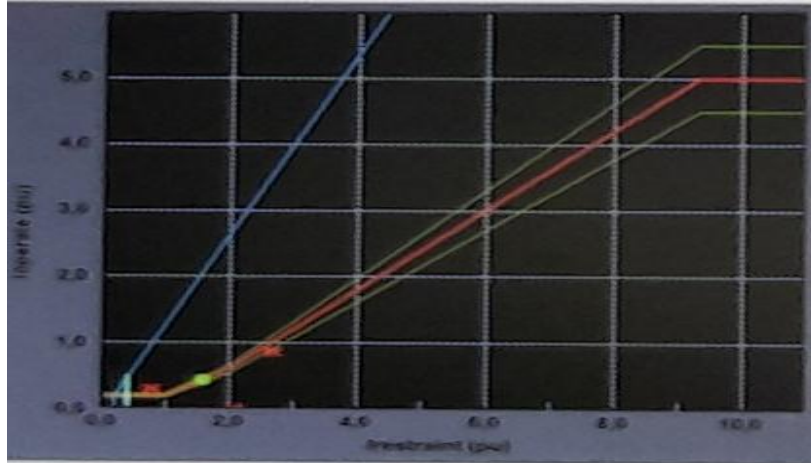
Para analizar el comportamiento del relé se procede a inyectar una corriente primaria y secundaria desde la mochila de pruebas apreciando como el programa computacional manda una señal al relé, haciéndola que esta opere de acuerdo a la función diferencial 87T calibrada.

Se debe tomar en cuenta que para cada prueba se debe resetear al relé de protección para que inicie nuevamente su operación de acuerdo a los valores requeridos.



**Figura 3. 3.** Seteo y calibración del relé con la función diferencial 87T.

Para identificar la operatividad del relé nos basamos en las 2 curvas verdes que se puede apreciar en la Figura 3.5, la cual es la zona de operación, si la falla producida cae en ese rango la protección actúa, caso contrario no opera.

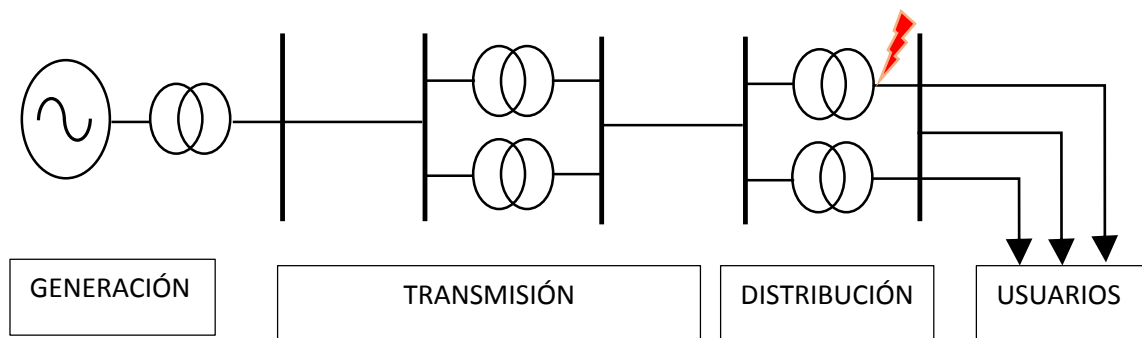


**Figura 3.4.** Zona de operación.

Se concluye que la unidad TPU 2000R se encuentra en condiciones operativas, por lo tanto se procede al desarrollo del trabajo de titulación.

### 3.2 Introducción

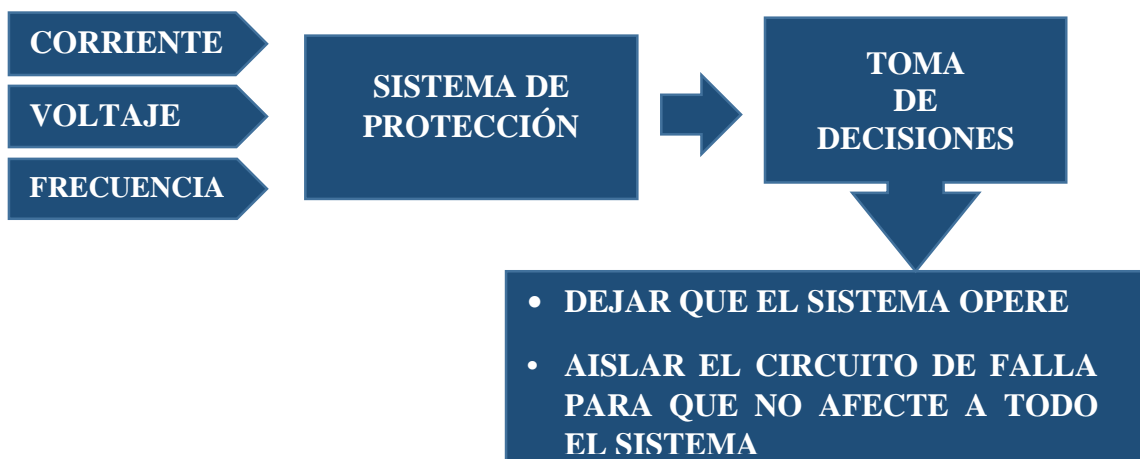
Todos los equipos componentes de un sistema eléctrico están sujetos a fallas que en general afectan el servicio y al mismo tiempo comprometen la integridad del equipo afectado e inclusive la de los equipos instalados entre el punto de la falla y el generador. La continuidad y la calidad del servicio eléctrico son dos requisitos íntimamente ligados al funcionamiento del sistema eléctrico de potencia, para garantizar que la energía producida en los centros de generación sea transmita de una forma ininterrumpida a los centros de consumo [1].



**Figura 3. 3.** Diagrama unifilar de un sistema eléctrico.

Cuando se producen fallas las magnitudes asociadas al sistema eléctrico de potencia alcanzan valores situados fuera de sus rangos normales y determinadas áreas del sistema pueden operar en condiciones desequilibradas. En caso de no tomar ningún tipo de control de la falla, esta se prolongaría a través de la red y sus efectos como consecuencia de todo ello, sería que importantes zonas podrían quedar fuera de servicio y la confiabilidad del sistema disminuiría. La optimización de un sistema de potencia va encaminado en mantener tanto la calidad como la continuidad del servicio, intentando que ambas características se afecten durante un tiempo mínimo. Consecuentemente, es necesario, que la red sea planificada de manera que permita ofrecer alternativas de operación que posibilite el suministro de energía a todos los centros de consumo, aunque se produzca fallas que afecten a los elementos de generación, transmisión y distribución [1].

El sistema de protección tiene por objeto la detección, localización y desconexión en forma automática del equipo afectado a fin de minimizar los efectos que el funcionamiento prolongado en estado de falla tendría sobre la instalación. Independientemente del punto en que se produzca la falla, la primera reacción del sistema de protección es la desconexión del circuito en falla, para impedir que la falla se prolongue y disminuir el tiempo de permanencia bajo esfuerzo extremo en los equipos directamente afectados. La desconexión del circuito por fallas implica una serie de alteraciones como sobre corrientes, descompensación entre generación y el consumo con cambios de frecuencia, etc.



**Figura 3. 4.** Diagrama de un Sistema de Protección.

Los equipos de protección manejan interruptores que son capaces de desconectar el elemento defectuoso cuando el equipo de protección envía una señal. Estos interruptores están

localizados de tal manera que cada generador, transformador, barra, línea de transmisión, etc. pueda desconectarse por completo del resto del sistema.

### **Perturbaciones eléctricas**

En un sistema eléctrico se manifiesta como variaciones en la forma de onda de las magnitudes eléctricas (voltaje, corriente y frecuencia) resultantes de una falla o mala operación afectando el funcionamiento de los equipos.

Estas deformaciones de onda en magnitud se presentan con caídas de voltaje o sobre voltaje y en frecuencia con valores distintos a la fundamental ( $60\text{Hz}$ ).

Las perturbaciones eléctricas en los sistemas eléctricos pueden ser [2]:

- Interrupciones
- Alto voltaje de corta duración
- Alto voltaje constante
- Bajo voltaje de corta duración
- Bajo voltaje constante
- Picos de alto voltaje
- Ruido eléctrico
- Variaciones en la frecuencia
- Distorsión armónica

### **Afectaciones de las perturbaciones**

La afectación en un sistema eléctrico disminuye la vida útil de los elementos que lo componen, las cuales pueden ser: [2]

- Sobre calentamiento de cables, conductores y transformadores
- Incremento de las pérdidas reactivas de los transformadores
- Errores en la medición
- Operación incorrecta de sistemas de protección
- Daños en equipos sensibles

### **3.3 Introducción a las protecciones eléctricas**

Las protecciones eléctricas son sistemas con un ordenamiento lógico que cumplen un papel importante de seguridad a uno o varios elementos del sistema eléctrico de potencia para que en situaciones de falla se pueda evitar daños y una reposición inmediata del servicio de energía eléctrica, por lo tanto se debe conocer sus componentes [3].

- Relés de protección
- Transformadores de medida
- Disyuntores de poder
- Circuitos de control

#### **Ventajas**

El contar con un esquema de protección provee una mayor confiabilidad en el servicio eléctrico, si la actuación ante las condiciones anormales es rápida se minimiza el daño en todos los equipos conectados al sistema, se evitan costos por reparación, se reducen las perturbaciones que pudieran obligar la salida de operación de los elementos que se encuentren libres de falla, si el despeje del área afectada es correcto se reduce en gran medida la suspensión del servicio. Algunas de las consideraciones en las cuales se sustenta la importancia de contar con un esquema de protección se detallan:

- a) Dar continuidad en el servicio aislando solo los equipos fallados.
- b) Limitar los daños en los equipos fallados.
- c) Minimizar la posibilidad de incendio.

#### **3.3.1 Relés de protección**

El avance de la tecnología electrónica digital demanda la actualización de conocimientos para un correcto funcionamiento y una adecuada puesta en marcha de los relés de protección en un sistema eléctrico, garantizando la confiabilidad de las líneas de transmisión, generadores, transformadores y barras.

#### **Características operativas**

En su conjunto, el sistema de protecciones que lo componen deben satisfacer las siguientes características operativas: [3]

- Selectividad, en un relé es la capacidad de que el mismo reconozca una falla dentro del área que protege, y posteriormente dé la orden de disparo a los disyuntores necesarios para despejar la falla.
- Sensibilidad, se encuentra asociada con la operación del relé cuando existe una condición de falla mínima que se pueden presentar en el sistema.
- Rapidez, se refiere al tiempo que se demora el relé en operar, este parámetro es muy importante dado que un despeje rápido de la falla permite que el sistema se mantenga estable.
- Fiabilidad, es la medida del grado de confianza de que un sistema de protección va a operar correctamente.

### **Los relés se clasifican:**

Por su función, permite monitorear, sincronizar y resetear el equipo de protección según [3]:

- Principio de operación, se basa en el balance de la magnitud de corriente, porcentaje de operación.
- Número de entradas, monofásico, bifásico y trifásico.
- Tipo de actuación, de acuerdo por sobrecorriente o bajo voltaje.

Por su construcción: [3]

- Relevadores electromagnéticos o electromecánicos, están formados por una bobina y unos contactos que pueden conmutar corriente continua o alterna.
- Relevadores de estado sólido, es un dispositivo electrónico cuya principal característica es su alta frecuencia de operación y su señal analógica recibida a través de los valores medidos subsecuentemente convierte en una señal binaria.
- Relevadores digitales, los relés digitales forman parte de la quinta generación de relevadores los cuales nacen en los años noventa a partir del uso de los microprocesadores.

Por la señal de entrada: [3]

- Relevadores de corriente, de sobrecorriente o de baja corriente.
- Relevadores de voltaje, de sobre voltaje o de bajo voltaje.

- Relevadores de potencia, de sobre potencia o de baja potencia.
- Relevadores de frecuencia, de sobre frecuencia o de baja frecuencia.
- Relevadores de temperatura, operan de acuerdo a una temperatura predeterminada en el componente protegido.
- Relevadores de presión, de sobrepresión o de baja presión.
- Relevadores de velocidad, de alta o baja.

Por su tipo de protección: [3]

- Relevadores de sobrecorriente.
- Relevadores de distancia, abren circuito de acuerdo a la distancia entre el transformador de corriente del relevador y la falla.
- Relevadores diferenciales, actúan ante la diferencia escalar o vectorial entre las magnitudes de corriente o de voltaje.
- Relevadores de bajo voltaje.
- Relevadores de tierra.

### **3.4 Transformadores de instrumento para relevadores.**

En los circuitos eléctricos se considera las señales de voltaje y corriente a través de dispositivos denominados transformadores de instrumento como son de corriente y de potencial de acuerdo a las especificaciones técnicas requeridas.

#### **3.4.1 Transformadores de corriente (TC)**

El transformador de corriente es el encargado de tomar la señal de corriente del sistema y reflejarlo al lado secundario para brindar la señal adecuada a los equipos de medición y protección que se tengan conectados en el lado secundario de este transformador de corriente.

Este transformador se encuentra conectado en serie con el circuito de potencia de alto voltaje.

Los transformadores de corriente pueden alimentar instrumentos de medición o de protección.

Las diferencias en las aplicaciones se hacen en base a la precisión requerida, las características más relevantes de acuerdo a las normas IEC, IEEE son [4]:

- Relación de transformación
- Designación y clase de precisión

- Número de devanados
- Carga
- Corriente primaria y secundaria nominal
- Error de relación
- Error de fase
- Nivel de aislamiento nominal
- Corriente térmica permanente

### Saturación en los TC's

Los errores que se pueden dar en los TC's se debe a la corriente de excitación de los mismos. La corriente de magnetización de un TC depende de la sección y longitud del circuito magnético, del número de vueltas en el devanado y de las características magnéticas del material.

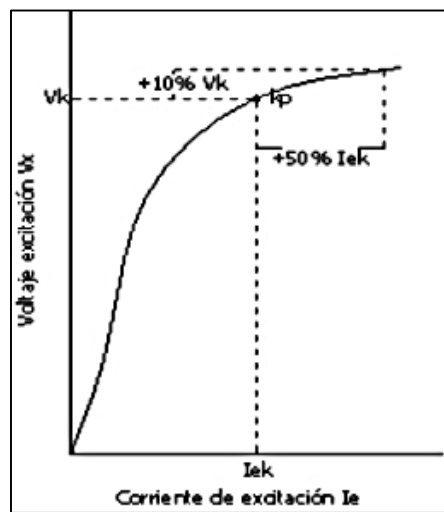


Figura 3. 5. Curva de saturación de los TC's [5].

### Corriente de inrush o magnetización

Es un fenómeno de condición transitoria que ocurre cuando el transformador es energizado o cuando el voltaje primario retorna a su valor normal después de despejar una falla externa. El inrush de magnetización produce un flujo de corriente en el devanado primario, el cual no tiene equivalente en el devanado secundario. El efecto neto es similar a la situación donde hay una falla interna en el transformador.

El valor de esta corriente puede llegar a cien veces la corriente vacío en régimen permanente del transformador es decir se considera el cinco u ocho por ciento de su corriente nominal, amortiguándose rápidamente en unos pocos ciclos.

