



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE DE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE MÓDULO DIDACTICO DE UN RELÉ  
DIFERENCIAL PARA MOTORES**

Trabajo de Titulación para optar al Título  
de Técnico Universitario en  
ELECTRICIDAD

Alumnos:  
CRISTIAN ANDRES BELMAR MUÑOZ.  
LUIS ENRIQUE CAMPOS CARCAMO.

Profesor guía:  
ESTEBAN DIAZ MONTT.

**2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

**LUIS ENRIQUE CAMPOS CÁRCAMO**

En este trabajo de título aprovecho de dar agradecimientos a mi familia, quienes me han dado su apoyo en todo momento y a todas las personas que se preocuparon en esta etapa de mi vida.

En especial quisiera agradecer a mi madre que me ha ayudado en los momentos más difíciles de mi vida los cuales coinciden con esta etapa, brindándome un apoyo incondicional el cual aprecio mucho.

**CRISTIAN ANDRES BELMAR MUÑOZ**

Agradezco el apoyo entregado por mis padres, que fue entregado de manera incondicional y a todas las personas cercanas que se preocuparon por mí en esta etapa.

## **RESUMEN**

**KEYWORDS: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULO DIDÁCTICO SOBRE EL RELÉ DIFERENCIAL EN EL LABORATORIO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS USM CONCEPCIÓN.**

En este trabajo de título se diseñó e implementó un módulo didáctico, el cual está principalmente constituido por un dispositivo de marca Ground Shield No. 202H1541 (Relé diferencial), tres transformadores tipo GS, un contactor auxiliar y un contactor principal el cual operará mediante el relé mencionado, además de otros componentes.

El trabajo está formado por tres capítulos;

En el primer capítulo se abordan los conceptos teóricos necesarios para comprender el mundo de las protecciones eléctricas, haciendo un énfasis especial en lo que es la protección diferencial, donde se describe el principio de funcionamiento de estos, los distintos tipos que existen y las diferentes aplicaciones que tienen.

En el capítulo número dos, se da a conocer el relé diferencial utilizado, los parámetros de este, la descripción del módulo didáctico, el conexionado básico del relé y las funciones con las que cuenta.

En el capítulo número tres se registró los ensayos pertinentes al relé diferencial, como pruebas estáticas, ensayos energizados tanto al circuito de control como al de fuerza, además de tablas y conclusiones de estos.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
METODOLOGÍA .....	3
CAPÍTULO I: GENERALIDADES ASOCIADAS A LAS PROTECCIONES DIFERENCIALES. ....	4
1. Anomalías en los sistemas eléctricos de potencia .....	5
1.1 Perturbaciones .....	5
1.1.1 Sobretensiones.....	5
1.1.2 Sobrecargas.....	6
1.1.3 Oscilaciones de potencia .....	6
1.2 Falla eléctrica .....	6
1.2.1 Cortocircuitos.....	7
1.2.2 Conductores en circuito abierto.....	7
1.2.3 Fallas simultaneas.....	8
1.2.4 Fallas en devanados.....	8
1.2.5 Fallas evolutivas .....	8
1.3 Protección diferencial.....	8
1.3.1 Principio de funcionamiento.....	9
1.3.2 Interruptor automático diferencial .....	10
1.3.3 Características fundamentales.....	11
1.3.4 Intensidad nominal del interruptor .....	11
1.3.5 Número de polos.....	12
1.3.6 Capacidad de ruptura .....	12
1.3.7 Sensibilidad de disparo .....	12
1.4 Tipos de interruptores diferenciales .....	13

1.4.1 Clase AC .....	13
1.4.2 Clase A.....	14
1.5 Relé diferencial.....	14
1.6 Aplicaciones de diferenciales en los sistemas TT .....	14
<b>CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO. ....</b>	<b>15</b>
2.1 Descripción de la protección diferencial: .....	16
2.2 Parámetros del relé diferencial.....	18
2.2.1 Corriente de corte primario .....	18
2.2.2 Tiempo de operación.....	18
2.3 Descripción del modulo .....	19
2.3.1 CONEXIONADO.....	22
2.3.1.1 Conexionado de sensores .....	22
2.3.1.2 Conexionado de Tensión de control.....	24
2.3.1.3. Conexionado a tierra del relé diferencial.....	26
2.3.2. Interruptor diferencial de poder .....	26
2.3.3. Relé Auxiliar .....	27
<b>CAPÍTULO III: IMPLEMENTACIÓN Y ENSAYOS DEL EQUIPO DIDÁCTICO. ....</b>	<b>29</b>
3.1. Descripción de los ensayos .....	30
3.1.1. Ensayo N°1 “Inspección visual” .....	30
3.1.2. Ensayo N°2 “Medición de continuidad entre bornes” .....	31
3.1.3. Ensayo N°3 “Prueba del relé diferencial” .....	33
Cálculo de la carga.....	33
Tabla de posiciones de la carga.....	33
Circuito .....	35
Instrumentación.....	36
Procedimiento.....	36
Tablas de datos .....	37
Conclusiones del ensayo.....	39
Ensayo N°4 “Prueba de relé diferencial en el módulo” .....	39
Listado de materiales .....	40
Procedimiento.....	40
Conclusión del ensayo .....	41

CONCLUSIÓN .....	43
------------------	----

## ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1. 1-1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN DIFERENCIAL .....	10
IMAGEN 2. 1-2 RELÉ DIFERENCIAL PARA SISTEMAS DE GRAN POTENCIA .....	11
IMAGEN 3. 2-1 SELECCIÓN DE CARGA PARA TIPOS GRD .....	17
IMAGEN 4. 2-2 CIRCUITO DEL PANEL HECHO EN AUTOCAD 2019 .....	21
IMAGEN 5. 2-3 BORNES PARA ENERGIZAR .....	22
IMAGEN 6. 2-3 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL RELÉ DIFERENCIAL .....	23
IMAGEN 7. 2-4 INDICACIÓN DE LOS BORNES EN EL MÓDULO .....	24
IMAGEN 8. 2-5 ESQUEMA DE BORNES DEL RELÉ DIFERENCIAL .....	25
IMAGEN 9. 2-6 INDICACIÓN DE LA ALIMENTACIÓN EN EL MÓDULO .....	25
IMAGEN 10. 2-7 IMAGEN DEL CONTACTOR EN EL MÓDULO .....	27
IMAGEN 11. 2-8 CIRCUITO DEL RELÉ DIFERENCIAL .....	28
IMAGEN 12. 3-1 CIRCUITO DEL ENSAYO DE PRUEBA DEL RELÉ .....	35
IMAGEN 13. 3-2 CIRCUITO DE MONTAJE DEL ENSAYO EN EL MODULO .....	41

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1-1 SENSIBILIDAD DE DISPARO DE UN INTERRUPTOR DIFERENCIAL ....	13
TABLA 2. 2-1 PARAMETROS DEL RELE DIFERENCIAL .....	19
TABLA 3. 3-1 CONTINUIDAD ENTRE BORNES DEL RELÉ DIFERENCIAL .....	33
TABLA 4. 3-2 POSICIONES DE LA CARGA .....	34

TABLA 5. 3-3 CÁLCULO DE CORRIENTE DE LA CARGA.....	34
TABLA 6. 3-4 DATOS DE LOS TERMINALES 3-4 .....	38
TABLA 7. 3-5 DATOS DE LOS TERMINALES 1-2 .....	38
TABLA 8. 3-6 DATOS DE LOS TERMINALES 5-6 .....	39

## **SIGLAS**

TT: Puesta a Tierra de Servicio

AC: Corriente Alterna

GRD: Puesta a Tierra

KA: Kilo Amper

VCC: Voltaje Corriente Continua

VCA: Voltaje Corriente Alterna

ZPA: Aceleración del Periodo Zero

NA: Normal Abierto

NC: Normal Cerrado

## **SIMBOLOGÍA**

A: Amperes

V: Voltaje

HZ: Frecuencia

s: Segundos

°C: Celsius

$\Omega$ : Resistencia eléctrica

ms: Milisegundo

m: Metro

cm: Centímetro

## INTRODUCCIÓN

En el mundo industrial está globalizado el uso de diferentes tipos de máquinas, las cuales desempeñan diversas funciones, estas máquinas constan en gran parte de motores trifásicos para su funcionamiento, por esta razón surge la necesidad del uso de protecciones para resguardar estos equipos ante eventuales peligros en caso de fallas.

En base a lo planteado se hace indispensable la existencia de sistemas de protección para suplir esta necesidad, uno de ellos es el uso de protección diferencial que comande un interruptor trifásico, para el corte de suministro eléctrico en el circuito en caso de eventuales fallas.