### Características principales de los TC's

- En un margen amplio de variación de la carga en el secundario, la corriente secundaria no sufre cambios apreciables.
- El circuito secundario de un TC no debe ser abierto si el primario se halla energizado.
- Los errores de relación y ángulo de la fase puede calcularse fácilmente si la característica de magnetización y la impedancia de carga son conocidas.

### Valores nominales

Corrientes primarias: en el devanado primario las corrientes se normalizan por rangos de corriente, algunos rangos son:

**Tabla 3.1.** Valores de corrientes normalizadas para relación de transformación [1].

Corriente (Amperios)					
50 A	200 A	500 A	1 000 A	2 000 A	4 000 A
100 A	300 A	600 A	1 200 A	2 500 A	
150 A	400 A	800 A	1 500 A	3 500 A	

Corrientes secundarias: los valores nominales son 1 o 5 amperios siendo el valor de 5 el más común. En caso de extra alto voltaje se prefiere usar 1 amperio en grandes longitudes de cable, uso de equipos de control y protección basado en microelectrónica.

Burden: es la carga conectada al circuito secundario del TC, para determinar el burden es necesario correlacionar la potencia total en volta amperios o la impedancia en ohmios con el factor de potencia.

### Precisión en TC para protección.

La clase de precisión está dada por el más alto porcentaje de error compuesto, permitido al valor instantáneo de la corriente primaria. El valor máximo de corriente que debe soportar un

TC se conoce factor límite de exactitud y se puede expresar en amperios primarios o secundarios.

Los TC's para protección deben responder a las condiciones de falla y por lo tanto, sus límites de exactitud se deben mantener en valores razonables dentro de una amplia gama de corriente, varias veces a la corriente nominal.

El error compuesto se expresa como un porcentaje del valor eficaz de  $I_p$  así [4]:

$$E_c = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n * i_s - i_p)^2 dt}$$

Dónde:

$E_c$ : Error compuesto

$I_p$ : Valor rms de la corriente primaria

$i_p$ : Valor instantáneo de la corriente primaria

$i_s$ : Valor instantáneo de la corriente secundaria

$T$ : Duración del ciclo

$K_n$ : Relación de transformación nominal

Clase de precisión (identificación P), el límite del error de corriente porcentual para la corriente primaria límite de precisión asignada.

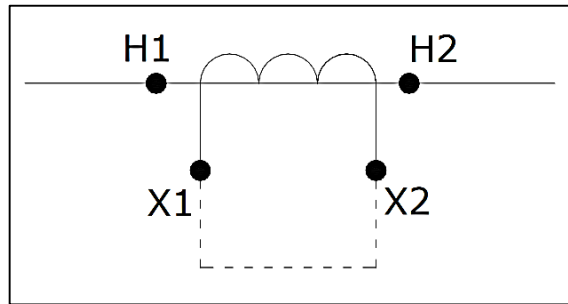
Corriente primaria límite de precisión asignada, es el valor más elevado de la corriente primaria hasta el cual el transformador deberá cumplir con las especificaciones relativas al error compuesto.

Factor límite de precisión, es la relación entre la corriente primaria límite de precisión asignada y la corriente primaria asignada, por ejemplo la clase de precisión 10 P 20 significa el factor límite 20 veces su corriente nominal y el 10 por ciento de error compuesto.

### **Polaridad y conexiones**

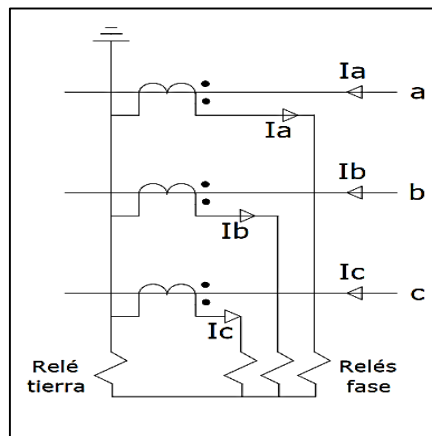
La polaridad de los TCs está dada por marcas o por símbolos H1 y H2 en el primario y X1 y X2 en el secundario. La convección es que, si la corriente primaria entra por el terminal H1, la

corriente secundaria sale por X1; o bien, si la corriente primaria entra por el terminal H2, la corriente secundaria sale por X2



**Figura 3. 6.** Representación más común de los TC's [6].

Las conexiones de los TCs se realizan de acuerdo a la polaridad de los mismos. Dependiendo de qué tipo de uso se le esté dando a ellos y que relé esté usándose en la protección, tenemos ejemplos de las conexiones Estrella.



**Figura 3. 7.** Conexión Estrella de TC's [6].

### 3.4.2 Transformadores de potencial (TP)

También conocidos como transformadores de voltaje, contienen un solo núcleo magnético y normalmente con un arrollamiento secundario, diseñados para que las caídas de voltaje en los devanados sean pequeñas y la densidad de flujo en el núcleo este por debajo del valor de saturación, así que la corriente de magnetización es pequeña [4].

El voltaje secundario es de 115 o 120 *voltios* con los valores línea-neutro correspondientemente.

### **Especificaciones técnicas según normas IEC-IEEE [7]:**

- Relación de transformación
- Designación y clase de precisión
- Carga
- Voltaje primaria y voltaje nominal
- Error de relación
- Error de fase
- Nivel de aislamiento nominal
- Nivel de voltaje y servicio
- Factor de voltaje nominal
- Altitud sobre nivel del mar

### **Características generales**

- Aislar el circuito secundario (bajo voltaje) del circuito primario (alto voltaje).
- Entregar en el secundario, un voltaje proporcional al voltaje primario a una potencia máxima dada en voltamperios y dentro de ciertos límites de errores especificados.
- El devanado primario se conecta en paralelo con el sistema en conexión fase-fase para voltajes menores de 34.5 kV y mayores a este voltaje es fase-tierra según las necesidades.

### **3.5 Transformadores**

Es una máquina eléctrica estática que permite aumentar o disminuir los niveles de las magnitudes eléctricas como voltaje o intensidad en un circuito de corriente alterna manteniendo su potencia [8].

Los transformadores por su diseño y construcción son considerados transformadores de potencia según la norma IEC 60076 y generalmente son instalados en el extremo receptor de las líneas de transmisión de alto voltaje.

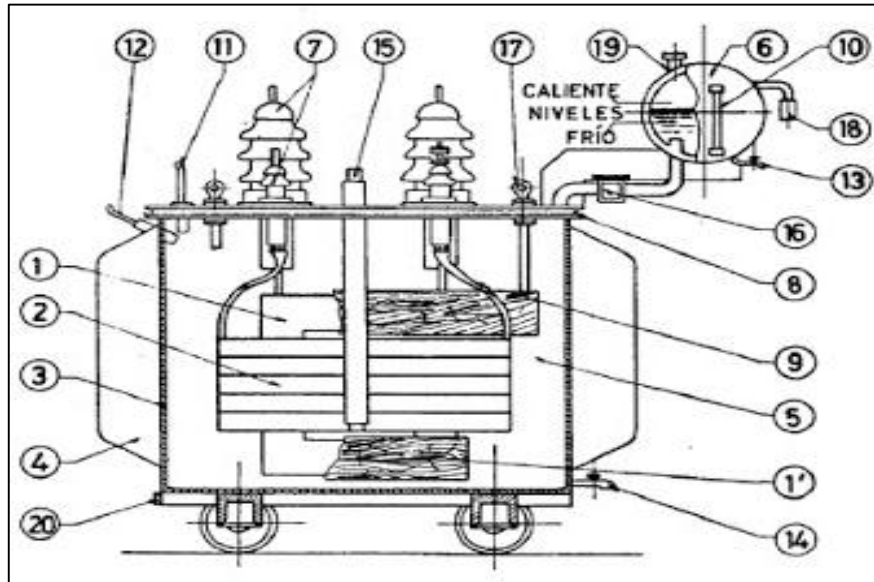
### **Consideraciones económicas**

El transformador es el activo más importante que tiene el sistema eléctrico de potencia por lo tanto se requiere realizar un análisis técnico para determinar un esquema de protección que

sea factible, equilibrando la combinación de los factores de sensibilidad, selectividad y rapidez.

### 3.5.1 Transformador de potencia

Los transformadores de potencia están constituidos por las siguientes partes:



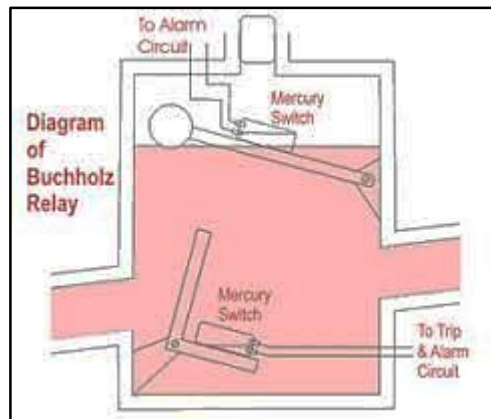
**Figura 3. 8.** Partes del transformador de potencia [8].

- |                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| 11. Termómetro               | 1. Núcleo                  |
| 12. Termómetro               | 2. Devanados               |
| 13. Grifo de vaciado         | 3. Cuba o tanque           |
| 14. Grifo de toma de muestra | 4. Aletas de refrigeración |
| 15. Conmutador de tomas      | 5. Aceite                  |
| 16. Relé Buchholz            | 6. Depósito de expansión   |
| 17. Cánamos de transporte    | 7. Aisladores              |
| 18. Desecador de aire        | 8. Juntas                  |
| 19. Tapón de llenado         | 9. Conexiones              |
| 20. Puesta a tierra          | 10. Nivel de aceite        |

#### **Protección Relé Buchholz**

Es importante señalar el papel que cumple la protección del relé Buchholz, para medios de producción electrotécnicos con relleno de material aislante líquido (aceite dieléctrico). El calentamiento anormal de los arrollamientos del transformador reduce el nivel de

refrigeración del aceite produciendo pequeñas burbujas de gas elevándose al tanque de expansión y son captadas por el relé, almacenadas en la caja para ser eliminados progresivamente, de este modo se cierran contactos accionados por flotadores y se realiza un aviso o una desconexión.



**Figura 3. 9.** Partes constructivas del relé buchholz [8].

### **Protección contra sobrecalentamiento**

El relevador de sobre temperatura es un elemento sensible a los cambios de temperatura, dispone de contactos de control de acuerdo a las necesidades. Los hay de imagen térmica o de tubo capilar y es usado para arrancar sistemas de refrigeración automática y para dar alarma o producir señal de disparo según la magnitud del aumento de temperatura [4].

### **Protección de sobrecorriente**

Son usualmente suministrados con un elemento instantáneo y un elemento de tiempo diferido dentro de la misma unidad. El ajuste de los relevadores de sobrecorriente incluye la selección de parámetros que definen las características tiempo- corriente de ambas unidades (instantánea y de tiempo diferido). Este proceso tiene que ser realizado dos veces, una vez por los relevadores de fase y luego repetido por los relevadores de tierra. Aunque los dos procesos son similares, la corriente de cortocircuito trifásica debe usarse para calibrar los relevadores de fase pero la corriente de falla fase-tierra debe usarse para los relevadores fase-tierra [4].

### **Protección de presión**

Estos relevadores son dispositivos especializados para detectar problemas del transformador, detectando cambios súbitos en la presión del transformador o gas debida a fallas internas. El relevador de presión súbita tiene una característica de tiempo inverso. Este opera más rápido para fallas severas, además puede ser usado en conjunto con otros tipos de transformadores de

potencia o dispositivos de protección de reactores en derivación. Pueden ser usados en cualquier tipo de transformador [4].

### Protección del tanque a tierra

Usada cuando el tanque del transformador está aislado de tierra. Se coloca un TC entre el tanque y la tierra conectando un relevador de sobrecorriente 50 o 51 en el secundario del TC [4].

### 3.5.2 Transformadores trifásicos

Según la necesidad del sistema se configura los grupos de conexión a través de tres devanados monofásicos como pueden ser delta-estrella, estrella-delta y estrella-estrella sea en lado primario o secundario del transformador.

### Conexiones normalizadas

**Tabla 3.2.** Conexiones normalizadas para transformadores trifásicos [4].

Dd0	Yy0	Dy1	Yd1	Dz0	Yz1
Dd2	Yy6	Dy5	Yd5	Dz2	Yz5
Dd4		Dy7	Yd7	Dz4	Yz7
Dd6		Dy11	Yd11	Dz6	Yz11
Dd8				Dz8	

### Nomenclatura General

La siguiente nomenclatura general es utilizada para indicar la conexión en transformadores trifásicos [4].

#### *Een*

Donde:

**E:** Representa la conexión sea estrella (Y) o delta (D) en el lado de alto voltaje

**e:** Representa la conexión, sea estrella (y) o delta (d) en el lado de bajo voltaje

**n:** Índice de desfase entre los voltajes del lado de alta y de baja.

Por ejemplo, para determinar el índice de desfase de:

- **Dy11:** Devanado de Alto Voltaje conectado en delta, Devanado de Bajo Voltaje conectado en estrella, Desfase entre los voltajes de fase de Alta y Baja de  $330^\circ$ .
- **Dy5:** Devanado de Alto Voltaje conectado en Delta, Devanado de Bajo Voltaje conectado en estrella, Desfase entre los voltajes de fase de Alta y Baja de  $150^\circ$

### **3.5.3 Fallas en los Transformadores de Potencia**

Se considera como una falla a cualquier evento externo o interno que provoque una operación inadecuada o incorrecta del transformador de potencia. La naturaleza de la falla puede ser eléctrica o mecánica.

#### **Consecuencias ante eventos de falla**

Dada una falla en un transformador de potencia las consecuencias son eventos negativos, a continuación, se detallan algunos de ellos:

- a) Altos costos de reparación por daños.
- b) Costos por pérdidas de la producción.
- c) Efectos adversos en el balance del sistema.
- d) Producen daños en los equipos adyacentes.

#### **Tipo de fallas**

Las fallas en los transformadores de potencia son las que se producen en su zona de protección que pueden provenir de las bobinas, puntos de interconexión, cambiadores de derivación con y sin carga, bushings, pérdida del aislamiento en el núcleo, fugas del líquido aislante, entre otras; denominándose fallas internas.

#### **Fallas internas y externas que afectan a los transformadores de potencia.**

Se agrupan en estas dos categorías, las que principalmente afectan a los transformadores de potencia se detallan a continuación:

**Tabla 3.3.** Fallas internas y externas que inciden sobre los transformadores de potencia [9].

<b>Fallas Internas</b>	<b>Fallas Externas en el sistema eléctrico de potencia</b>
Cortocircuito entre bobinas	Falla entre fases
Cortocircuito entre espiras	Falla a tierra
Falla a tierra	Sobrecarga
Falla en el cambio de posiciones de taps	Sobreexcitación (sobreflujo)
Bajo nivel del aceite dieléctrico (fuga)	Descargas atmosféricas

### **Zona de protección para transformadores de potencia**

Se debe garantizar que se proteja de manera efectiva:

- Al transformador contra las fallas o perturbaciones que se presenten en la red eléctrica donde se encuentra conectado.
- Al transformador en la medida de lo posible contra eventuales fallas o mal funcionamiento al interior del mismo transformador.
- Al transformador contra las condiciones adversas del medio ambiente que puedan causar un mal funcionamiento.

### **Protección restringida fallas a tierra**

Una falla a tierra en los enrollados constituye una de las fallas más comunes de un transformador y es detectada mediante una protección restringida contra fallas a tierra. De esta manera, los ajustes de la corriente y tiempo de operación son independientes de los restantes sistemas de protecciones, lográndose ajustes muy sensibles y tiempos de operación muy cortos. Este esquema de protección se combina con la protección Buchholz. Un esquema restringido, es un sistema de protección que se aplica particularmente a transformadores de conexión delta – estrella con neutro a tierra y puede instalarse en el enrollado conectado en estrella o en el conectado en delta.

### Protección de respaldo - fallas externas

La protección de respaldo se basa en relés de sobrecorriente, los cuales conviene energizarlos con transformadores de corriente, diferentes de los utilizados para la protección diferencial o para otro tipo de protección contra fallas internas, generalmente se emplean relés separados para fallas a tierra. Además, es recomendable ubicarlos en el lado de baja tensión en el caso que la fuente de alimentación a la falla esté del lado de alta tensión, de esta manera no estarán afectados a las corrientes de energización en vacío y por lo tanto, estas corrientes no influirán en la elección de los ajustes de la corriente mínima de operación ni en los tiempos de operación. En caso de que el transformador se encuentre conectado a más de una fuente de alimentación, es preciso instalar una protección de respaldo en cada uno de sus interruptores, y en la mayoría de los casos, para lograr una protección selectiva es necesario que algunos de los relés sean de sobrecorriente direccional

### 3.6 Protección diferencial

La Protección diferencial es un relevador cuyo funcionamiento se basa en la comparación de la corriente de entrada y de salida en una zona comprendida entre dos transformadores de medida [4].

La magnitud de corriente que entre en la zona protegida y no sea la misma a la salida significa que existe alguna anomalía o defecto por lo tanto circulará una pequeña intensidad por el relé provocando la desconexión del mismo, por lo contrario si la corriente que entra es igual a la salida no circulará corriente por el relé y este no actuará.

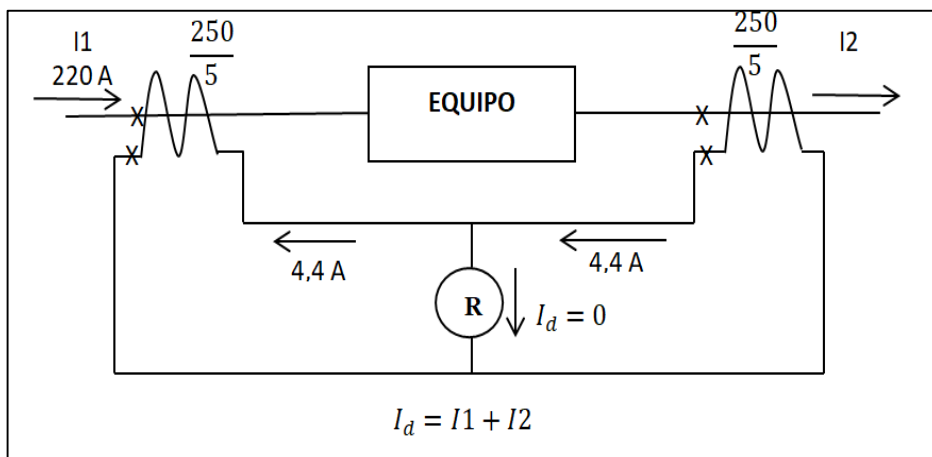
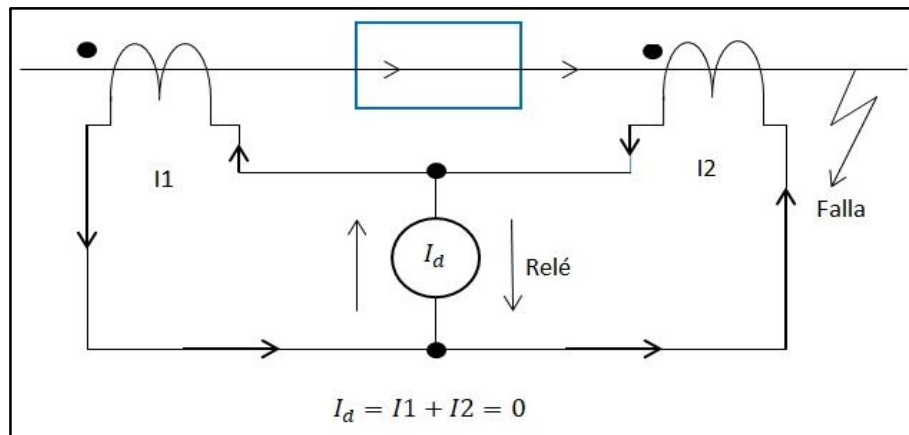


Figura 3.10. Principio de funcionamiento del relé diferencial 87T [4].

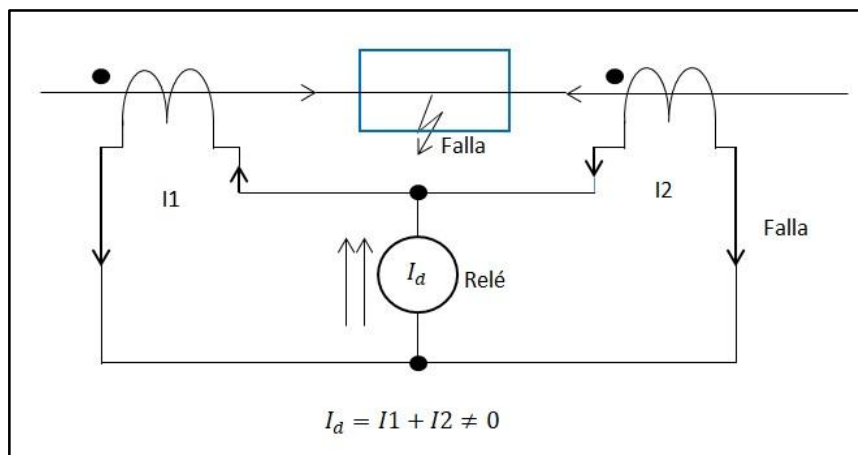
En conclusión toda protección diferencial resulta ser especialmente selectiva de acuerdo a la necesidad del sistema debido a que, no responde ante fallas que no estén dentro de su zona de protección.

En la representación de la Figura 3.17. el flujo de corriente que circula a través del relé diferencial, es igual a cero, por lo tanto, esta no opera.



**Figura 3.11.** Representación cuando el relé no opera [4].

En esta figura se puede apreciar como el sentido de corriente cambia y cuando pasan por el relé se realiza la operación matemática dándonos como resultado un número diferente de cero, por lo tanto hace operar al relé.



**Figura 3.12.** Representación de operación del relé [4].

## Funcionamiento del relé diferencial

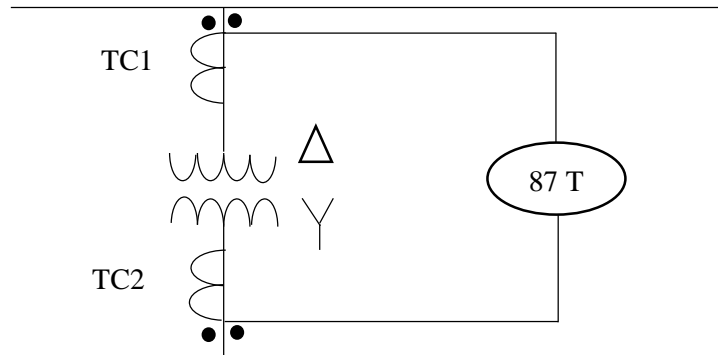


Figura 3. 13. Protección diferencial para transformadores.

### La corriente del primario:

$$I_P = \frac{S}{\sqrt{3} * V_L}$$

$$I_1 = I_P$$

Dónde:

$I_p$  = es la corriente del lado primario del transformador

$V_L$  = es el voltaje línea del primario

$S$  = es la potencia del transformador

### La corriente del secundario:

$$I_S = \frac{S}{\sqrt{3} * V_L}$$

$$I_2 = I_S$$

Dónde:

$I_S$  = es la corriente del lado primario del transformador

$V_L$  = es el voltaje línea del secundario

$S$  = es la potencia del transformador

### La corriente diferencial

$$I_d = |I_1 - I_2|$$

Dónde:

$I_d$  = Corriente de operación

$I_1$  = corriente del lado primario

$I_2$  = corriente secundario

### La corriente de restricción:

$$I_{res} = \frac{|I_1 + I_2|}{2}$$

### Corriente de operación mínima:

$$I_{op\ min} = m * I_{res} + b$$

Dónde:

$I_{op\ min}$  = corriente de operación mínima

$m$  = porcentaje de la pendiente de operación

$I_{res}$  = corriente de restricción

$a$  = corriente de arranque

### Zona de operación del relé diferencial

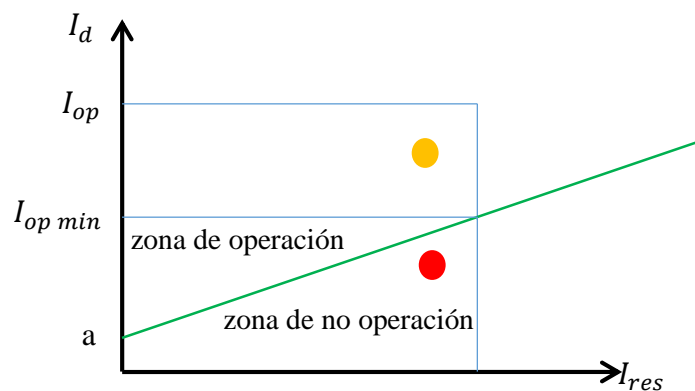


Figura 3. 14. Pendiente de operación del relé diferencial.

Como se puede apreciar en la Figura 3.16 Se observa el funcionamiento del relé diferencial 87T, tomando en cuenta que existen dos zonas para la operación del relé como es:

- **Zona de operación**

Se produce cuando la corriente mínima de operación es menor a la corriente diferencial es decir que habrá una corriente lo suficientemente alta que circulara por el relé haciendo que este actué.

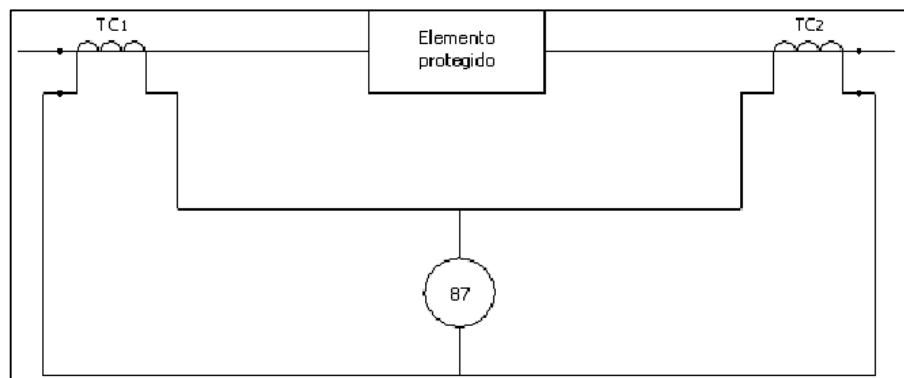
- **Zona de no operación**

Cuando existe una corriente mínima de operación igual o mayor a la corriente diferencial, es decir que la corriente es muy pequeña para que haga operar al relé.

### 3.7 Protección diferencial para transformadores

La Protección diferencial utiliza dos señales para su operación, básicamente el relé opera cuando existe una diferencia escalar o vectorial entre las dos magnitudes eléctricas iguales. Este relé se lo utiliza básicamente en Transformadores, Generadores y Barras de la Subestaciones.

En el siguiente esquema se muestra la conexión típica de esta protección:



**Figura 3.15.** Conexión típica del relé de protección [4].

Se denomina como falla externa cuando teniendo en consideración el sentido de la corriente, que los dos TC's sean de iguales características y la conexión de los mismos sea adecuados, se puede decir que la corriente que circula por el relevador 87 es cero o muy pequeña [4].

$$I_d = I_1 - I_2$$

Se considera falla que existe una falla interna teniendo en consideración el sentido de la corriente, que los dos TC's sean de iguales características y la conexión de los mismos sea adecuados, se puede decir que la corriente que circula por el relevador 87 no es cero [4].

$$I_d = I_1 + I_2.$$

Sin embargo esta configuración depende que las corrientes comparadas sean similares, esto no siempre sucede, a continuación se listan situaciones por la que se pueden tener diferentes corrientes en el secundario de los TC's:

- Sympathetic Inrush
- Corrientes de magnetización de Inrush
- Variación de corrientes debido a cambios de taps (OLTC)
- Diferencia de TC's en el lado de alto y bajo voltaje de un transformador Saturación de los TC'S.

El relé diferencial no debe ver la corriente de magnetización como una falla interna, por lo que es necesario tener algún método para distinguir entre la corriente de magnetización y la corriente de falla. Estos métodos incluyen:

- La utilización de un relevador diferencial con la sensibilidad adecuada para hacer frente a la corriente de magnetización, usualmente obtenida por una unidad que introduce un retraso de tiempo para cubrir el período del pico inrush inicial.
- El empleo de una unidad de restricción de armónicos, o una unidad de supervisión en conjunto con una unidad diferencial.
- Inhibición del relevador diferencial durante la energización del transformador.

### **3.7.1 Protección diferencial en transformadores trifásicos $3\phi$ .**

La implementación de la protección diferencial se realiza caso por caso debido a que varía de acuerdo a su configuración y grupo vectorial de los transformadores trifásicos [10].