Por lo ya mencionado es que se hace indiscutible el tener conocimiento como técnico sobre estas protecciones, para poder así enfrentar los futuros desafíos de manera clara y eficiente.

En el presente trabajo se verá una protección diferencial “Ground Shield 202H1541” con transformadores de ventana tipo “GS”, como se explicará más adelante un interruptor trifásico despejará la falla en el caso que se presente alguna fuga de corriente en el circuito.

El proyecto se abordará en el laboratorio eléctrico de la UTFSM, se implementará como equipo didáctico con fines educativos, el cual se espera que quede en un panel ubicado en taller con el fin de entregar de manera didáctica el conocimiento de cómo funcionan estas protecciones a nuevas generaciones de estudiantes.

## **OBJETIVO GENERAL**

Implementar un relé diferencial tipo Ground Shield, a partir del diseño de un módulo didáctico con el fin de complementar y entregar de manera más didáctica el estudio de este tipo de protecciones en las carreras del Departamento de Electricidad de la Universidad Técnica Federico Santa María

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar la finalidad de las protecciones y los tipos de usos que se les da.
- Describir el relé diferencial a utilizar.
- Diseñar y describir el equipo didáctico con los componentes seleccionados.
- Implementar el módulo previamente diseñado y realizar ensayos correspondientes para comprobar su funcionamiento.

## **METODOLOGÍA**

El trabajo de título se enfrentará como un proyecto ya que se implementará un equipo didáctico. Los ensayos a realizar serán, inspecciones visuales y medición de continuidad para tener una idea previa del estado del relé, además se comprobará la operatividad del relé con este energizado, en primera instancia que este opere de manera independiente cumpliendo el rol de circuito de control y fuerza (siendo todo realizado como indica el fabricante), también realizar la prueba de este ya montado en el módulo con el sistema de fuerza incluido, comprobando así la operatividad del módulo y el correcto funcionamiento de la parte de control y fuerza del montaje realizado.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Teniendo en consideración el poco material didáctico sobre protecciones eléctricas en la USM Concepción para el aprendizaje de los estudiantes de la carrera eléctrica, es que surge la necesidad de implementar un módulo didáctico, con el fin de complementar el estudio de los alumnos y el fácil entendimiento de lo que es una protección tan indispensable como la diferencial. Teniendo lo anterior en cuenta y además de contar con el material necesario, se realizará este trabajo de título en el cual se diseñará un módulo didáctico con un relé diferencial para suplir esta necesidad.

**CAPÍTULO I: GENERALIDADES ASOCIADAS A LAS PROTECCIONES  
DIFERENCIALES.**

## **1. Anomalías en los sistemas eléctricos de potencia**

Una forma de clasificación de acuerdo con la severidad con la que afecta al sistema es:

- Perturbaciones.
- Fallas.

### **1.1 Perturbaciones**

Las perturbaciones son condiciones que permiten continuar la operación de un sistema pero que pueden ocasionar el daño de ciertos equipos si su duración es prolongada, estas perturbaciones pueden ser causadas por:

- Sobretensiones.
- Sobrecarga.
- Oscilaciones de potencia.

#### **1.1.1 Sobretensiones**

Las sobretensiones son cualquier valor entre fase y tierra donde su pick es mayor que la tensión máxima del sistema. La tensión en el sistema es variable dependiendo de las características de los equipos, tensión nominal, tensión máxima.

Una posible clasificación para las sobretensiones es de acuerdo con el tiempo de duración de las mismas:

- Sobretensiones temporales.
- Sobretensiones de maniobra.

- Sobretensiones atmosféricas.

### **1.1.2 Sobrecargas**

Un equipo está sobrecargado cuando la corriente es mayor que el valor de la corriente nominal, esta anomalía está acompañada de efectos térmicos, propios del efecto Joule. Entre las razones más comunes en la aparición de sobrecargas están:

- Cortocircuitos no aislados oportunamente
- Excesos de carga

### **1.1.3 Oscilaciones de potencia**

Son comúnmente causadas por la conexión y desconexión de circuitos del sistema eléctrico cuando se producen variaciones de potencia. Esto sucede ya que los generadores no toman instantáneamente el ángulo de impedancia de la carga, sino que después de varias oscilaciones amortiguadas, lo que provoca una sobrecarga ya que las corrientes generadas están con otra frecuencia en comparación a la industria.

## **1.2 Falla eléctrica**

Es una condición que impide el funcionamiento de uno o más equipos del sistema, haciendo intervenir a los sistemas de protección para proteger dichos equipos.

Hay dos posibles estados en una falla eléctrica, la falta de continuidad (circuito abierto) o una falta de aislación que se traduce en cortocircuito. Los tipos de fallas en un sistema de potencia son:

- Cortocircuitos.

- Circuitos abiertos.
- Fallas simultáneas.
- Fallas en devanados.
- Fallas en evolución.

### **1.2.1 Cortocircuitos**

Se define como el fenómeno eléctrico que ocurre cuando dos puntos entre los cuales existe una diferencia de potencial entran en contacto, generando elevadas magnitudes de corriente lo que deriva a fallas.

Los cortocircuitos se clasifican en:

- Cortocircuito por contacto directo
- Cortocircuito por ruptura de aislamiento

Las posibles causas que dan origen a un cortocircuito son de:

- Origen eléctrico.
- Origen mecánico.
- Origen fortuito.

### **1.2.2 Conductores en circuito abierto**

Consisten en la falta de continuidad eléctrica en una o más fases del circuito, algunas de las causas que lo generan puede ser la operación incorrecta de algún interruptor, la ruptura en uniones eléctricas, mal contacto eléctrico en protecciones, etc.

### **1.2.3 Fallas simultaneas**

Son combinaciones de dos o más fallas que se producen al mismo tiempo, estas fallas pueden ser del mismo tipo o diferentes y pueden ocurrir en el mismo punto o diferentes.

### **1.2.4 Fallas en devanados**

Básicamente son las situaciones en que los devanados producen una operación anormal del sistema de potencia. Estas fallas pueden ser: falla en devanado a tierra, falla entre devanados, falla entre dos puntos del mismo devanado (cortocircuito entre espiras), circuito abierto.

### **1.2.5 Fallas evolutivas**

Son fallas que cambian durante el tiempo que permanezcan, o las veces que se produzca.

## **1.3 Protección diferencial**

En los sistemas TT, la tierra está asociada a la protección diferencial haciendo de ambos un eficiente y eficaz medio de protección ante los peligros que trae la corriente eléctrica.

El interruptor diferencial es un dispositivo electromecánico que se utiliza, con el fin de proteger en caso de contactos directos o indirectos en las partes activas de un

circuito eléctrico, aunque esto se debe evitar dando la aislación necesaria para el circuito en los conductores y receptores.

El interruptor diferencial está diseñado para detectar corrientes de fuga que se originen en el circuito eléctrico, de manera que, si la corriente de fuga es mayor o igual a la medida que se tiene asignada como sensibilidad, el interruptor debiese operar.

### **1.3.1 Principio de funcionamiento**

Principalmente consta de un transformador toroidal, un relé y un mecanismo de accionamiento de los contactos. Cuando no hay corriente de fuga la corriente entrante crea un flujo en la bobina de fase, el cual es contrarrestado por un flujo creado por la bobina de neutro ya que son iguales, pero si hay una intensidad de defecto y esta es lo suficientemente elevada, se producirá una fuerza electromotriz en el bobinado de la corriente residual el cual excitará el relé diferencial abriendo así los contactos del interruptor, ocasionando la desconexión de la red.