Con el fin de aplicar la protección diferencial a transformadores trifásicos, los siguientes factores deben ser tomados en cuenta:

- Relación de Transformación
- Conexión del transformador
- Cambiador de taps
- Corriente Inrush de Magnetización

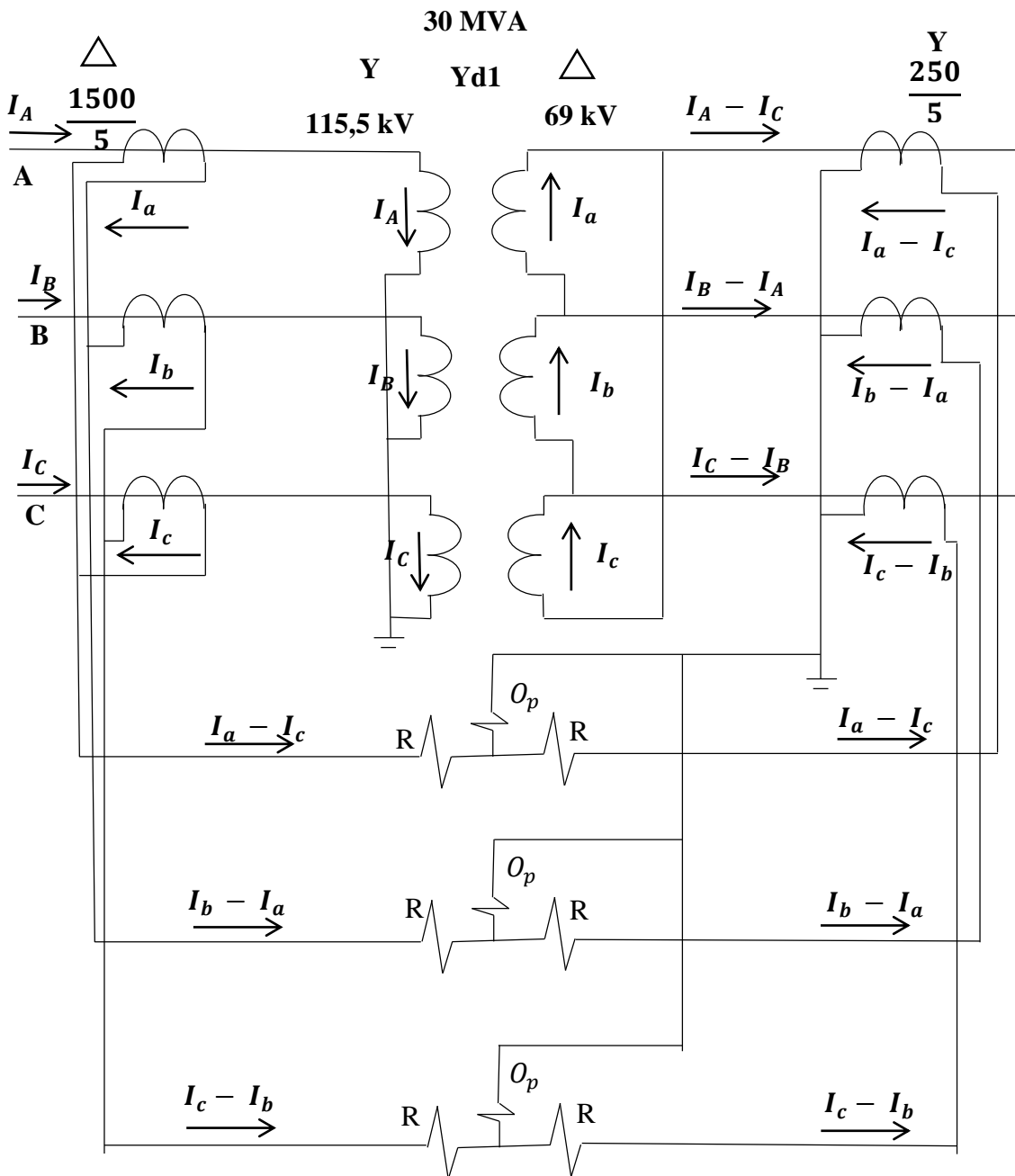
Los siguientes factores deben ser tenidos en cuenta cuando se considera la selección de los TC's en esta aplicación.

- a) En forma general en el lado de estrella de un transformador estrella-delta deben ser conectados en delta, y los del lado delta deben ser conectado en estrella.

- b) Los relevadores deben ser conectados para admitir la corriente de carga que entra por un lado del transformador y que sale por el otro.
- c) Las relaciones de los TC's deben seleccionarse para producir el máximo balance posible entre las corrientes secundarias de ambos lados del transformador bajo condiciones de carga máxima.

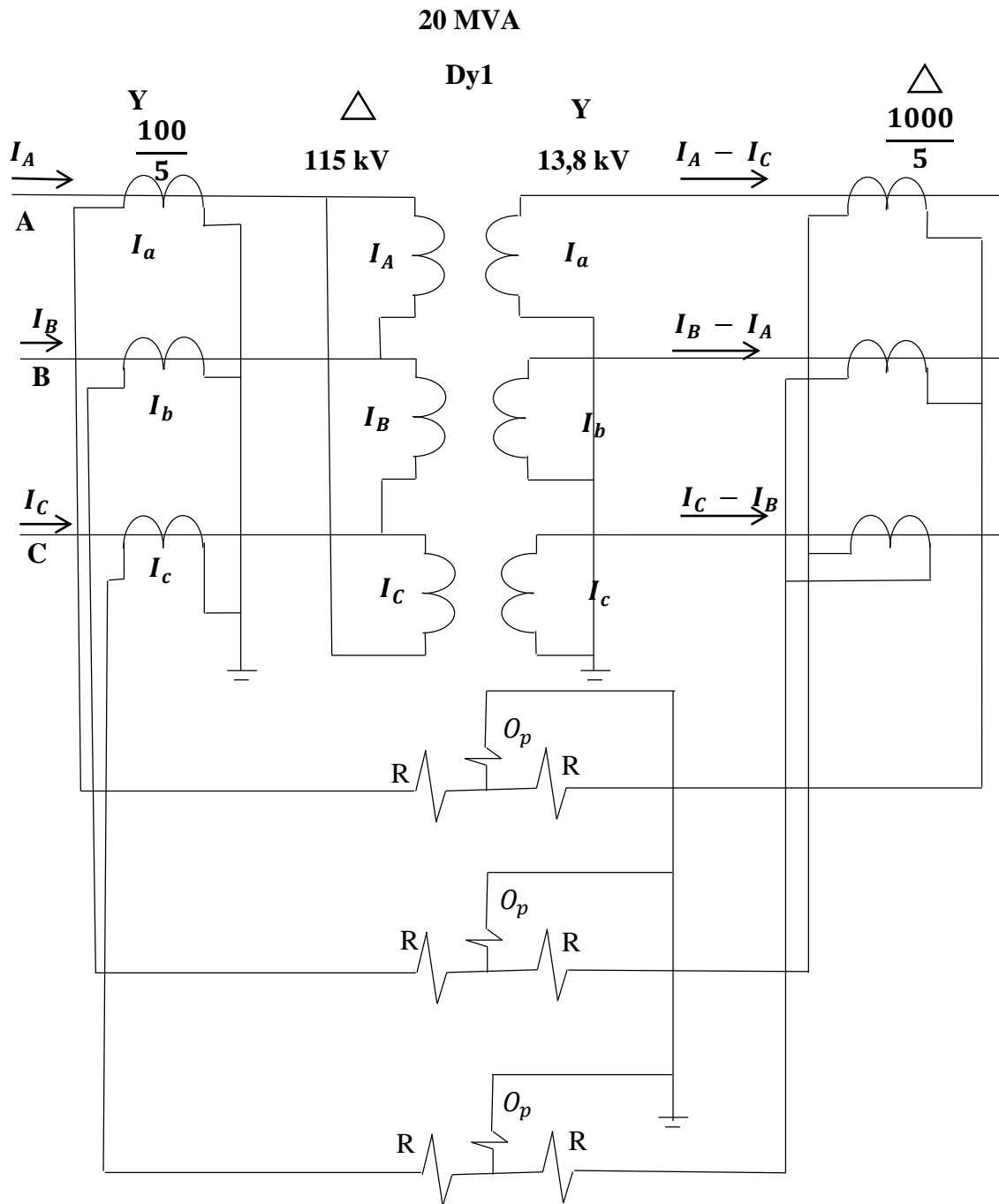
**Conexiones típicas para protecciones trifásicas**

- Conexión estrella – delta



**Figura 3.16.** Conexión para transformadores trifásicos Yd1 [4].

- Conexión delta-estrella

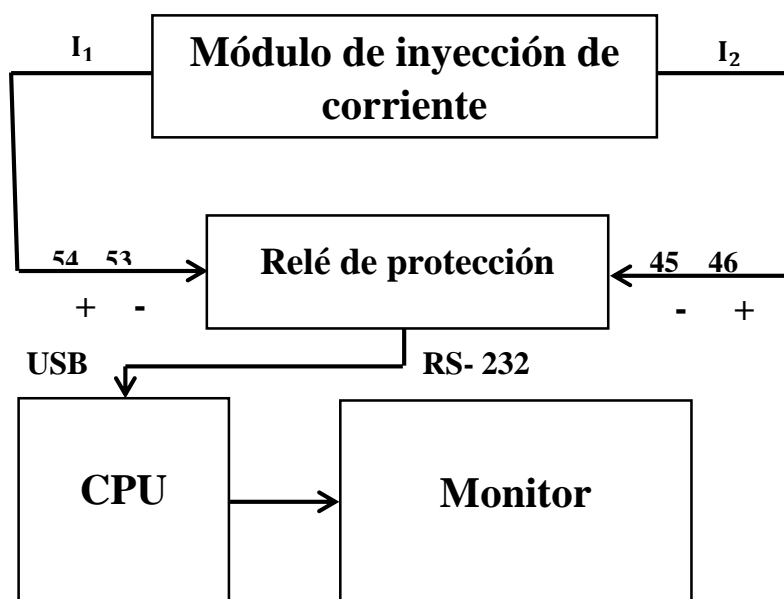


**Figura 3.17.** Conexión para transformadores trifásicos Dy1 [4].

## 4 IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA DETERMINACION DE FALLAS CON LA UNIDAD TPU2000R.

La Empresa Eléctrica Quito brinda las facilidades a través de la suscripción del convenio de apoyo para el desarrollo del trabajo de titulación, lo cual permite a los estudiantes realizar el proyecto utilizando una mochila monofásica de pruebas de relés bajo la asesoría y orientación del representante asignado por la empresa. Adjunto **Anexo II**.

### 4.1 Diagrama de bloques



**Figura 4. 1** Funcionamiento del relé de protección.

El módulo de pruebas se conforma por:

#### 4.1.1 Equipo de inyección de corriente

Es el equipo denominado mochila monofásica de prueba de relé que tiene dos salidas de corriente identificadas como  $I_1$  e  $I_2$ .

#### 4.1.2 Relé de protección

Es la unidad TPU2000R marca ABB con terminales de entradas de corriente de acuerdo a la nomenclatura siguiente: Ver **Anexo III**

- Fase A ( $I_1$  (54, 53) -  $I_2$  (46,45))
- Fase B ( $I_1$ (52,51))-( $I_2$ (44,43))
- Fase C ( $I_1$ (50,49))-( $I_2$ (42,41))

### 4.1.3 Monitor – CPU

La configuración y monitoreo se lo realiza a través de un monitor que se conecta al CPU con el cable VGA. El CPU a través de la comunicación externa se enlaza con el relé y en el cual se encuentra instalado el software WinECP de ABB que permite ingresar los datos característicos del transformador de potencia calculando automáticamente las corrientes nominales, corrientes de cortocircuito y relación de transformación (TC's). Ver **Anexo IV**

La mochila monofásica de pruebas limita realizar la operación del relé trifásicamente sin embargo la conexión fase por fase también permite provocar la actuación dentro y fuera de la zona de protección del relé.

### 4.2 Esquema estructural

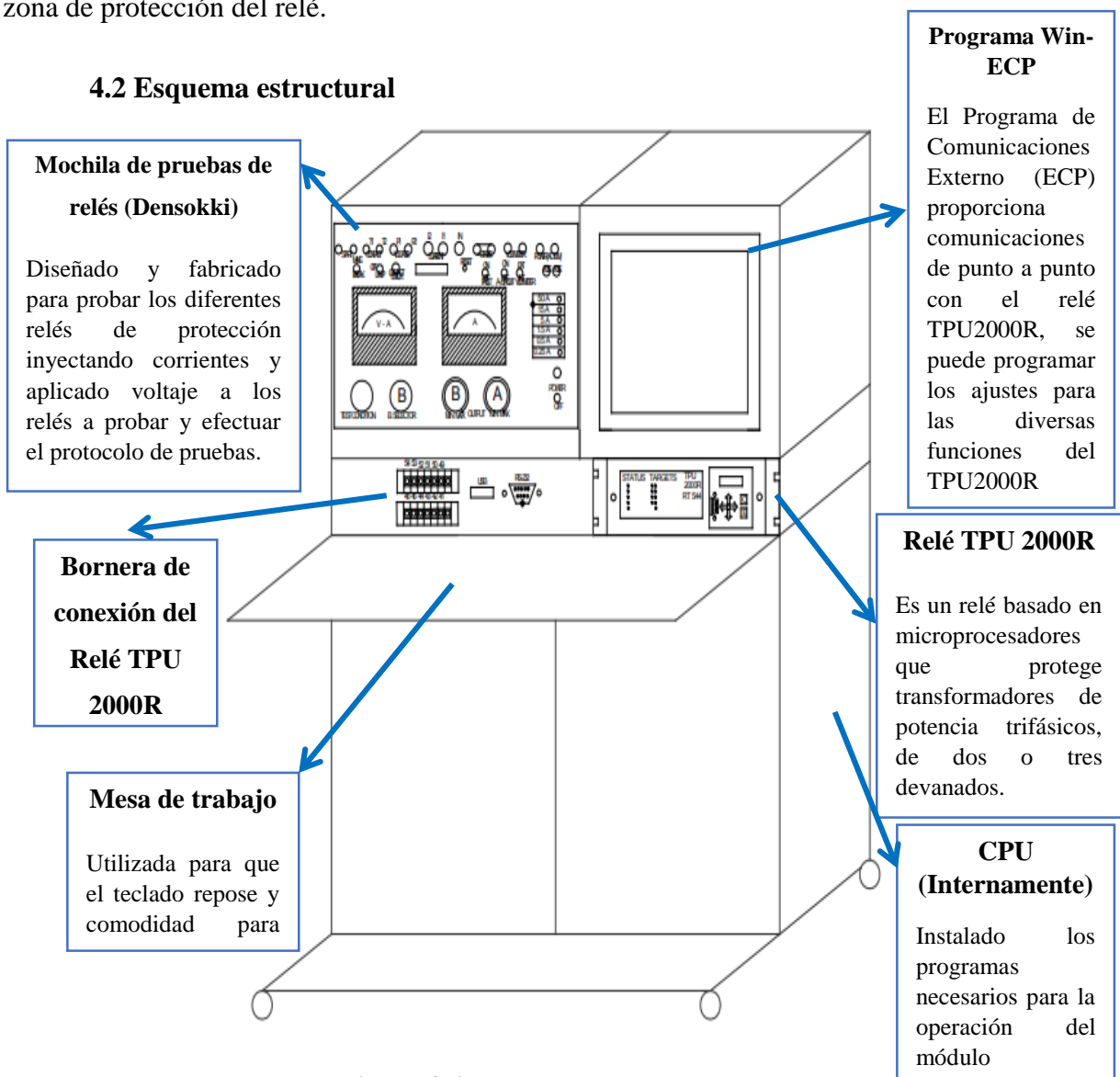


Figura 4. 2. Módulo de pruebas de Relé

El diseño, construcción y manejo del módulo se encuentra descrito en el manual del módulo de calibración y seteo del relé diferencial TPU 2000R para protección de transformadores, parte de este trabajo.

### 4.3 Validación técnica

La mochila monofásica de pruebas con alimentación de 123 voltios de corriente alterna, es un equipo analógico facilitado por la Empresa Eléctrica Quito, está constituida por dos variacs:

- a) Para inyección de corriente primaria
- b) Para inyección de corriente secundaria

Para verificar el porcentaje de error de las medidas de corriente y voltaje se procede a validar considerando como equipo patrón a la pinza voltamperimétrica calibrada en el año 2017 bien perteneciente a la Empresa Eléctrica Quito ver **Anexo V**.