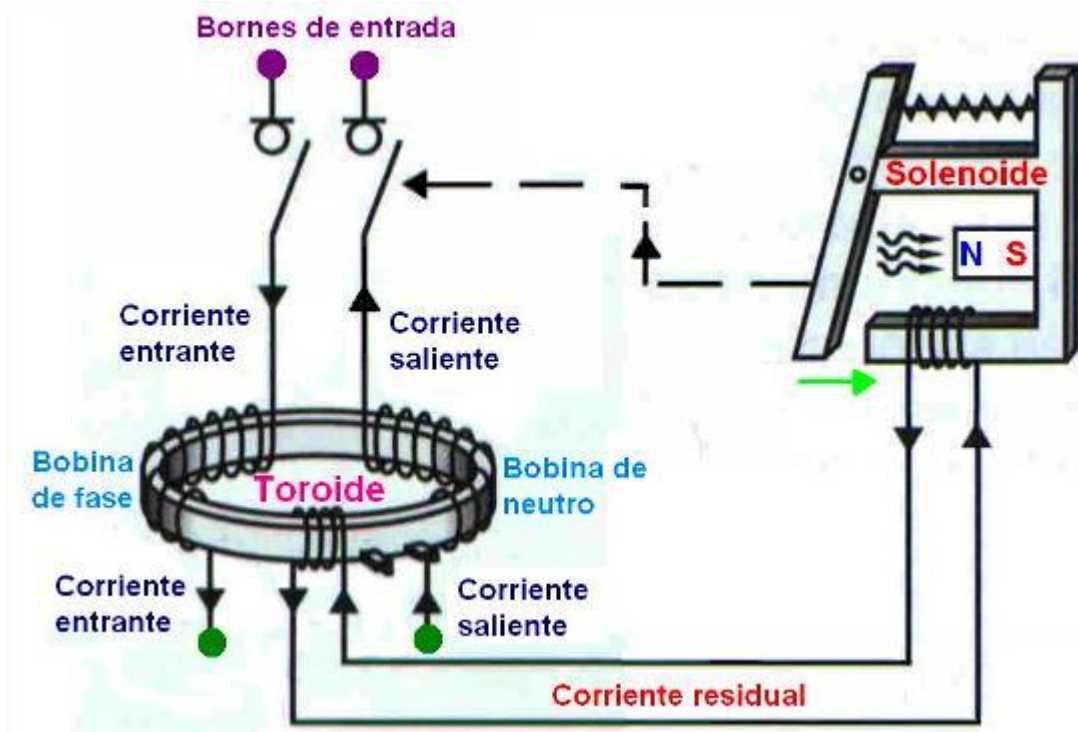


IMAGEN 1. 1-1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN DIFERENCIAL

Fuente: <http://www.afinidadelectrica.com/articulo.php?IdArticulo=198>

### 1.3.2 Interruptor automático diferencial

Es un bloque compacto, cuando la suma vectorial de las corrientes que atraviesan sus polos llega a un valor predeterminado, genera la desconexión de manera automática de la instalación

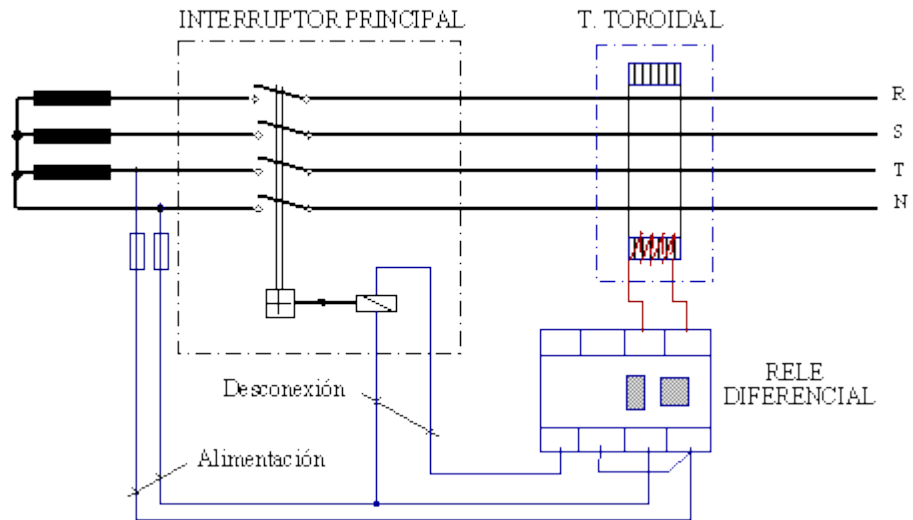


IMAGEN 2. 1-2 RELÉ DIFERENCIAL PARA SISTEMAS DE GRAN POTENCIA

Fuente: [http://www.profesormolina.com.ar/electromec/tierra\\_rele.htm](http://www.profesormolina.com.ar/electromec/tierra_rele.htm)

### 1.3.3 Características fundamentales

### 1.3.4 Intensidad nominal del interruptor

Es lo más que pueden soportar los contactos principales sin sufrir daños, sus valores más comunes son; 25, 40, 63, 80 y 100 A.

### **1.3.5 Número de polos**

Estos pueden ser bipolares (una fase y neutro) o tetra polares (tres fases y un neutro), existe también los tripolares, aunque son los menos empleados ya que sirve en su remplazo un tetra polar.

### **1.3.6 Capacidad de ruptura**

Por lo general es bastante reducido y depende de la corriente nominal que pasa a través de él.

### **1.3.7 Sensibilidad de disparo**

Es el valor asignado por el fabricante el cual dicta la diferencia nominal de disparo (el valor mínimo de la corriente de fuga con el cual el interruptor diferencial debe abrir de manera automática el circuito).

Tipo	Tiempos máximos de respuesta en segundos		
	Intensidad de defecto en relación con la sensibilidad del diferencial $\Delta n$		
	$1 \times \Delta n$	$2 \times \Delta n$	$5 \times \Delta n$
General ó instantáneo	0,3	0,15	0,04
Selectivo ó <b>S</b>	0,5	0,2	0,15

TABLA 1. 1-1 SENSIBILIDAD DE DISPARO DE UN INTERRUPTOR DIFERENCIAL

Fuente: <https://www.quironprevencion.com/blogs/es/prevenidos/interruptor-diferencial-vigilante-electrico>

## 1.4 Tipos de interruptores diferenciales

Existen dos tipos de interruptor diferencial; los tipos G (generales) y S (selectivos), el tipo G lleva una temporización para que cuando esté en igualdad de sensibilidad con otro instalado más abajo, dispare el G y no el tipo S, ya que generalmente suministra más circuitos eléctricos que no se deben ver envueltos a fallas externas.

### 1.4.1 Clase AC

Esta clase solo detecta corrientes de fuga alterna.

### **1.4.2 Clase A**

Permite detectar corrientes de fuga ya sean alternas o pulsantes, con o sin componente continua.

### **1.5 Relé diferencial**

Cuando se requiere un gran poder de corte se utilizan los relés diferenciales, los interruptores diferenciales son de bajo poder de corte por lo que el relé sufre otras necesidades. Se componen de un relé y un transformador diferencial e interruptor automático.

Las ventajas de este dispositivo diferencial es que el poder de corte del circuito no es importante para el relé, ya que lo soporta el interruptor automático diferencial, por lo que el relé diferencial actúa como circuito auxiliar.

Los tiempos de respuesta son iguales a los del interruptor automático diferencial, sin embargo, se puede introducir un retardo en el disparo mediante un circuito temporizador, lo que aumenta su rango de selectividad.

### **1.6 Aplicaciones de diferenciales en los sistemas TT**

El uso de esta protección es usado por lo general en las siguientes aplicaciones: Circuitos en zonas especiales (salas de agua, condiciones severas), tomas de corriente en las instalaciones temporales para cualquier intensidad, alimentación de caravanas y barcos, Instalaciones en canteras en elementos portátiles y en cables accesibles, alimentación de elementos de calefacción, elementos móviles y de luminarias de salas mojadas, entre otras.

**CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO.**

## **2.1 Descripción de la protección diferencial:**

Este sistema de relé diferencial proporciona una protección de sensibilidad rápida ante defectos de fase a tierra, fase a fase y trifásico para motores y generadores. El sistema consta de 3 sensores de corriente tipo GS y un relé de tipo trifásico.

Aunque es más sensible que esquemas de retransmisión diferencial porcentual, el sistema GRD es menos costoso, lo que permite que sea una opción económica para máquinas más pequeñas.

El sistema se utiliza en la disposición de "auto equilibrado", donde los conductores del lado de la fuente y del lado neutro de cada bobinado de fase de la máquina, se pasan por la ventana del sensor de corriente. La selección de este sensor es independiente de la corriente de carga y se basa solo en el tamaño físico requerido para pasar los dos conductores por la ventana del sensor. Para máquinas más grandes es inviable este método y se debe hacer un análisis al respecto.

Dado que el mismo sensor de corriente se usa para detectar la diferencia entre la entrada y la salida de cada bobinado de la máquina, se evitan problemas de saturación del transformador de corriente. El relé puede estar ubicado lejos de la máquina y los sensores sin preocuparse por las características de saturación.

Los sensores ABB deben usarse con el tipo de relé GRD.