#### VALIDACIÓN TÉCNICA

PINZA VOLTAMPERIMÉTRICA DIGITAL  
AC/DC

MARCA FLUKE

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

RANGO DE CORRIENTE 0 - 1000 A.

RANGO DE VOLTAJE 0 - 600 V.

**Tabla 4. 1. Datos medidos para el porcentaje de error.**

PINZA VOLTAMPERIMÉTRICA	MOCHILA MONOFÁSICA PRUEBAS	DE	Porcentaje de error
$I_1$ Corriente Medida (A.)	$I_1$ Corriente Medida (A.)		%
0,9	1		0,1
$I_2$ Corriente Medida (A.)	$I_2$ Corriente Medida (A.)		
4,8	5		0,04
Voltaje Medido (V.)	Voltaje Medido (V.)		
122	123		0,99

## **5 METODOLOGÍA**

### **5.1 Métodos generales**

En el presente trabajo de propuesta tecnológica que se desarrollará en el laboratorio de ingeniería eléctrica con el tema de “Diseño e Implementación de un módulo de pruebas para la determinación de fallas, con la Unidad TPU 2000R, en la Universidad Técnica de Cotopaxi”, se aplicará los métodos: exploratorio, diseño, experimental.

#### **5.1.1 Exploratorio**

Se consideró el método exploratorio para plantear la primera visita al laboratorio de la Empresa Eléctrica Quito, en donde se procedió a realizar pruebas previas al Relé TPU2000R, la misma que se encontraba en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi sin utilidad, esto determinó su funcionamiento óptimo. A partir de la misma se procede a encaminar el tema de tesis nombrada ya anteriormente.

#### **5.1.2 Diseño**

Una vez verificada la operatividad del equipo se procede a realizar el plano arquitectónico del módulo para determinación de fallas, constituido por los siguientes elementos: relé TPU2000R, Mochila de Pruebas (Densokki) ver **Anexo VI**, un monitor, un CPU y su respectivo teclado, conjuntamente se desarrollará un manual de usuario del módulo, y una guía de prácticas.

#### **5.1.3 Experimental**

Basándonos en el método experimental se inicia el estudio del Relé TPU 2000R, el mismo que posee distintas funciones de protección, mediante esta investigación se optó por la protección diferencial 87T, utilizando la mochila de pruebas (Densokki), la misma que inyecta corrientes nominales primarias y secundarias, al detectar el desbalance de las mismas, a través de un logaritmo programable que envía una señal al relé haciendo que este opere, desconectando y evitando daños a los equipos ante cualquier tipo de falla interna.

### **5.2 Técnicas**

#### **5.2.1 Lectura comprensiva**

Para el desarrollo del presente trabajo se considerará la lectura comprensiva, ya que se debe analizar el comportamiento del relé TPU2000R, basados en la teoría de las diferentes fuentes bibliográficas. Este proceso nos permite reforzar nuestro conocimiento adquirido en la cátedra

de Protecciones Eléctricas y deducir claramente la protección adecuada para fallas internas, la misma que para este trabajo se ha elegido la protección diferencial 87T.

### **5.2.2 Configuración**

El Diseño y la Implementación del módulo se encuentra configurado en el propio sistema del relé, como también en un programa externo de comunicación denominado WinECP.

- WIN ECP.- es un software propio de ABB que se comunica con el relé a través del puerto serial RS-232C de nueve pines (cable cruzado) a una computadora personal.

### **5.2.3 Experimentos**

Las diferentes prácticas de operación ante fallas se utilizó una mochila de pruebas (Densokki), que permitió inyectar los diferentes niveles de corrientes nominales primarias y secundarias, con el ajuste de la función diferencial 87 T, tomando en cuenta que previamente se realiza cálculos manuales para determinación de la curva de disparo del relé, permitiendo con esto demostrar la parte teórica con lo práctico.

## 6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En el laboratorio de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi se encuentra implementado un módulo de pruebas para la determinación de fallas con la unidad TPU 2000R seteadada con la función diferencial 87T y conectada a la mochila de pruebas, para lo cual se toma como referencia el sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Quito, de la subestación la MARIN, que se encuentra ubicada en el centro de la ciudad de Quito, en la calle Pedro Fermín Cevallos entre la Av. Pichincha y Chile. Esta subestación se alimenta por el lado primario con la línea de transmisión de 46 kV y entrega a través de un transformador de potencia de 8/10 MVA a 6.3 kV ramificándose en cuatro primarios (A,B,C,D ), más el alimentador del Trole, un exprés y un aéreo.

### 6.1 Caso de estudio N° 1

**Tema:** Verificación de las corrientes inyectadas monofásicamente en las fases a,b,c al relé a través del software WinECP.

Placa característica de acuerdo a nuestro requerimiento.

<b>TRANSFORMADOR DE POTENCIA</b>	
<b>Marca</b>	CG TRANSFORMERS
<b>Capacidad</b>	8 / 10
<b>Refrigeración</b>	ONAN/ONAF
<b>Voltaje en vacío</b>	
<b>Primario</b>	46000 V
<b>Secundario</b>	6300 V
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Conexión</b>	DY1
<b>Norma</b>	57.12.00-2010
<b>BIL</b>	650

### Cálculos realizados:

Para calcular las corrientes de carga máxima tanto en el lado de alta y lado de baja del transformador de potencia se considera la potencia del transformador y los niveles voltajes, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$I_{\text{nominal}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

- Corriente nominal primaria

$$I_p \text{ nominal} = \frac{10000 \text{ kV}}{46 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_p \text{ nominal} = \frac{10000 \text{ kV}}{46 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}} = \mathbf{125,51 \text{ A}}$$

- Corriente nominal secundaria

$$I_s \text{ nominal} = \frac{10000 \text{ kV}}{6,3 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_s \text{ nominal} = \frac{10000 \text{ kV}}{6,3 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}} = \mathbf{916,42 \text{ A}}$$

Se procede a calcular el 20 % de las corrientes nominales del transformador de potencia, las mismas que hacen referencia al 0.2 de la calibración del relé en la corriente de operación.

$$20 \% \text{ de la corriente nominal} = 125,51 \cdot 0,2 = \mathbf{25 \text{ Amperios}}$$

$$20 \% \text{ de la corriente nominal} = 916,42 \cdot 0,2 = \mathbf{183 \text{ Amperios}}$$

De igual forma procedemos a calcular la corriente base en el lado de alta y baja, resultado que será utilizado para calcular la corriente de falla con la multiplicación de ocho coma cinco en por unidad que es la impedancia dada por la placa característica del transformador.

- Corriente base primaria

$$I_{\text{base}} (H) = \frac{8000 \text{ kV}}{46 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}} = \mathbf{100,4 \text{ A}}$$

$$I_{\text{falla } 3\phi} (H) = \frac{1}{0,085} \cdot I_{\text{base}} (H) = \frac{1}{0,085} \cdot 100,4 \text{ A} = \mathbf{1181,74 \text{ A}}$$

- **Corriente base secundaria**

$$I_{\text{base}} (L) = \frac{8000 \text{ kV}}{6,3 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}} = \mathbf{733,14 \text{ A}}$$

$$I_{\text{falla } 3\phi} (L) = \frac{1}{0,085} * I_{\text{base}}(L) = \frac{1}{0,085} * 733,14 \text{ A} = \mathbf{8625,17 \text{ A}}$$

Para la selección de los TC's nos indica que bajo condiciones de máxima carga, la corriente en el lado secundario no debe exceder veinte veces la corriente nominal, por lo tanto se toma en cuenta las corrientes de fallas máximas y mínima. Entonces la corriente de falla máxima reflejada al secundario del TC tiene que ser menor a 100 A, para así evitar la saturación del TC debido a una corriente excesiva mucho mayor a la nominal.

**I nominal**

**I saturación**

**125,51 A**

$$\mathbf{1181,74 \text{ A} \Rightarrow 1181,74 \text{ A} * \frac{5}{150} = \mathbf{39,37 \text{ A} < 100}$$

$$TC_{\text{primario}} = \frac{150}{5} = \mathbf{30 \text{ A}}$$

**916,42 A**

$$\mathbf{8625,17 \text{ A} \Rightarrow 8625,17 \text{ A} * \frac{5}{1000} = \mathbf{43,12 \text{ A} < 100}$$

$$TC_{\text{secundario}} = \frac{1000}{5} = \mathbf{200 \text{ A}}$$

$$\mathbf{TC's = 10P20 \Rightarrow 20 * 5 = 100}$$

**En conclusión los TC's elegidos no se saturan**

- **Para los TAPs del relé:**

$$I_{L-L} = 125,5 * \frac{5}{150} = \mathbf{4,18 \text{ A}}$$

$$I_{L-L} = 916,42 * \frac{5}{1000} = \mathbf{4,58 \text{ A}}$$

$$I_{F-L} = \mathbf{4,58} * \sqrt{3} = \mathbf{7,93 \text{ A}}$$

**RESULTADOS:**

Las corrientes inyectadas al relé son reflejadas en el programa WinECP, para lo cual se procede hacer una tabla de resultados con la verificación del estado del equipo, el proceso de

estudio se realizó para las tres fases tanto para el lado de alto voltaje Tabla 6.1 y bajo voltaje en la Tabla 6.2.

**Tabla 6. 1.** Cuadro de resultados Alto Voltaje.

<b>Alto Voltaje(AV)</b>	<b><math>I_{inyectada}</math></b>	<b><math>I_{relé}</math></b>	<b>Estado del Equipo</b>
<b>A</b>	17A	17 A	Lee correctamente
<b>B</b>	21A	21 A	Lee correctamente
<b>C</b>	19A	19 A	Lee correctamente

**Tabla 6. 2.** Cuadro de resultados Alto Voltaje.

<b>Bajo Voltaje (BV)</b>	<b><math>I_{inyectada}</math></b>	<b><math>I_{relé}</math></b>	<b>Estado del Equipo</b>
<b>a</b>	157 A	157 A	Lee correctamente
<b>b</b>	114 A	114 A	Lee correctamente
<b>c</b>	159 A	159 A	Lee correctamente

### **Análisis de resultados**

El caso de estudio N° 1 relaciona a la práctica N° 1 en la cual, la mochila monofásica de pruebas a pesar de ser analógica, su grado de precisión es similar a la unidad TPU2000R y al software WinECP comprobando al inyectar los valores de corriente en el lado primario y secundario del relé de protección.

Para la verificación de las lecturas se requiere de datos característicos de un transformador de potencia con los respectivos cálculos de corrientes nominales, de corto circuito y la relación de transformación de los transformadores de corriente.

## 6.2. Caso de estudio N°2

**Tema:** Comportamiento del relé dentro de su zona de no operación para un transformador de potencia.

Placa característica de acuerdo a nuestro requerimiento.

TRANSFORMADOR DE POTENCIA	
Marca	CG TRANSFORMERS
Capacidad	12/16/20
Refrigeración	ONAN/ONAF/ONAF2
Voltaje en vacío	
Primario	115 000 V
Secundario	13 800 V
Frecuencia	60 Hz
Conexión	DY1
Norma	57.12.00-2010
BIL	650

### Cálculos realizados:

Para calcular las corrientes de carga máxima tanto en el lado de alta y lado de baja del transformador de potencia se considera la potencia del transformador y los niveles voltajes, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$I_{\text{nominal}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

- Corriente nominal primaria

$$I_p \text{ nominal} = \frac{20000 \text{ kV}}{115 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_p \text{ nominal} = \frac{20000 \text{ kV}}{115 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}} = \mathbf{100,41 \text{ A}}$$

- Corriente nominal secundaria

$$I_s \text{ nominal} = \frac{20000 \text{ kV}}{13,8 \text{ kV} * \sqrt{3}}$$

$$I_s \text{ nominal} = \frac{20000 \text{ kV}}{13,8 \text{ kV} * \sqrt{3}} = \mathbf{836,74 \text{ A}}$$

Se procede a calcular el 20 % de las corrientes nominales del transformador de potencia, las mismas que hacen referencia al 0.2 de la calibración del relé en la corriente de operación.

$$20\% \text{ de la corriente nominal} = 100,41 * 0,2 = \mathbf{20 \text{ Amperios}}$$

$$20\% \text{ de la corriente nominal} = 836,74 * 0,2 = \mathbf{167 \text{ Amperios}}$$

De igual forma procedemos a calcular la corriente base en el lado de alta y baja, resultado que será utilizado para calcular la corriente de falla con la multiplicación de ocho coma cinco en por unidad que es la impedancia dada por la placa característica del transformador.

- Corriente base primaria

$$I_{\text{base}} \text{ (H)} = \frac{12000 \text{ kV}}{115 \text{ kV} * \sqrt{3}} = \mathbf{60,24 \text{ A}}$$

$$I_{\text{falla}3\phi} \text{ (H)} = \frac{1}{0,085} * I_{\text{base}} \text{ (H)} = \frac{1}{0,085} * 60,24 \text{ A} = \mathbf{708,705 \text{ A}}$$

- Corriente base secundaria

$$I_{\text{base}} \text{ (L)} = \frac{12000 \text{ kV}}{13,8 \text{ kV} * \sqrt{3}} = \mathbf{502,04 \text{ A}}$$

$$I_{\text{falla}3\phi} \text{ (L)} = \frac{1}{0,085} * I_{\text{base}} \text{ (L)} = \frac{1}{0,085} * 502,04 \text{ A} = \mathbf{5906,35 \text{ A}}$$

### Selección de los TC's

Para la selección de los TC's nos indica que bajo condiciones de máxima carga, la corriente en el lado secundario no debe exceder veinte veces la corriente nominal, por lo tanto se toma en cuenta las corrientes de fallas máximas y mínima. Entonces la corriente de falla máxima reflejada al secundario del TC tiene que ser menor a 100 A, para así evitar la saturación del TC debido a una corriente excesiva mucho mayor a la nominal.