Que el relé sea GRD significa que es para cargas de corriente alterna, pueden ser inductivas o resistivas, dependiendo de la carga deriva a la siguiente tabla:

Resistiva

Inductiva

	Corriente en la carga	Tensión de mando	24-280 V~	36-530 V~	48-660 V~		Corriente en la carga	Tensión de mando	24-280 V~	36-530 V~	48-660 V~
GMS	5 A	4-32 V $\approx$	84 130 105				5 A	4-32 V $\approx$	84 130 108		
GN	Página 4/15; 4/21										
GNA5	10 A	3-32 V $\approx$	84 134 900								
		18-36 V $\approx$	84 134 902								
		90-280 V $\approx$	84 134 901								
	Fast on	3-32 V $\approx$	84 134 907								
		18-36 V $\approx$	84 134 908								
		90-280 V $\approx$	84 134 909								
	25 A	3-32 V $\approx$	84 134 910								
		18-36 V $\approx$	84 134 912								
		90-280 V $\approx$	84 134 911								
	Fast on	3-32 V $\approx$	84 134 917								
18-36 V $\approx$		84 134 918									
90-280 V $\approx$		84 134 919									
GRD	12 A	4-32 V $\approx$	84 130 101								
		180-280 V~	84 130 100								
		90-140 V~	84 130 150								
	20 A	4-32 V $\approx$	84 130 103								
		180-280 V~	84 130 102								
		90-140 V~	84 130 152								
	25 A	4-32 V $\approx$				84 130 116					
		180-280 V~				84 130 118					
		90-140 V~				84 130 158					
	35 A	4-32 V $\approx$				84 130 111					
		90-280 V~				84 130 110					
	45 A	4-32 V $\approx$				84 130 113					
90-280 V~					84 130 115						
	12 A	4-32 V $\approx$									
		90-280 V~									
	25 A	4-32 V $\approx$							84 130 117		
		90-280 V~									
	35 A	4-32 V $\approx$							84 130 112		
		90-280 V~									
	45 A	4-32 V $\approx$							84 130 115		
		90-280 V~									

IMAGEN 3. 2-1 SELECCIÓN DE CARGA PARA TIPOS GRD

Fuente: <http://www.crouzet.com.mx/pdf/crouzet/solido.pdf>

## 2.2 Parámetros del relé diferencial

### 2.2.1 Corriente de corte primario

El interruptor establece la corriente de operación del relé en términos de la corriente de falla del lado primario. La configuración es de 2, 5, 10 amperes, 50/60 Hz.

### 2.2.2 Tiempo de operación

El tiempo de operación es ajustable en el relé, los ajustes son 1, 3 y 5 ciclos (60 Hz base).

**Tabla de parámetros y tiempos de operación del relé**

	Magnitud	tiempo
Capacidad de resistencia (amperios en el primario)	100 KA	0.033 s
	65 KA	0.5 s
	300 A	Continuo
Voltaje de control	125 VCC o 120 VCA	-----
Clasificación de salida	30 A	Corte inmediato
	12 A	0.25 s
	7.5 A	1 s
	1 A	Continuo
Temperatura de operación	Desde -20°C a 75°C	-----

Capacidad sísmica	multifrecuencia de banda ancha ZPA 6g, según ANSI C37.98	-----
Resistencia dieléctrica	1500VAC	60 s
Tolerancia corriente de arranque	Usando sensor redondo +/- 1 Amper.	-----
	Usando sensor rectangular +2/-1 Amper.	-----
Tiempo de retraso (corriente de prueba 2 veces la nominal)	1 ciclo	0.008 - 0.032 s
	2 ciclos	0.032 - 0.07 s
	5 ciclos	0.064 - 0.10 s

*TABLA 2. 2-1 PARAMETROS DEL RELE DIFERENCIAL*

### **2.3 Descripción del modulo**

Este módulo está constituido por 3 grupos de trabajo, los cuales corresponden a sus respectivos trabajos de título, en el módulo se encuentran diversos tipos de relé, que atienden gran cantidad de las fallas que se puede presentar en un circuito eléctrico en un ambiente industrial.

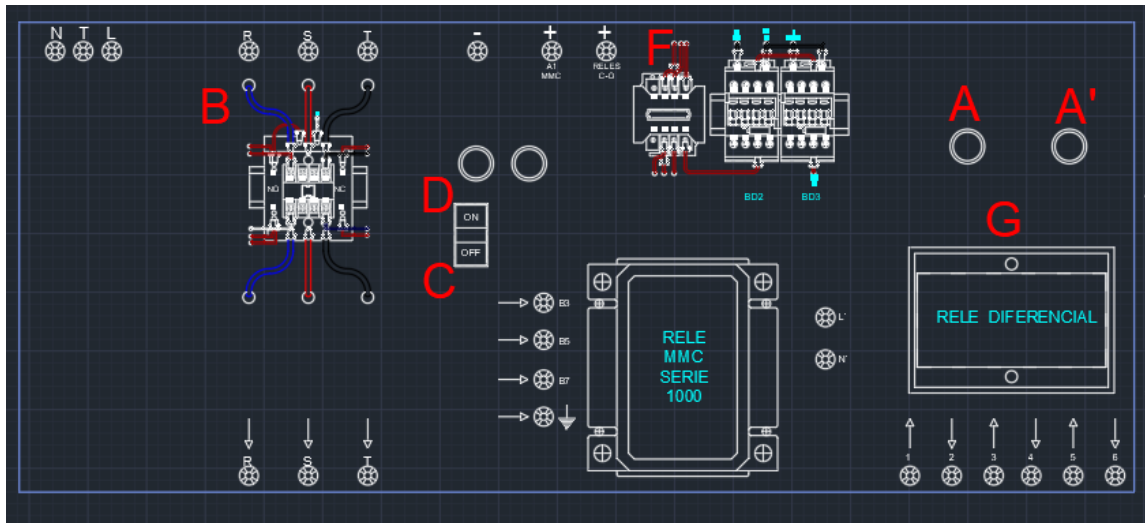
El relé diferencial forma parte de es uno de seis sistemas de control que tiene incorporado el módulo, este relé tiene un sistema de control independiente de los demás, pero actúa sobre el mismo sistema de interrupción que actúan todos los relés del panel.

El relé utilizado será del tipo diferencial y su función en el panel netamente es detectar e interrumpir una fuga de corriente en una carga trifásica.

Ya que la protección opera con una corriente de fuga de hasta 10 amperes, se utilizará una carga resistiva que consuma hasta 10 o más amperes, esto para simular su función en todos los rangos disponibles por el relé diferencial.

Para el funcionamiento del relé diferencial se utilizará los siguientes implementos:

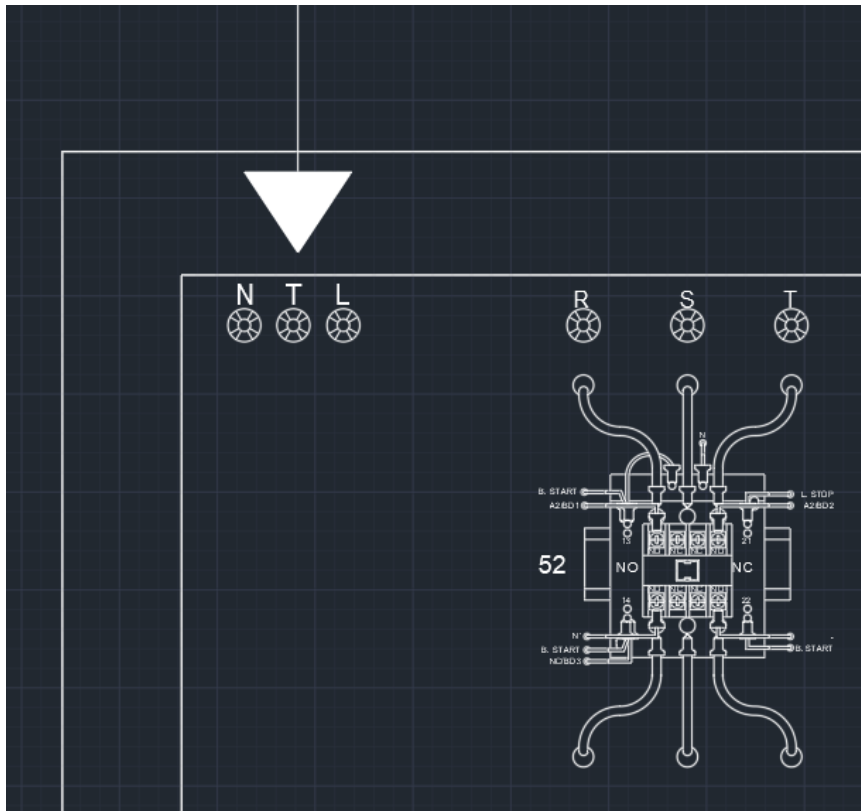
- 2 luces piloto, una luz verde para indicación de energización del relé y una luz roja para operación del relé en falla.
- 1 contactor trifásico de 220VAC, será comandado por cualquiera de las protecciones del panel.
- 1 pulsador normalmente cerrado, que se utiliza para la parada, una vez la falla sea activada.
- 1 pulsador normalmente abierto, que se utiliza para accionar el contactor.
- 3 transformadores tipo GS, los cuales detectan cualquier tipo de fuga que haya en alguna fase).
- 1 contactor auxiliar de 120VAC, encargado de desenergizar el contactor principal.
- 1 relé diferencial Ground Shield GS, encargado de accionar el contactor auxiliar de 120VCA.