**I nominal**

**100,04 A**

$$TC_{\text{primario}} = \frac{100}{5} = 20 \text{ A}$$

**836,7 A**

$$TC_{\text{secundario}} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ A}$$

**I saturación**

$$708,705 \text{ A} \Rightarrow 708,705 * \frac{5}{100} = 35,43 \text{ A} < 100$$

$$5906,35 \text{ A} \Rightarrow 5906,35 * \frac{5}{1000} = 29,53 \text{ A} < 100$$

$$TC's = 10P20 \Rightarrow 20 * 5 = 100$$

**En conclusión los TC's elegidos no se saturan**

- **Para los TAPs del relé:**

$$I_{(P)L-L} = 100,04 * \frac{5}{100} = 5 \text{ A}$$

$$I_{(S)L-L} = 836,7 * \frac{5}{1000} = 4,18 \text{ A}$$

$$I_{(S)F-L} = 4,18 * \sqrt{3} = 7,23 \text{ A}$$

**RESULTADOS:**

**Tabla 6. 3.** Resultados fase A primario.

<b>Fase A Primario:</b>					
<b>Ajuste</b>	<b>IA<sub>1</sub></b>	<b>Ia<sub>2</sub></b>	<b>20 % de I<sub>nom</sub></b>	<b>I<sub>op</sub> medido</b>	<b>Estado</b>
0,2	19 A	0 A	20 A	0,19 A	No Opera

**Tabla 6. 4.** Resultados fase a secundario.

<b>Fase a Secundario:</b>					
<b>Ajuste</b>	<b>IA<sub>1</sub></b>	<b>Ia<sub>2</sub></b>	<b>20 % de I<sub>nom</sub></b>	<b>I<sub>op</sub> medido</b>	<b>Estado</b>
0,2	0 A	167 A	167 A	0,19 A	No Opera

**Tabla 6. 5.** Resultados fase B primario.

<b>Fase B Primario:</b>					
<b>Ajuste</b>	$IB_1$	$Ib_2$	20 % de $I_{nom}$	$I_{op}$ medido	<b>Estado</b>
0,2	16 A	0 A	20 A	0,18 A	No Opera

**Tabla 6. 6.** Resultados fase b secundario.

<b>Fase b Secundario:</b>					
<b>Ajuste</b>	$IB_1$	$Ib_2$	20 % de $I_{nom}$	$I_{op}$ medido	<b>Estado</b>
0,2	0 A	163 A	167 A	0,19 A	No Opera

**Tabla 6. 7.** Resultados fase C primario.

<b>Fase C Primario:</b>					
<b>Ajuste</b>	$IC_1$	$Ic_2$	20 % de $I_{nom}$	$I_{op}$ medido	<b>Estado</b>
0,2	16 A	0 A	20 A	0,19 A	No Opera

**Tabla 6. 8.** Resultados fase c secundario

<b>Fase c Secundario:</b>					
<b>Ajuste</b>	$IC_1$	$Ic_2$	20 % de $I_{nom}$	$I_{op}$ medido	<b>Estado</b>
0,2	0 A	166 A	167 A	0,19 A	No Opera

### **Análisis de resultados:**

El caso de estudio N° 2 relaciona a la práctica N° 2 en la cual, la calibración de la protección diferencial en la unidad TPU2000R se consideró un quince por ciento para el bloqueo del segundo armónico, fenómeno que se produce con el incremento de la corriente al momento de la energización del transformador de potencia, ante esta característica propia, el relé debe despreciar como falla interna y no debe operar, por lo tanto la función diferencial trabaja correctamente dentro de su zona de protección.

### 6.3. Caso de estudio N°3

**Tema:** Comportamiento del relé dentro de su zona de operación para fallas internas de un transformador de potencia.

Placa característica Subestación la Marín.

<b>TRANSFORMADOR DE POTENCIA</b>	
<b>Marca</b>	CG TRANSFORMERS
<b>Capacidad</b>	8 / 10
<b>Refrigeración</b>	ONAN/ONAF
<b>Voltaje en vacío</b>	
<b>Primario</b>	46000 V
<b>Secundario</b>	6300 V
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Conexión</b>	DY1
<b>Norma</b>	57.12.00-2010
<b>BIL</b>	650

#### Cálculos realizados:

Para calcular las corrientes de carga máxima tanto en el lado de alta y lado de baja del transformador de potencia se considera la potencia del transformador y los niveles voltajes, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$I_{\text{nominal}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

- Corriente nominal primaria

$$I_p \text{ nominal} = \frac{10000 \text{ kV}}{46 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_p \text{ nominal} = \frac{10000 \text{ kV}}{46 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}} = \mathbf{125,51 \text{ A}}$$

- Corriente nominal secundaria

$$I_s \text{ nominal} = \frac{10000 \text{ kV}}{6,3 \text{ kV} * \sqrt{3}}$$

$$I_s \text{ nominal} = \frac{10000 \text{ kV}}{6,3 \text{ kV} * \sqrt{3}} = \mathbf{916,42 \text{ A}}$$

Se procede a calcular el 20 % de las corrientes nominales del transformador de potencia, las mismas que hacen referencia al 0.2 de la calibración del relé en la corriente de operación.

$$20 \% \text{ de la corriente nominal} = 125,51 * 0,2 = \mathbf{25 \text{ Amperios}}$$

$$20 \% \text{ de la corriente nominal} = 916,42 * 0,2 = \mathbf{183 \text{ Amperios}}$$

De igual forma procedemos a calcular la corriente base en el lado de alta y baja, resultado que será utilizado para calcular la corriente de falla con la multiplicación de ocho coma cinco en por unidad que es la impedancia dada por la placa característica del transformador.

- Corriente base primaria

$$I_{\text{base}} \text{ (H)} = \frac{8000 \text{ kV}}{46 \text{ kV} * \sqrt{3}} = \mathbf{100,4 \text{ A}}$$

$$I_{\text{falla}3\emptyset} \text{ (H)} = \frac{1}{0,085} * I_{\text{base}} \text{ (H)} = \frac{1}{0,085} * 100,4 \text{ A} = \mathbf{1181,74 \text{ A}}$$

- Corriente base secundaria

$$I_{\text{base}} \text{ (L)} = \frac{8000 \text{ kV}}{6,3 \text{ kV} * \sqrt{3}} = \mathbf{733,14 \text{ A}}$$

$$I_{\text{falla}3\emptyset} \text{ (L)} = \frac{1}{0,085} * I_{\text{base}} \text{ (L)} = \frac{1}{0,085} * 733,14 \text{ A} = \mathbf{8625,17 \text{ A}}$$

Para la selección de los TC's nos indica que bajo condiciones de máxima carga, la corriente en el lado secundario no debe exceder veinte veces la corriente nominal, por lo tanto se toma en cuenta las corrientes de fallas máximas y mínima. Entonces la corriente de falla máxima reflejada al secundario del TC tiene que ser menor a 100 A, para así evitar la saturación del TC debido a una corriente excesiva mucho mayor a la nominal.

**I nominal**

**I saturación**

**125,51 A**

$$\mathbf{1181,74 \text{ A} \Rightarrow 1181,74 \text{ A} * \frac{5}{150} = \mathbf{39,37 \text{ A} < 100}$$

$$TC_{\text{primario}} = \frac{150}{5} = 30 \text{ A}$$

916,42 A

$$8625,17 \text{ A} \Rightarrow 8625,17 \text{ A} * \frac{5}{1000} = 43,12 \text{ A} < 100$$

$$TC_{\text{secundario}} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ A}$$

$$TC's = 10P20 \Rightarrow 20 * 5 = 100$$

**En conclusión los TC's elegidos no se saturan**

- **Para los TAPs del relé:**

$$I_{L-L} = 125,5 * \frac{5}{150} = 4,18 \text{ A}$$

$$I_{L-L} = 916,42 * \frac{5}{1000} = 4,58 \text{ A}$$

$$I_{F-L} = 4,58 * \sqrt{3} = 7,93 \text{ A}$$

## RESULTADOS

**Tabla 6. 9.** Resultados fase A primario.

<b>Fase A Primario:</b>					
<b>Ajuste</b>	$IA_1$	$Ia_2$	20 % de $I_{nom}$	$I_{op}$ medido	<b>Estado</b>
0,2	25 A	0 A	25 A	0,20 A	Opera

**Tabla 6. 10.** Resultados fase a secundario.

<b>Fase a Secundario:</b>					
<b>Ajuste</b>	$IA_1$	$Ia_2$	20 % de $I_{nom}$	$I_{op}$ medido	<b>Estado</b>
0,2	0 A	187 A	183 A	0,20 A	Opera

**Tabla 6. 11.** Resultados fase B primario.

<b>Fase B Primario:</b>					
<b>Ajuste</b>	$IB_1$	$Ib_2$	20 % de $I_{nom}$	$I_{op}$ medido	<b>Estado</b>
0,2	23 A	0 A	25 A	0,20 A	Opera

**Tabla 6. 12.** Resultados fase b secundario.

<b>Fase b Secundario:</b>					
<b>Ajuste</b>	$IB_1$	$Ib_2$	20 % de $I_{nom}$	$I_{op}$ medido	<b>Estado</b>
0,2	0 A	163 A	183 A	0,19 A	No Opera

**Tabla 6. 13.** Resultados fase C primario.

<b>Fase C Primario:</b>					
<b>Ajuste</b>	$IC_1$	$Ic_2$	20 % de $I_{nom}$	$I_{op}$ medido	<b>Estado</b>
0,2	24 A	0 A	25 A	0,20 A	Opera

**Tabla 6. 14.** Resultados fase c secundario.

<b>Fase c Secundario:</b>					
<b>Ajuste</b>	$IC_1$	$Ic_2$	20 % de $I_{nom}$	$I_{op}$ medido	<b>Estado</b>
0,2	0 A	187 A	183 A	0,20 A	Opera

### **Análisis de resultados:**

El caso de estudio N° 3 relaciona a la práctica N° 3 en la cual, las fallas internas en un transformador de potencia pueden ser por el calentamiento excesivo de los devanados, corto entre espiras, falsos contactos en los cambiadores de TAPs, por no poder simular estas anomalías se procede a incrementar la corriente, provocando un desbalance de las corrientes nominales para comprobar la actuación del relé en su zona de operación.

## 7 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

### 7.1 Presupuesto

<b>Cotización con equipos nuevos</b>				
<b>Recursos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>V. Unitario \$</b>	<b>Valor Total \$</b>
<b>Equipos</b> Monitor, CPU, teclado y mouse	1	c/u	582,00	582,00
Relé TPU 2000R marca ABB	1	c/u	5659,00	5659,00
Mochila de pruebas para relés	1	c/u	20000,00	20000,00
Diseño e implementación del módulo de pruebas	1	c/u	530,00	530,00
<b>Transporte y salida de campo</b> (Vistas a la E . E . Q , Pasajes en las diferentes subestaciones)	-	c/u	30,00	30,00
<b>Material Bibliográfico y fotocopias.</b> (internet, copias, anillados, impresiones)	-	c/u	100,00	100,00
<b>Gastos varios</b>	-	c/u	200,00	200,00
<b>Sub Total</b>				27101,00
<b>12%</b>				3252,12
<b>TOTAL</b>				<b>30353,12</b>

<b>Cotización de equipos con depreciación</b>				
<b>Recursos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>V. Unitario \$</b>	<b>Valor Total \$</b>
<b>Equipos</b> Monitor, teclado y mouse	1	c/u	165,00	165,00
Relé TPU 2000R marca ABB	1	c/u	2850,00	2850,00
Mochila de pruebas para relés	1	c/u	1500,00	1500,00
Diseño e implementación del módulo de pruebas	1	c/u	530,00	530,00
<b>Transporte y salida de campo</b> (Vistas a la E . E . Q , Pasajes en las diferentes subestaciones)	-	c/u	30,00	30,00
<b>Material Bibliográfico y fotocopias.</b> (internet, copias, anillados, impresiones)	-	c/u	100,00	100,00
<b>Gastos varios</b>	-	c/u	200,00	200,00
<b>Sub Total</b>				5375,00
<b>12%</b>				645,00
<b>TOTAL</b>				<b>6020,00</b>

<b>Ahorro presupuestario por los autores</b>				
<b>Recursos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>V. Unitario \$</b>	<b>Valor Total \$</b>
<b>Equipos</b> Monitor, teclado y mouse	1	c/u	165,00	165,00
Diseño e implementación del módulo de pruebas	1	c/u	530,00	530,00
Mochila de pruebas para relés	1	c/u	1500,00	1500,00
<b>Transporte y salida de campo</b> (Vistas a la E . E . Q , Pasajes en las diferentes subestaciones)	-	c/u	30,00	30,00
<b>Material Bibliográfico y fotocopias.</b> (internet, copias, anillados, impresiones)	-	c/u	100,00	100,00
<b>Gastos varios</b>	-	c/u	200,00	200,00
<b>Sub Total</b>				2525,00
<b>12%</b>				303,00
<b>TOTAL</b>				<b>2828,00</b>

<b>Ahorro presupuestario por transferencia gratuita de bienes</b>				
<b>Recursos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>V. Unitario \$</b>	<b>Valor Total \$</b>
<b>Equipos</b> Relé TPU 2000R marca ABB	1	c/u	2850,00	2850,00
<b>Sub Total</b>				2850,00
<b>12%</b>				342,00
<b>TOTAL</b>				<b>3192,00</b>

## **7.2 ANÁLISIS DE IMPACTOS**

### **Impacto social**

La energía eléctrica es aplicada en diferentes formas a nivel mundial, por lo que, es la responsabilidad de cada una de las instituciones académicas, complementar la formación no solo basándose en el análisis físico – matemático, sino también a través de la investigación que conlleve a la verificación práctica permitiendo brindar soluciones tecnológicas oportunas.

El apoyo interinstitucional permite a las instituciones educativas reforzar su infraestructura a través de donaciones de equipos o herramientas que se encuentran en desuso por la actualización de tecnología y son aprovechadas para la enseñanza, como es el caso de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se benefició de un equipo de protección para transformadores de potencia, por lo que se logra dar uso al equipo a través de la implementación de un módulo de pruebas, beneficiando directamente a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

### **Impacto económico**

La Universidad Técnica de Cotopaxi con el compromiso de brindar calidad y eficiencia académica a través de una repotenciación del laboratorio de la carrera de Ingeniería Eléctrica acude a cotizar con equipos nuevos un módulo de pruebas para protección de

transformadores de potencia a un valor de treinta mil trescientos cincuenta y tres dólares americanos con doce centavos y equipos con depreciación a un valor de seis mil veinte dólares americanos, razón por la cual el proyecto de titulación en modalidad de propuesta tecnológica plantea verificar el estado de la unidad TPU2000R adquirida por transferencia gratuita de bienes para diseñar e implementar un módulo didáctico de pruebas a un valor de dos mil ochocientos veinte y ocho; beneficiando a la universidad con un ahorro económico de veinte y cuatro mil trescientos treinta y tres dólares americanos con doce centavos.

## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 CONCLUSIONES

- El módulo de pruebas implementado en el laboratorio de la carrera de ingeniería eléctrica es una herramienta didáctica amigable que permite al estudiante tener una concepción clara del funcionamiento de la protección diferencial 87T.
- El relé TPU 2000R fue calibrado y seteado para detectar fallas internas de los transformadores de potencia, razón por la cual, de acuerdo a los valores calculados se encuentra trabajando dentro de su zona de protección o no operación.
- Las corrientes inyectadas monofásicamente a través de la mochila de pruebas al relé son correctamente leídas por el software tanto en el lado primario como en el secundario con cero punto diecinueve de error y verificando que cumple con la operación dentro y fuera de su zona protegida.
- La actuación del relé es instantánea ante las fallas internas para evitar daños en el equipo.