*IMAGEN 4. 2-2 CIRCUITO DEL PANEL HECHO EN AUTOCAD 2019*

Fuente: Elaborado del módulo hecho a escala en AutoCAD 2019.

Cabe destacar que para utilizar el panel este se debe energizar, en los bornes designados como N, T, L, en la esquina superior izquierda del panel donde se señala en la siguiente imagen



*IMAGEN 5. 2-3 BORNES PARA ENERGIZAR*

Fuente: Elaborado del módulo hecho a escala en AutoCAD 2019.

## **2.3.1 CONEXIONADO**

### **2.3.1.1 Conexionado de sensores**

Para la operación del relé diferencial se implementan tres transformadores de corriente, que cumplen la función de censar la corriente que va hacia la carga, por estos debe transitar la corriente que esta antes y después de la carga, por lo que se inducirán los

transformadores en caso de que exista una fuga de corriente en la carga. El correcto conexionado está indicado en la siguiente figura:

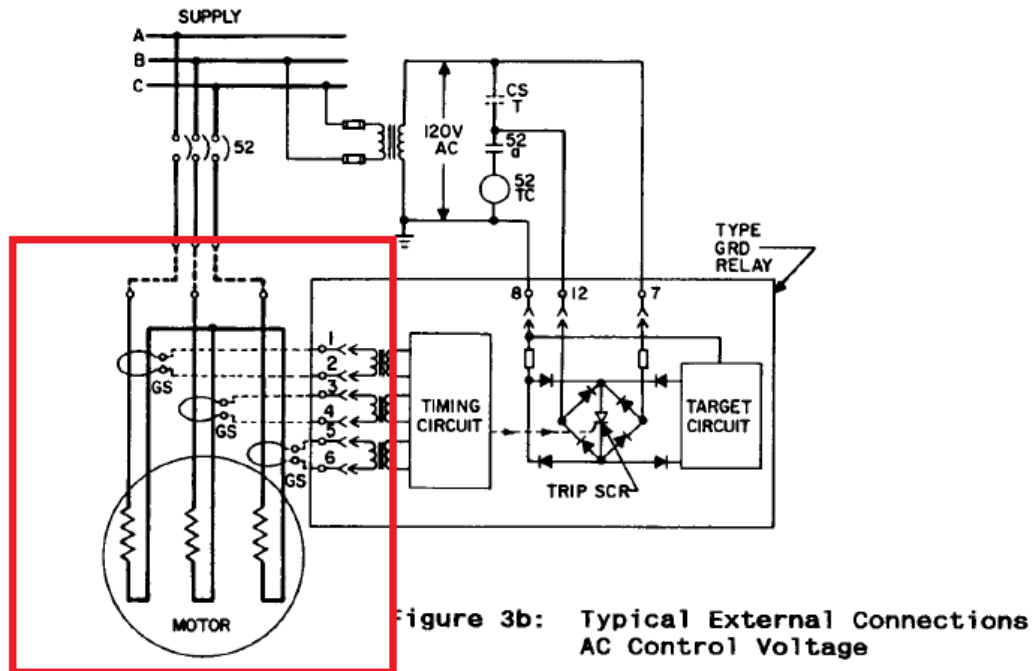


IMAGEN 6. 2-3 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL RELÉ DIFERENCIAL

Fuente: Manual ABB relé diferencial

Estos transformadores no se encuentran montados en el módulo, sino que se deben implementar a la hora de realizar el montaje, sin embargo, se dispone de bornes que permiten una fácil implementación de estos.

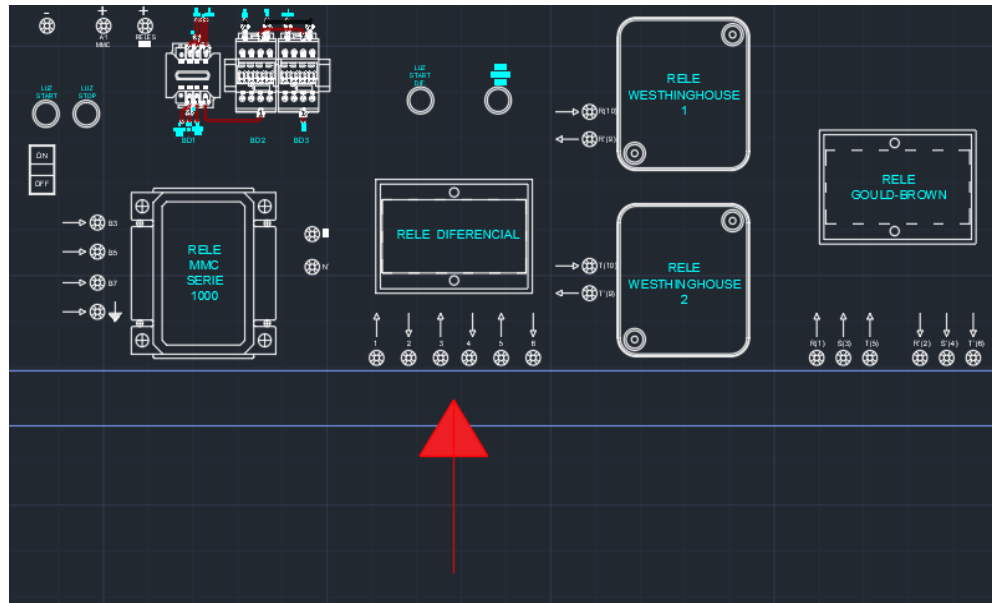


IMAGEN 7. 2-4 INDICACIÓN DE LOS BORNES EN EL MÓDULO

Fuente: Elaborado del módulo hecho a escala en AutoCAD 2019.

### 2.3.1.2 Conexión de Tensión de control

La tensión de control implementada es del tipo alterna y es de una magnitud de 120 VAC como lo exige el fabricante, esta tensión de control irá entre los terminales 7 y 8 del relé diferencial, como se puede apreciar en la imagen 2-5.

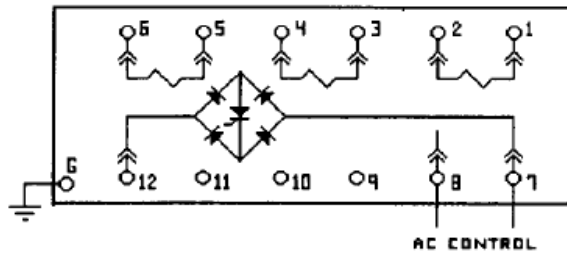


IMAGEN 8. 2-5 ESQUEMA DE BORNES DEL RELÉ DIFERENCIAL

Fuente: Manual ABB relé diferencial

Esta alimentación se hará a través de 2 bornes que se encuentran en el lado izquierdo el relé diferencial con el finde facilitar la energización de este.

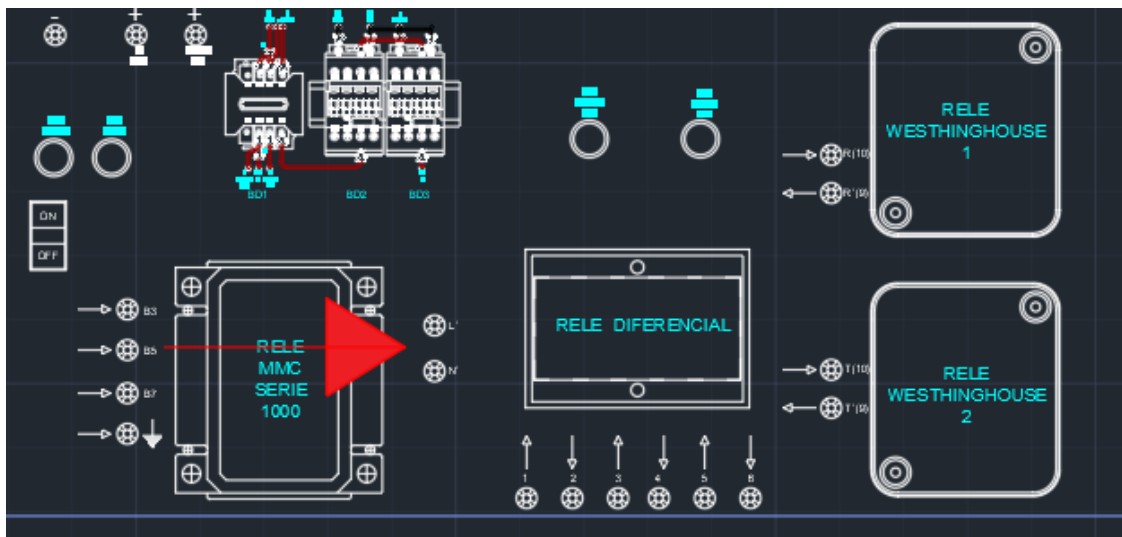


IMAGEN 9. 2-6 INDICACIÓN DE LA ALIMENTACIÓN EN EL MÓDULO

Fuente: Elaborado del módulo hecho a escala en AutoCAD 2019.

### **2.3.1.3. Conexión a tierra del relé diferencial**

Ya que este cuenta con una placa metálica en su parte frontal, esta está debidamente aterrizada, para lo cual se cuenta con un terminal en la parte posterior del relé, el cual, es designado como G, como se muestra en la “imagen 2-5”, y será el encargado de aterrizar el equipo.

### **2.3.2. Interruptor diferencial de poder**

Para desenergizar la carga en caso de falla, se implementó un contactor de 220VCA con apertura por control, este interruptor es comandado por el relé diferencial, el cual se encarga de comandar la apertura del contactor en caso de falla.

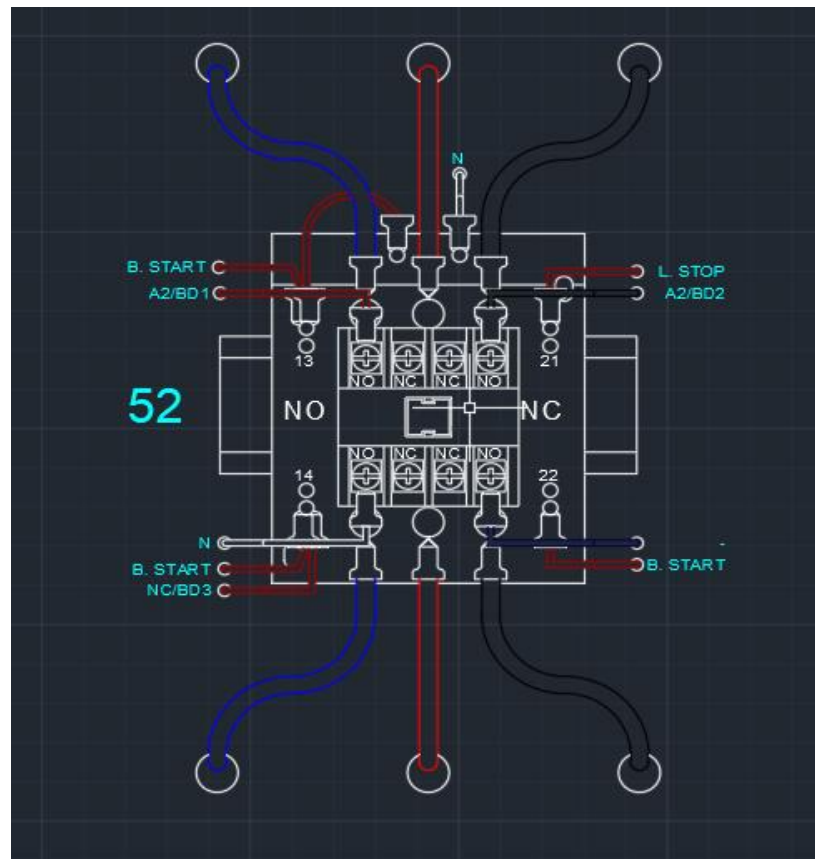


IMAGEN 10. 2-7 IMAGEN DEL CONTACTOR EN EL MÓDULO

Fuente: Elaborado del módulo hecho a escala en AutoCAD 2019.

### 2.3.3. Relé Auxiliar

Para la desenergización del contactor principal, el relé diferencial debe operar al contactor auxiliar (BD1), el cual este a través de uno de sus contactos está encargado de desenergizar la bobina del contactor principal y por lo tanto la desenergización el circuito de fuerza del panel.

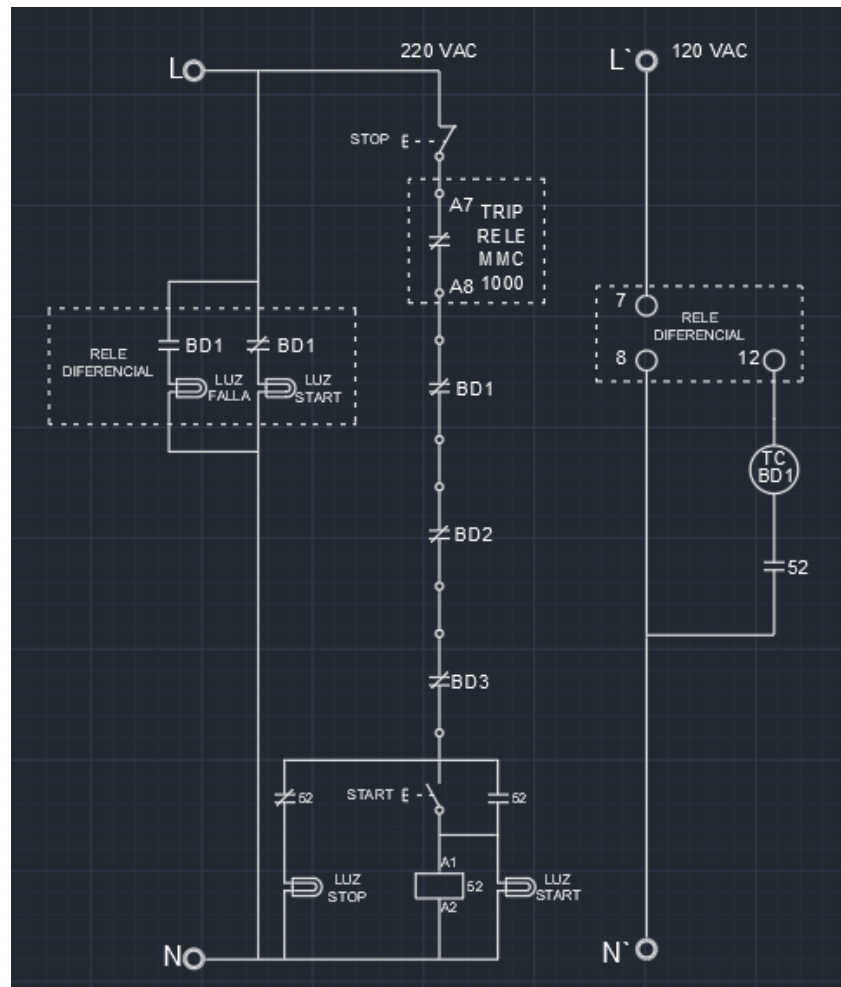


IMAGEN 11. 2-8 CIRCUITO DEL RELÉ DIFERENCIAL

Figura: Elaboración propia del módulo hecho en AutoCAD 2019

**CAPÍTULO III: IMPLEMENTACIÓN Y ENSAYOS DEL EQUIPO  
DIDÁCTICO.**

### **3.1. Descripción de los ensayos**

Antes de todo se debe comprobar que el relé diferencial esté en buen estado, luego de esto se procederá con los ensayos energizados, por ende, los ensayos a realizar son los siguientes:

- Inspección visual.
- Medición de continuidad entre los bornes del relé.
- Ensayo de prueba al relé diferencial.
- Ensayo del relé diferencial del módulo didáctico.

#### **3.1.1. Ensayo N°1 “Inspección visual”**

El objetivo de este ensayo es cerciorar que el relé no se vea dañado a simple vista o que le falte algún elemento, también revisar que no haya nada anormal y poder ver si lo que compone el relé diferencial concuerde con lo esperado.

Inspección:

- En la parte trasera del relé diferencial se puede apreciar que las entradas N°9, 10 y 11 no trae sus bornes, esto se debe a que no se utilizan estos bornes.
- En la parte delantera el selector de amperaje se encuentra algo trabado en comparación al selector de ciclos, por lo que se tendrá que trabajar con cuidado en él.
- En la parte trasera izquierda falta un tornillo, lo que hace que la base se hunda por ese lado, por lo cual habrá que trabajar con sumo cuidado al momento de conectar sus terminales.

- Dentro del relé se escucha un sonido como si estuviese una pieza suelta, por lo demás se ve todo normal.