### 8.2 RECOMENDACIONES

- Para el cálculo automático de TAPs se debe tomar en cuenta, que el valor del tap calculado está dividido para un factor de raíz de tres para las configuraciones  $D_{yn}$ ,  $Y_{dn}$  e  $Y_{yn}$  según sea el caso.
- El software WinECP brinda opciones de calibración para el segundo armónico por lo que es recomendable seleccionar el mínimo como es el quince por ciento para que la corriente de inrush o corriente de arranque no sea detectada como falla interna.
- Para la verificación de lectura de las corrientes se debe trabajar dentro de los rangos calculados.
- Es recomendable aplicar el diecinueve por ciento de la corriente nominal del transformador de potencia tanto en su lado primario como en el lado secundario debido a sus características técnicas de la mochila de prueba. (*Escala cinco Amperios*)
- En los cálculos para transformadores trifásicos dependiendo el grupo de conexión se considera el factor raíz de tres, el relé realiza esta compensación automáticamente por lo que se recomienda considerar únicamente los valores de corriente que pasa por el TC tanto como en el dado de alto y bajo voltaje.

- Identificar el tipo de alimentación de cada uno de los equipos que forman parte del módulo, para ser puestos en servicio (fuente de energía).
- Verificar en la bornera de la unidad TPU 2000R el orden de las fases, que se encuentran identificadas en cada punto de conexión.
- El relé TPU 2000R cuenta con otras funciones de protección por lo tanto se recomienda el estudio de las otras funciones de la unidad.
- El módulo de pruebas por estar compuesto por elementos independientes como es una mochila de pruebas, un relé, un monitor, un CPU y una fuente de corriente continua en caso de presentar alguna anomalía los equipos pueden ser reemplazados de forma individual ya sea para su reparación o calibración.

## 9 REFERENCIAS

- [1] J. J. Grainger y W. D. Stevenson, *Análisis de Sistemas de Potencia*, Mexico: McGraw Hill, 1996.
- [2] R. J. Luna Aguilar, «Disturbios Eléctricos,» de *Disturbios Eléctricos*, Mexico, Universidad Nacional Autónoma de Mexico, 2015, pp. 1-30.
- [3] R. ., Zambrano y A. ., Bayas, «Sistemas de Protecciones Eléctricas a nivel de 500 kV aplicación Subestación Pifo,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2008.
- [4] S. Ramirez Castaño, *Protección de Sistemas Eléctricos*, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 2003.
- [5] P. A. Moreno Martinez , «SlideShare,» 7 Mayo 2017. [En línea]. Available: [https://www.slideshare.net/alexmoreno101/diapositivas-transformadoresdemedicinyproteccion?fbclid=IwAR3FsVOrMcSwReccIUHH8YhYcF8S\\_5YdjV-zfIzzIC1KcgwIezZQx4FEyM](https://www.slideshare.net/alexmoreno101/diapositivas-transformadoresdemedicinyproteccion?fbclid=IwAR3FsVOrMcSwReccIUHH8YhYcF8S_5YdjV-zfIzzIC1KcgwIezZQx4FEyM). [Último acceso: 21 Julio 2019].
- [6] E. ., I. I. Ras Oliva, *Transformadores de Potencia de Medida y de Protección*, Barcelona: Marcombo, 1994.
- [7] S. H. Horowitz y A. G. Phadke, *Power System Relaying*, Hertfordshire: John Wiley and Sons, 2014.
- [8] J. Sandoval , «Electricos Aficionados. Sena,» 6 Septiembre 2011. [En línea]. Available: <https://electricosaficionados.blogspot.com/2011/09/caracteristicas-fisicas-y-constructivas.html>. [Último acceso: 22 Junio 2019].
- [9] M. P. Sangra, *Protecciones en las instalaciones eléctricas: evolución y perspectivas*, Barcelona: Marcombo, 1999.
- [10] S. Slumstrup, *Differential protection of transformers*, Aalborg, Dinamarca: Aalborg University, 2018.
- [11] A. Wringht y C. Christopoulos, *Electrical Power System Protection*, Pondicherry: Chapman y Hall, 1993.
- [12] J. L. Blackburn y T. J. Domin, *Protective Relaying Principles and Applications*, Londres: Taylor

and Francis Group, 2007.

- [13] J. M. Gers, Aplicación de protecciones eléctricas a sistemas de potencia, Cali: Universidad del Valle, 1993.
- [14] R. M. Mujal Rosas, Protección de sistemas eléctricos de potencia, Barcelona: Oficina de publicaciones academicas digitales de UPC, 2014.
- [15] M. A. Rodriguez Pozueta, Transformadores, Cantabria, 2008.
- [16] G. Carrillo Caicedo, Protecciones eléctricas, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2007.
- [17] J. L. Chavesta Aquino, Metodología para elaborar la actualización de estudios de coordinación de protecciones de un sistema eléctrico interconectado, Lima: Universidad Nacional del Callao, 2013.

# **ANEXOS**

## ANEXO I. Características técnicas del relé TPU2000R

### Unidad de Protección de Transformadores ABB 2000R

#### **Función 87T Diferencial de Porcentaje con Restricción Armónica**

La función diferencial 87T ofrece protección de fase y tierra de alta velocidad para transformadores de potencia de dos y tres devanados. Permite compatibilizar la relación de TC entre los devanados dos o tres de un transformador de potencia. La función 87T se activa o desactiva en los ajustes Primario, Alternativo 1 y Alternativo 2. Cuando la función está habilitada en la tabla de ajustes, usted puede

Parámetros de 87T	Rango	Incremento
Ajustes de tomas diferenciales - Dev. 1 y 2		
TCs de 5-A	2 a 9 A	0,1 A
TCs de 1-A	0,4 a 1,8 A	0,02 A
TCs de 0,1 A (uso c/ TCs Ópticos de ABB)	0,04 a 0,18 A	0,002 A
Ajuste de restricción armónica		
2a. armónica	7,5 a 25% de la frecuencia fundamental	2,5%
5a. armónica	15 a 40% de la frecuencia fundamental	2,5%
Todas las armónicas	15 a 40% de la frecuencia fundamental	2,5%

activar o desactivar remotamente esta función direccionándola a una entrada de contacto programable en la pantalla de Entradas Programables (Programable Inputs) del Programa de Comunicaciones Externo. Usando el modo de restricción armónica, puede seleccionar la restricción para la 2a., 5a. y todas las armónicas (2a. hasta 11a.) durante la sobreexcitación y la irrupción de corriente en el transformador. La restricción armónica ocurre en un devanado de fase cuando el ajuste de restricción armónica y la corriente de operación son excedidos en dicha fase.

Las corrientes de restricción de los devanados 1, 2 y 3 (si es aplicable) son normalizadas en base por unidad sobre los ajustes de tomas 87T-1, 87T-2 y 87T-3 (si es aplicable), respectivamente. La corriente de restricción es la corriente por unidad de toma que circula a través del devanado de restricción. Esta corriente se deriva de acuerdo a la compensación de ángulo de fase seleccionada y a las conexiones de TC usadas. La corriente de operación es la suma vectorial de las corrientes de restricción por unidad de los devanados 1, 2 y 3 (si es aplicable).

La característica operativa diferencial de porcentaje impide la operación hasta que la corriente diferencial sea mayor que un porcentaje determinado de la corriente pasante. Esta característica soporta los errores de TC, en especial los que resultan de la saturación del TC ante fallas de alta corriente externas a la zona protegida. La característica de porcentaje (la pendiente) es ajustable y permite adaptar la característica operativa para manejar variaciones de carga del conmutador de tomas.

Las curvas de característica diferencial de porcentaje incluyen:

- una pendiente de % lineal ajustable con una corriente de operación mínima ajustable
- una pendiente variable HU 30% con una corriente de operación mínima fija
- una pendiente variable HU 35% con una corriente de operación mínima fija
- una pendiente variable al 15%, 25% o 40% del valor de toma con una corriente de operación mínima fija con Compensación de Ángulo de Fase

Curva de Porcentaje Diferencial	Porcentaje de la Pendiente	Incremento de Porcentaje de la Pendiente	Corriente de Operación Mínima	Incremento
Pendiente de % lineal ajustable	15 a 60%	5%	0,2 a 1,0 por unidad de la toma	0,1
Pendiente variable HU 30%	-	-	Fija a 0,3 por unidad de la toma	-
Pendiente variable HU 35%	-	-	Fija a 0,35 por unidad de la toma	-
Pendiente variable al 15%, 25% o 40% del valor de la toma	-	-	Fija a 0,3 por unidad de la toma	-



## Unidad de Protección de Transformadores ABB 2000R

La tabla de abajo ilustra todas las posibles configuraciones de hardware para los puertos de comunicaciones y los protocolos respaldados. Las columnas de Selección de Opciones en el Número de Catálogo listan todas las opciones de comunicaciones para las que pueden configurarse los relés.

Las diferentes variaciones de los protocolos se resumen bajo los respectivos puertos de comunicaciones que los respaldan. Escoja la fila que contiene la combinación de protocolos más adecuada para sus requisitos de comunicaciones y use las opciones correspondientes del número de catálogo para poner entre los corchetes [ ] de dicho número.

El puerto auxiliar rotulado IRIG-B recibe una señal demodulada IRIG-B para sincronizar el reloj del 2000R.

Por ejemplo, si su sistema requiere el protocolo DNP 3.0 (IEC870-5), el número de catálogo para ordenar será 588R041[2]-6101[1] (4a. fila), 588R041[4]-6101[1] (10a. fila) o 588R041[8]-6101[1] (18a. fila), de acuerdo a su selección para el segundo puerto que se suministra.

Seleccione otras características del relé en las páginas siguientes.

**Selección de Opciones en el Número de Catálogo**

**ASIGNACIONES DE PUERTOS POSTERIORES**

588R041[ ] - 6101[ ]		Con Visualiz.	Sin Visualizador*				
0	0	Standard	Standard				
1	0	Standard		Standard			
2	0	Standard		Standard	Standard		IRIG-B
2	1	Standard		Standard	DNP 3.0		
				DNP 3.0	Standard		
2	4	Standard		Modbus <sup>†</sup> o Standard Ver Nota #	Modbus <sup>†</sup> o Standard Ver Nota #		IRIG-B
3	0	Standard				INCOM	IRIG-B
4	0	Standard			Standard	INCOM	IRIG-B
4	1	Standard			DNP 3.0 <sup>‡</sup>	INCOM	
4	4	Standard			Modbus <sup>†</sup>	INCOM	IRIG-B
5	0	Standard			Standard		
6	4	Standard	Standard	Modbus <sup>†</sup> (Modbus Plus™)			
7	4	Standard		Modbus <sup>†</sup> (Modbus Plus™)	Standard		
#8	0	Standard		Standard	Standard		IRIG-B
#8	1	Standard		Standard	DNP3.0		
				DNP 3.0	Standard		
8	4	Standard		Modbus <sup>†</sup> o Standard (RS-485) Ver Nota #	Modbus <sup>†</sup> o Standard Ver Nota #		IRIG-B

**Tabla de Selección de Opciones de Comunicaciones**

- |  |  |
|--|--|
|  | Un cuadro de selección vacío indica que el puerto de comunicaciones no se suministra o está desactivado. |
|  | Consulte a la fábrica sobre disponibilidad.  |
- <sup>†</sup> Seleccionable con puente en la tarjeta principal — frontal o posterior.  
<sup>‡</sup> Protocolo seleccionable en el proceso de ajustes; las 4 combinaciones son posibles.

## ANEXO II. Convenio de apoyo para desarrollo de Tesis de grado

SG- 339 - 2018

### CONVENIO DE APOYO PARA DESARROLLO DE TESIS DE GRADO

En la suscripción del presente Convenio intervienen, por una parte, la Empresa Eléctrica Quito, representada legalmente por su Gerente General, Magister Jaime Ernesto Bucheli Albán, parte a la cual en adelante se le denominará la EEQ; por otra parte, la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, representada por su Rector, Ingeniero Fabricio Tinajero Jiménez; y, el señor Segundo Ismael Alomoto Quinatoa, Estudiante de la Facultad en mención, a quien en adelante se le denominará el ESTUDIANTE, por sus propios derechos, partes que, en forma libre y voluntaria convienen en celebrar el presente convenio, de conformidad con las siguientes cláusulas:

#### **PRIMERA: Antecedentes.-**

Mediante Oficio Nro. IELE-10-2018-145, de 16 de octubre de 2018, registrado con Nro. EEQ-SG-2018-2327-EX, el Ing. Segundino Marrero, Director de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, solicitó la autorización para que el estudiante Segundo Israel Alomoto Quinatoa, pueda acceder a la Empresa, pues se encuentra desarrollando el trabajo de titulación "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA DETERMINACIÓN DE FALLAS CON LA UNIDAD TPU 2000R, EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA COTOPAXI", proyecto que se desarrolla en la EEQ, con la revisión y configuración de la Unidad de Proyección TPU 2000R marca ABB, perteneciente al laboratorio de la Universidad.

Con nota inserta en el documento antes citado el Magister Jaime Ernesto Bucheli Albán, Gerente General dispone al Ingeniero Nelson Segovia, Gerente Administrativo Financiero (S), a esa fecha, lo siguiente: "Para su conocimiento y gentil atención a lo solicitado, en coordinación con las áreas inmersas al tema requerido. Gracias "

Mediante memorando Nro. EEQ-GAF-2018-2209-ME, de 23 de octubre de 2018 el Ing. Nelson Segovia, Gerente Administrativo Financiero (S) a esa fecha, comunicó al Ingeniero Juan Oswaldo Merizalde, Gerente de Generación y Subtransmisión (S), que el horario propuesto para la ejecución de la actividad del Estudiante es de lunes a viernes, de 8:00 a 13:00.

Mediante memorando Nro. EEQ-DTH-2018-1115-ME, de 31 de octubre de 2018, la Abogada Carla Gonzaga Salazar, Directora de Talento Humano (E), solicitó al Ingeniero Juan Oswaldo Merizalde, Gerente de Generación y Subtransmisión (S), criterio de factibilidad para el desarrollo del proyecto antes citado y en caso de que la respuesta sea favorable, dé a conocer el nombre del Administrador del convenio, que será el responsable de coordinar el trabajo del estudiante.

Mediante memorando Nro. EEQ-GGS-2018-1064-ME, de 05 de noviembre de 2018, el Ingeniero Juan Oswaldo Merizalde, Gerente de Generación y Subtransmisión (S), indica que si es factible la realización del proyecto y que el Administrador del convenio será el Ingeniero Freddy Rivera, Director de Subtransmisión (E).

**SEGUNDA: Objeto.-** Con los antecedentes expuestos, la Empresa Eléctrica Quito se compromete para con el ESTUDIANTE, a brindar el apoyo que requiere para desarrollar su Proyecto de Tesis, titulado: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA DETERMINACIÓN DE FALLAS CON LA UNIDAD TPU 2000R, EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA COTOPAXI"

**TERCERA: Plazo.**- El presente convenio tendrá un plazo de vigencia de seis meses, contado a partir de su suscripción.

**CUARTA: Obligaciones de las partes.**- A la firma del presente convenio, las partes asumen las siguientes obligaciones:

**OBLIGACIONES DEL ESTUDIANTE:**

A la finalización de sus estudios, el Estudiante entregará a la Empresa Eléctrica Quito, una copia certificada de la tesis motivo del presente convenio, con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

**OBLIGACIONES DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO:**

Por su parte la Empresa Eléctrica Quito, se obliga a prestar al ESTUDIANTE, todas las facilidades del caso para el desarrollo del proyecto de tesis, así como la información que fuera pertinente, especialmente a proporcionar, a través del Administrador del Convenio, la asesoría y orientación necesaria.