### 3.1.2. Ensayo N°2 “Medición de continuidad entre bornes”

El objetivo de este ensayo es comprobar el estado de los componentes del relé diferencial de acuerdo con lo teóricamente esperado, para lo cual se realizará la siguiente tabla en la cual se esperará que haya o no continuidad:

**Tabla de continuidad**

<b>Bornes</b>	<b>Esperado</b>	<b>Medido</b>
1-2	Si	Si
1-3	No	No
1-5	No	No
1-7	No	No
1-8	No	No
1-9	No	No
1-10	No	No
1-11	No	No
1-12	No	No
1-G	No	No
3-4	Si	Si
3-5	No	No
3-7	No	No
3-8	No	No

3-9	No	No
3-10	No	No
3-11	No	No
3-12	No	No
3-G	No	No
5-6	Si	Si
5-7	No	No
5-8	No	No
5-9	No	No
5-10	No	No
5-11	No	No
5-12	No	No
5-G	No	No
7-8	Si	Si
7-9	No	No
7-10	No	No
7-11	No	No
7-12	No	No
7-G	No	No
8-9	No	No
8-10	No	No
8-11	No	No
8-12	No	No
8-G	No	No
9-10	No	No
9-11	No	No
9-12	No	No
9-G	No	No
10-11	No	No

10-12	No	No
10-G	No	No
11-12	No	No
11-G	No	No
12-G	No	No
G-Carcasa	Si	Si

*TABLA 3. 3-1 CONTINUIDAD ENTRE BORNES DEL RELÉ DIFERENCIAL*

### 3.1.3. Ensayo N°3 “Prueba del relé diferencial”

El objetivo de este ensayo es energizar el relé diferencial con la configuración de control de corriente alterna para comprobar que el relé esté funcionando correctamente, será un ensayo netamente de prueba.

Para realizar este ensayo calcularemos una carga resistiva trifásica, la cual conectaremos en paralelo para que quede como carga monofásica y alimentaremos con 120[V]CA, para poder simular una fuga que opere el relé y comprobar que este funcione.

#### Cálculo de la carga

#### Tabla de posiciones de la carga

TAPS	Resistencia[Ω]
1	84
2	41.5
3	29.8

4	21.7
---	------

*TABLA 4. 3-2 POSICIONES DE LA CARGA*

Se utilizará una carga trifásica de 220/380[V]. Serie H0081.

De acuerdo con la información obtenida se puede determinar la corriente según la carga con la siguiente fórmula:

$$Corriente = \frac{Voltaje}{Resistencia}$$

Ya que energizaremos la carga con 120VCA y utilizando la información anteriormente reunida nos quedaría el siguiente cálculo de corrientes:

**Tabla del cálculo de corriente**

<b>Tensión[V]</b>	<b>TAPS</b>	<b>Corriente[A]</b>
120	1	1.428
120	2	2.89
120	3	4.026
120	4	5.529

*TABLA 5. 3-3 CÁLCULO DE CORRIENTE DE LA CARGA*

Con los datos de la carga ya calculados, se procede a implementar el circuito de prueba del relé diferencial, esto para comprobar que la corriente y el tiempo de reacción sea correcta según lo indicado en la configuración del relé.

### Circuito

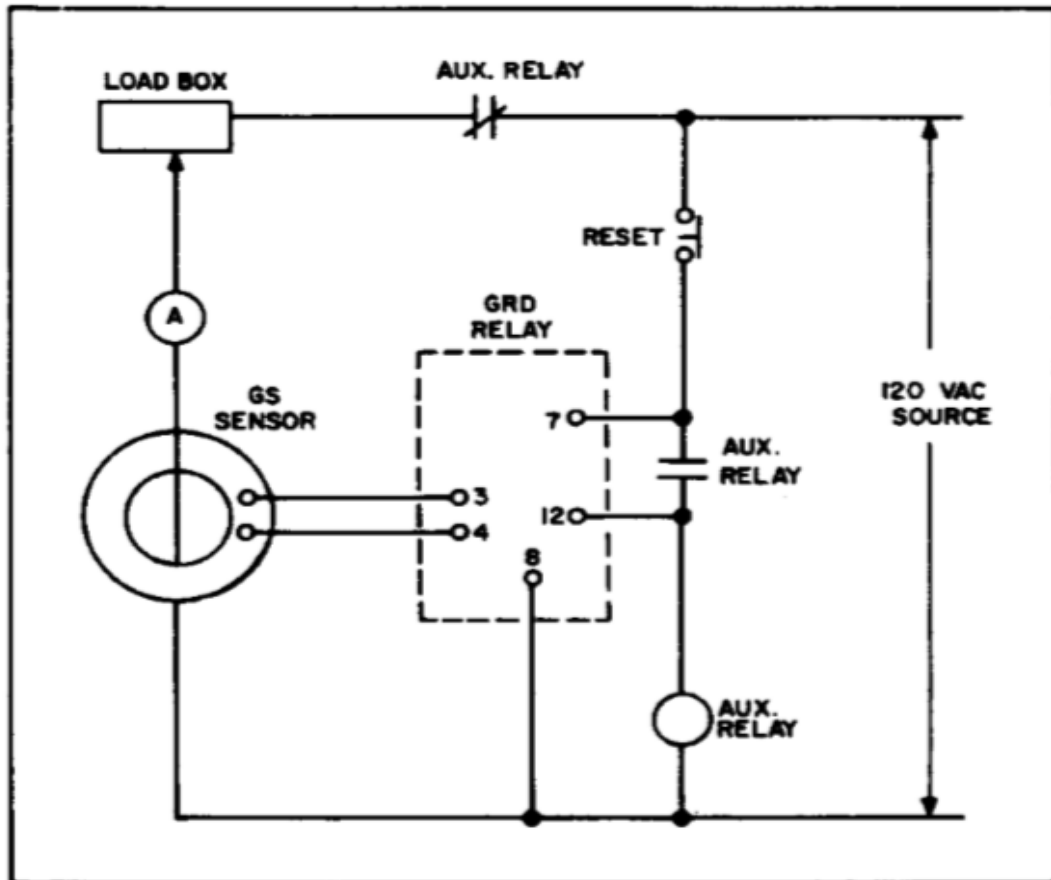


IMAGEN 12. 3-1 CIRCUITO DEL ENSAYO DE PRUEBA DEL RELÉ

Fuente: Manual ABB relé diferencial

### **Instrumentación**

- 1 amperímetro análogo 10[A]CA.
- 1 contactor 120[V]CA con 2 NA y 2 NC.
- 1 transformador toroidal tipo GS 302b0200UL.
- 1 pulsador normalmente cerrado.
- 1 fuente variable 3x380[V]CA.
- 1 voltímetro 0-300[V]CA.
- 1 carga trifásica resistiva 220/380 [V] Serie H0081.
- 4 chicotes banana-banana 30[cm].
- 5 chicotes banana-banana 1[m].
- 8 chicotes banana-puntilla 1[m].

### **Procedimiento**

- 1-. Implementar el circuito de montaje.
- 2-. Configurar las variables del relé diferencial en 2[A], 1 ciclo.
- 3-. Regular la fuente variable a 120[V]CA.
- 4-. Una vez realizo todo lo anterior, agregar 2 TAPS de la carga y registrar los valores del amperímetro y tiempo.
- 5-. Cuando opere el relé bajar la tensión a 0[V] y pulsar el botón de reseteo, además del pulsador para el bobinado del diferencial.

- 6-. En caso de que no opere desenergizar el circuito a la brevedad.
- 7-. Regular la variable de tiempo a 3 ciclos y repetir los puntos 1, 2 ,3, 4 y 5.
- 8-. Reajustar la variable de ciclo a 5 y repetir los puntos 1, 2 ,3, 4 y 5.
- 9-. Configurar las variables del relé en 5[A], 1 ciclo.
- 10-. Regular la fuente variable a 120[V]CA.
- 11-. Energizar el circuito, aplicar 4 TAPS y registrar los datos.
- 12-. Una vez opere el relé bajar la tensión a 0[V] y pulsar el reseteo del relé además del pulsador.
- 13-. Ajustar el tiempo de operación del diferencial a 3 ciclos y repetir los puntos 1, 2 ,3, 4 y 5.
- 14-. Ajustar el tiempo de operación del diferencial a 5 ciclos y repetir los puntos 1, 2 ,3, 4 y 5.
- 15-. Repetir los pasos anteriores en los terminales “1-2” y “5-6”.

### Tablas de datos

**Tabla 3.1 datos terminales 3-4**

Corriente regulada del relé	Tiempo regulado del relé	Corriente aplicada	Dato obtenido de operación del relé
2 [A]	20 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	El relé opera
2 [A]	60 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	No opera
2 [A]	100 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	El relé opera

5 [A]	20 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera
5 [A]	60 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera
5 [A]	100 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera

*TABLA 6. 3-4 DATOS DE LOS TERMINALES 3-4*

**Tabla de datos terminales 1-2**

<b>Corriente regulada del relé</b>	<b>Tiempo regulado del relé</b>	<b>Corriente aplicada</b>	<b>Dato obtenido de operación del relé</b>
2 [A]	20 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	El relé opera
2 [A]	60 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	El relé opera
2 [A]	100 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	El relé opera
5 [A]	20 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera
5 [A]	60 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera
5 [A]	100 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera

*TABLA 7. 3-5 DATOS DE LOS TERMINALES 1-2*

**Tabla de datos terminales 5-6**

<b>Corriente regulada del relé</b>	<b>Tiempo regulado del relé</b>	<b>Corriente aplicada</b>	<b>Dato obtenido de operación del relé</b>
2 [A]	20 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	El relé opera
2 [A]	60 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	El relé opera
2 [A]	100 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	El relé opera

5 [A]	20 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera
5 [A]	60 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera
5 [A]	100 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera

*TABLA 8. 3-6 DATOS DE LOS TERMINALES 5-6*

### **Conclusiones del ensayo**

El relé diferencial se encuentra funcional en casi todas sus configuraciones, sin embargo, cuando se ajusta 2A - 3 ciclos en los terminales “3-4” el relé no opera, por lo que se concluye que esa función está mala en el relé.

Cuando se probó con la configuración de corriente en 5A no operó en ninguna ocasión, sin embargo, esto se debe a que la corriente en la carga era levemente superior a lo ajustado en el relé, ya que no se pudo conseguir una carga de mayor corriente y en esa configuración se necesita una corriente más alta que la utilizada. Por esta misma razón no se probó la configuración de 10A en el diferencial.

Por lo demás la finalidad de este ensayo era corroborar que el relé funcionase, por lo que se puede decir que el relé diferencial está casi en perfectas estado.

### **Ensayo N°4 “Prueba de relé diferencial en el módulo”**

El objetivo del ensayo es comprobar el correcto funcionamiento del relé diferencial ya estando montado en el módulo, con esto, corroborar que este se encuentra operativo y listo para utilizar en el módulo.

Ya que el fin del ensayo es solo corroborar la operatividad del relé dentro del módulo se procederá a realizar el ensayo de manera monofásica por lo que se utilizaran los siguientes materiales:

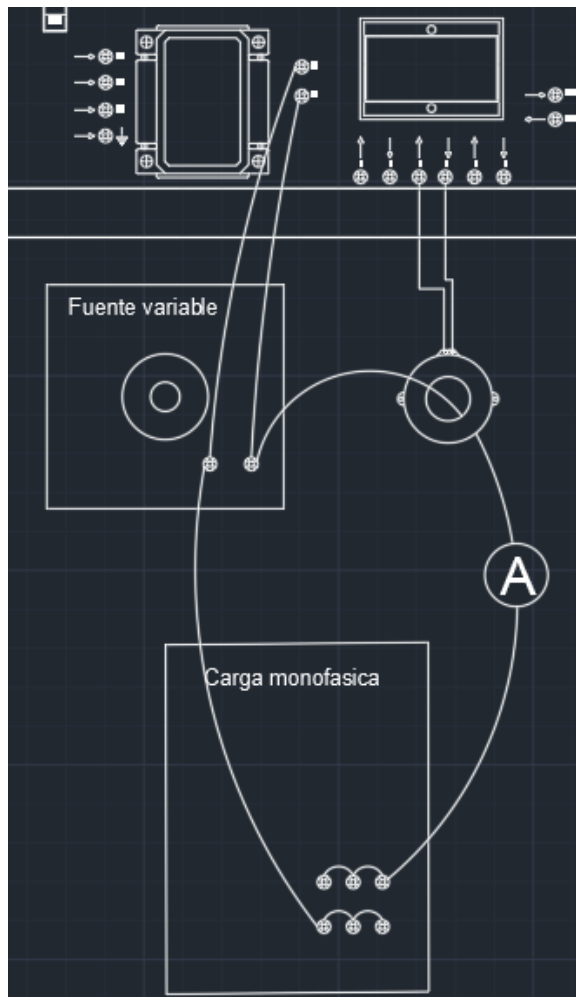
### **Listado de materiales**

- 1 voltímetro análogo de 0-300VAC
- 1 amperímetro análogo de 0-5[A]CA
- 1 fuente variable de 5A 220V
- 1 transformador de corriente tipo GS código 302B0200UL marca Ground
- 1 carga trifásica resistiva 220/380VCA Serie H0081.
- 4 chicotes banana-banana 30 Cm
- 8 chicotes banana-banana 1m
- 1 extensión monofásica de 220V

### **Procedimiento**

- Anclar el contactor (52) con el pulsador de partida
- Ingresar la carga resistiva (ingresar los TAPS necesarios según la sensibilidad configurada)
- En caso de que no actúe la protección, desanclar el contactor de manera manual utilizando el pulsador de parada

El circuito de montaje será al igual que en el ensayo anterior de manera monofásica (ver “Imagen 3-1”) pero utilizando los componentes del módulo, en la siguiente imagen se vera como se montan los componentes necesarios para la operación del relé.



*IMAGEN 13. 3-2 CIRCUITO DE MONTAJE DEL ENSAYO EN EL MODULO*

Figura: Elaboración propia del módulo hecho en AutoCAD 2019

### **Conclusión del ensayo**

Ya que el relé operó como se esperaba y cumpliendo con los rangos de corriente y tiempos configurados (Cabe destacar que este se hizo operar solo en la configuración de 1A – 1ciclo), podemos decir que el relé diferencial se encuentra operativo.

Este ensayo también nos permitió concluir con la etapa de aplicación de este tipo de protecciones, ya que el desarrollo de estas pruebas nos permitió aplicar y por tanto corroborar de manera práctica el conocimiento teórico adquirido tanto en las aulas de la Universidad como de los manuales y libros proporcionados por la misma. Por lo anterior mencionado es que se busca que este y otros ensayos permitan complementar el conocimiento de los estudiantes, buscando que consoliden de mejor manera ese conocimiento con una experiencia práctica que busca ser lo más cercana a una en una situación industrial.

## CONCLUSIÓN

Al término de este trabajo podemos concluir que el objetivo general que era diseñar e implementar un módulo didáctico con la protección designada se ha realizado de manera satisfactoria, ya que el relé ha funcionado en el módulo didáctico con sus configuraciones adecuadas, logrando compatibilizar con el resto de las protecciones ubicadas en el panel.

Además, se cumplieron los objetivos específicos tales como el estudio de las protecciones y su finalidad, la descripción del relé diferencial, sus parámetros y la implementación del módulo. También, a lo largo del desarrollo del trabajo de título pudimos comprender el proceso que utiliza una protección para operar ante una falla, los pasos que esta sigue y como logra despejar la falla de manera eficiente, igualmente comprendimos el trabajo necesario a realizar a la hora de utilizar distintos tipos de relé, ya sea por marca, tensión de alimentación o la implementación que usa cada uno para censar la carga, logrando con esto construir un equipo didáctico que permite tener implementados relés completamente diferentes pero trabajando en un mismo sistema sin que el funcionamiento de uno afecte al otro, obteniendo como resultado un equipo didáctico completamente funcional con variedad de relé que compatibilizan en un mismo panel y con una selectividad adecuada.

Para presentar el funcionamiento del relé diferencial ante los estudiantes, se le pueden realizar los ensayos de corriente de corriente de fuga y de tiempo de operación del relé. Por ejemplo, el ensayo N°3 con los terminales 1-2:

<b>Corriente regulada del relé</b>	<b>Tiempo regulado del relé</b>	<b>Corriente aplicada</b>	<b>Dato obtenido de operación del relé</b>
2 [A]	20 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	El relé opera
2 [A]	60 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	El relé opera
2 [A]	100 [ms]	2.89 [A] (2TAPS)	El relé opera
5 [A]	20 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera

5 [A]	60 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera
5 [A]	100 [ms]	5.52 [A] (4TAPS)	No opera

En este caso se ensayaría el relé en la configuración de 2[A], con 20, 60, y 100 [ms]. Con este ensayo los estudiantes estarían observando el funcionamiento de una protección la cual se utiliza para proteger equipos de fallas que son perjudiciales y lo pueden destruir.

Con estos ensayos los alumnos podrán asimilar la importancia de las protecciones en lo que es el área eléctrica , lograrán también observar como es que funciona una protección de estas características, y por sobre todo estarán viendo de primera mano una rama tan importante en el mundo de la electricidad como lo es el de las protecciones, con esto estarían “aterrizando” esta materia que muchas veces estudiamos pero no le tomamos la verdadera importancia que debiese tener, ya que es algo esencial para un electricista saber sobre funcionamiento de protecciones para poder discernir de mejor manera para cada situación.

En sí la finalidad de todo este trabajo es que los estudiantes consoliden la información vista en las aulas sobre protecciones, y que logren ver la importancia de estas y la complejidad que pueden llegar a tener siendo algo tan vital en cualquier sistema eléctrico a cualquier escala.