**QUINTA: Propiedad Intelectual.**- Los resultados de la investigación, conclusiones y recomendaciones del proyecto de titulación, constituyen propiedad intelectual de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Sin embargo, con sustento en el convenio de cooperación interinstitucional suscrito con la Empresa Eléctrica Quito, se autoriza el uso de los datos que se obtengan, de acuerdo con sus intereses y necesidades.

**SEXTA: Confidencialidad de la Información.**- Se aclara que toda la información que la Empresa Eléctrica Quito llegue a proporcionar para el desarrollo del proyecto de tesis motivo del presente convenio, tiene el carácter de confidencial; por lo tanto, el Estudiante se compromete a manejarla de la manera más prudente y reservada, salvaguardando siempre los intereses de la Empresa.

**SÉPTIMA: Suspensión.**- En caso de negligencia, incumplimiento, incompetencia u otras fallas imputables al ESTUDIANTE, la Empresa Eléctrica Quito, podrá suspender temporal o definitivamente la vigencia del convenio, sin otros requisitos que la notificación escrita, tanto a la Universidad Técnica de Cotopaxi, como al ESTUDIANTE, sin que este hecho implique obligación a reconocer indemnización alguna por parte de la EEQ, ya que este convenio de apoyo no constituye relación laboral de ninguna clase.

**OCTAVA: Causas de Terminación.**- El presente Convenio terminará por las siguientes causas:

- a) El cumplimiento del plazo;
- b) El mutuo acuerdo de las partes;
- c) No guardar reserva de toda la información y/o documentación que el ESTUDIANTE conozca durante el desarrollo del Proyecto de Titulación;
- d) Por retiro voluntario del ESTUDIANTE, mediante aviso a LA EMPRESA por escrito; y *sc*;
- e) Por así convenir a los intereses de la EMPRESA. *sc*

**NOVENA: Reserva de Derecho.-** Se deja expresa constancia de que este es un convenio de apoyo y no de prestación de servicios personales o técnicos especializados; por lo tanto, no existe relación de dependencia laboral de ninguna clase; y, en consecuencia, la Institución se reserva el derecho de demandar al ESTUDIANTE ante los jueces competentes de esta ciudad de Quito, en caso de incumplimiento de sus obligaciones.

**DÉCIMA: Administración -** El presente convenio será administrado por el Ingeniero Freddy Fernando Rivera Ruiz, Director de Subtransmisión (E), o quien haga sus veces.

**DÉCIMA PRIMERA: Documentos Habilitantes.-** Los documentos que forman parte de este Convenio son:


- a) Los documentos detallados en la Cláusula de Antecedentes; y,
- b) Toda documentación cruzada entre las partes.

**DÉCIMA SEGUNDA: Jurisdicción y Trámite.-** En caso de surgir cualquier desacuerdo en la aplicación del presente convenio, las partes renuncian domicilio y se someten a los jueces competentes de esta ciudad de Quito.

**DÉCIMA TERCERA: Aceptación.-** Las partes aceptan el presente convenio, por ser elaborado de acuerdo con sus respectivos intereses.

Para constancia y fiel cumplimiento de lo estipulado, firman en tres ejemplares de igual valor y tenor, en la ciudad de Quito, a

28 NOV 2018

  
Mg. Jaime Ernesto Bucheli Alban  
GERENTE GENERAL EQ

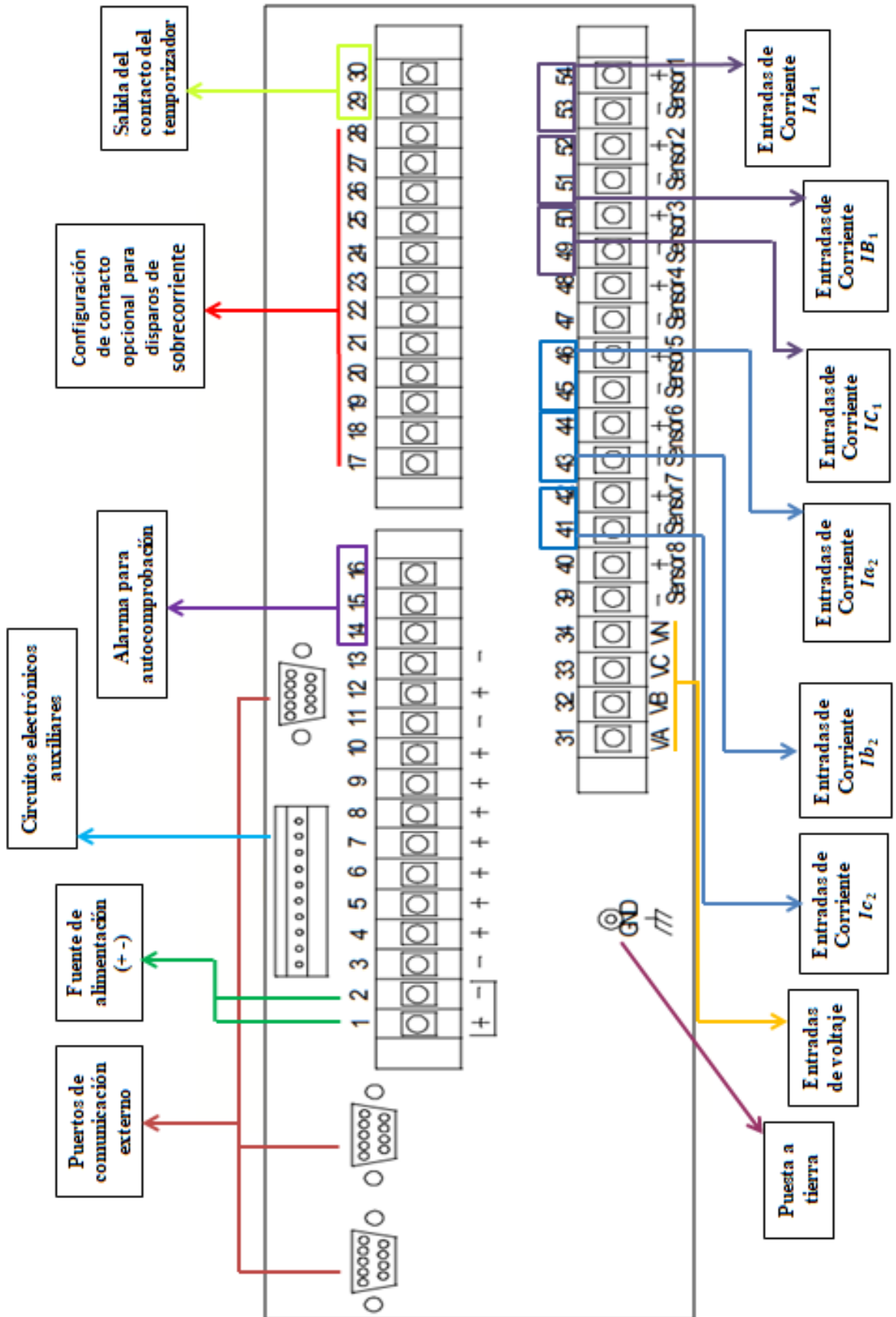
  
Ing. Fabricio Tinajero Jiménez  
RECTOR UNIVERSIDAD TÉCNICA DE  
COTOPAXI



  
Sr. Segundo Ismael Alomoto Quinatoa  
ESTUDIANTE

  
MM/2018-11-05

**ANEXO III. Diagrama de conexión de las borneras del rele TPU2000R**



**Anexo IV. Validación de cálculos**

Hoja de cálculo de Excel para la comprobación de datos a partir de los datos característicos de un transformador de potencia. Además el reporte de los datos calculados.

<b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS</b> <b>LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA</b> <b>PROTECCIONES ELÉCTRICAS</b>												
<b>DATOS CARACTERÍSTICOS DEL TRANSFORMADOR POTENCIA</b>			<b>PRÁCTICA N° 1</b>									
<b>MARCA:</b>	ECUATRÁN	<b>NÚMERO DE FASES:</b>	3	FASES								
<b>POTENCIA:</b>	12 / 20 MVA	<b>IMPEDANCIA:</b>	8,5	%								
<b>VOLTAJE :</b>	115 / 13,8 kV	<b>TIPO:</b>	CONVENCONAL									
<b>GRUPO DE CONEXIÓN</b>	Dy0	<b>TIPO DE REFRIGERACIÓN:</b>										
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Vp: 115 kV Vs: 13,8 KV Potencia Mínima: 12 MVA Potencia Nominal: 20 MVA</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Zcc: 8,5 %</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <math display="block">I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}</math> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Ip nominal</td> <td style="text-align: center;">100 A</td> </tr> </table> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <math display="block">I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}</math> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Is nominal</td> <td style="text-align: center;">837 A</td> </tr> </table> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <math display="block">IFp = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot Zcc \cdot Vp}</math> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Iccp</td> <td style="text-align: center;">709 A</td> </tr> </table> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <math display="block">IFs = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot Zcc \cdot Vs}</math> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Iccs</td> <td style="text-align: center;">5907 A</td> </tr> </table> </div> </div>					Ip nominal	100 A	Is nominal	837 A	Iccp	709 A	Iccs	5907 A
Ip nominal	100 A											
Is nominal	837 A											
Iccp	709 A											
Iccs	5907 A											
<b>CORRIENTES DE SECUNDARIO DE TC A MAXIMA CARGA</b>												
<b>RELACION DE TC LADO PRIMARIO</b>			<b>RELACION DE TC LADO SECUNDARIO</b>									
RTC	100 /5	RTC	1000 /5									

TC PRIMARIO	TC SECUNDARIO
Isecund 5 A	Isecund 4,2 A
CORRIENTES DE SECUNDARIO DE TC CON FALLA	
TC PRIMARIO	TC SECUNDARIO
Teórico 35,44 A	Teórico 29,53 A

Reporte de los datos calculados, a partir de los datos ingresados en la hoja de Excel se calcula automáticamente corrientes nominales, corrientes de cortocircuito, relación de transformación y corrientes de falla en los TC's.

<b>zFACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA PROTECCIONES ELECTRICAS</b>												
<b>DATOS CARACTERISTICOS DEL TRANSFORMADOR POTENCIA</b>			<b>PRACTICA N° 1</b>									
<b>MARCA:</b>	ECUATRÁN	<b>NUMERO DE FASES:</b>	3	FASES								
<b>POTENCIA:</b>	12 / 20 MVA	<b>IMPEDANCIA:</b>	8,5	%								
<b>VOLTAJE :</b>	115 / 13,8 kV	<b>TIPO:</b>	CONVENCONAL									
<b>GRUPO DE CONEXION</b>	Dy0	<b>TIPO DE REFRIGERACIÓN:</b>	0									
Vp: 115 kV Vs: 13,8 KV Potencia Mínima: 12 MVA Potencia Nominal: 20 MVA Zcc: 8,5 %		<table border="1"> <tr> <td>Ip nominal</td> <td>100 A</td> </tr> <tr> <td>Is nominal</td> <td>837 A</td> </tr> <tr> <td>Iccp</td> <td>709 A</td> </tr> <tr> <td>Iccs</td> <td>5907 A</td> </tr> </table>			Ip nominal	100 A	Is nominal	837 A	Iccp	709 A	Iccs	5907 A
Ip nominal	100 A											
Is nominal	837 A											
Iccp	709 A											
Iccs	5907 A											
CORRIENTES DE SECUNDARIO DE TC A MAXIMA CARGA												
RELACION DE TC LADO PRIMARIO			RELACION DE TC LADO SECUNDARIO									
RTC 100 /5			RTC 1000 /5									
TC PRIMARIO	TC SECUNDARIO											
Isecund 5 A	Isecund 4,2 A											



# TPR-22B 形

## 保護継電器試験器

### 電圧電流調整器



外形寸法 500(W)×420(D)×270(H)mm 約21kg

#### 付属品

電源コード	2m	1本
電圧用コード	検点用	2m 2本
電圧用コード	電圧用、電流用	2m 2本
電流用コード	大電流用	2m 2本

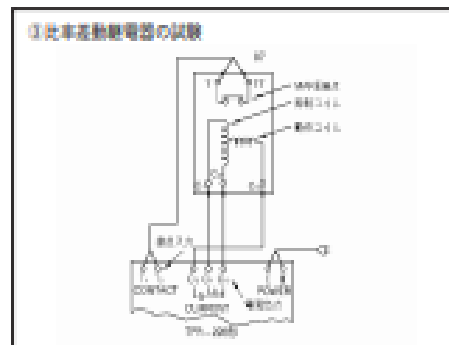
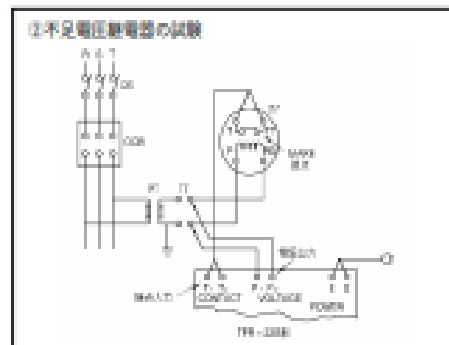
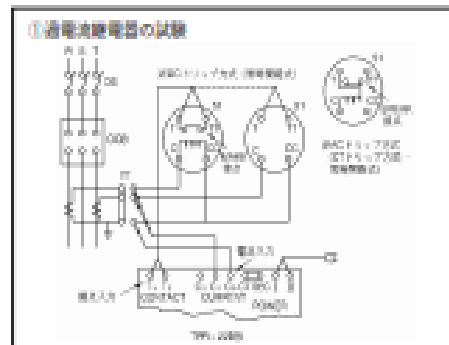
#### 仕様

電 源	AC100V 50・60Hz	
出 力	A 回 路 (電流1変換)	電流調整：0～50A/750VA(最大) レ ン ジ：0.25-0.5-1.5-5-15-50A (但し50Aは50秒定格)
	B 回 路 (電流1変換) (電圧1変換)	電流調整：0～10A/250VA(最大) レ ン ジ：1-5-10A (但し10Aは1分定格) 電圧調整：0～200V/30VA(最大) レ ン ジ：75-150-200V
操 作 部	トグルスイッチ操作による	
接 点 出 力	MAKE(常電圧接点)1組/接点容量 AC100V 1A	
内 蔵 定 規 値	50～0.25A/5A 3VA 0.5級 10～1A/40mA 0.5級	
パネル計器	電 流 計	5A 0.5級
	電 圧 / 電 流 計	75-150-200V/10-5-1A 0.5級
	時 間 計	エレクトロニクス形 デジタルカウンタ 0～999,999.9 (LED表示 7桁) 分解能 0.1ms

#### 特 長

- ①位相特性を持たないあらゆる単体リレーの特性、および動特性(定常状態より故障状態への急変)試験ができます。
- ②電圧位相調整器 TPR-22P 形との組合わせで、位相特性を持つあらゆる単相リレーの試験ができます。
- ③所要の計器が組込まれており、メータを接続する手間が省け操作も簡単です。

#### 試験例



## **ANEXO VII. Manual de usuario**

## **Anexo VIII. Guía de laboratorio.**

**Anexo XIX. Prácticas de laboratorio.**