

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica**  
**Eléctrica y Mecatrónica**



**ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA TT, IT, TN PARA EL CENTRO DE CAPACITACION Y ENTRENAMIENTO INTEA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

**Tesis presentada por el Bachiller:**

Marrón Mendoza, Aldo Iván

**Para optar el Título Profesional de:**

Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor:

Ing. Chani Ollachica, Deidamia

Giovanna

**Arequipa –Perú**

**2021**

UCSM-ERP

## UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA

TITULACIÓN CON TESIS

### DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 20 de Julio del 2021

**Dictamen: 001330-C-EPIMMEM-2021**

Visto el borrador del expediente 001330, presentado por:

**2010190241 - MARRON MENDOZA ALDO IVAN**

Titulado:

**ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA TT, IT, TN PARA EL CENTRO DE CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO INTEA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1470 - CASTILLO CACERES CESAR PIO  
DICTAMINADOR**



**2107 - CHANI OLLACHICA DEIDAMIA GIOVANNA  
DICTAMINADOR**



### Dedicatorias

Agradezco a dios por darme la fortaleza necesaria para lograr mis objetivos, a mis padres por darme su amor y apoyo incondicional por ser ejemplo de vida y por qué nunca dejaron de creer en mí. A mi novia rosario por su comprensión y apoyo total en la búsqueda de mis metas y logros.



## Agradecimiento



Gracias a dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a la familia por su apoyo, su comprensión y su paciencia en el logro de mis objetivos, gracias a mis padres por demostrarme día a día lo mucho que me quieren y lo mejor que quieren para mí, gracias por sus constantes palabras de ánimo y de apoyo que me han ayudado en este primer logro importante para mí. Les agradezco mucho a ustedes mi hermosa familia.

## RESUMEN

En instalaciones eléctricas y en los medios operativos, la resistencia de aislamiento es la magnitud determinante en lo que se refiere a la protección de las personas, de las instalaciones y a la seguridad contra incendios.

El presente proyecto, “Estudio, diseño e implementación de un módulo didáctico de análisis de fallas en sistemas de distribución de energía eléctrica TT, IT, TN”, para la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica, ante la importancia de conocer el comportamiento de una falla eléctrica en los sistemas de distribución, este módulo didáctico permitirá analizar y demostrar las fallas en redes eléctricas secundarias TT, IT, TN.

Con la implementación del módulo se realizará la simulación de fallas eléctricas en los sistemas de distribución, demostraremos la respuesta del sistema frente a una falla lo cuál permita comprender el comportamiento de esta en los sistemas mencionados.

El módulo está equipado con un transformador de aislamiento que son especiales en la protección contra los peligros de picos eléctricos permitiendo mantener una alta disponibilidad de suministro eléctrico, un autotransformador donde el primario y el secundario comparten el mismo devanado único funcionando como un regulador de voltaje, una unidad de transformación TT, IT, TN y un sistema de cargas TT, IT, TN.

Familiarizados con los elementos que conforman este módulo didáctico se realizará el estudio, análisis y demostración de fallas eléctricas lo cuál permitirá comprobar la respuesta de los sistemas de distribución ante una falla.

Otra de las características del módulo es que nos permitirá entender la relación de esquema y ámbito para así seleccionar de forma correcta el sistema de distribución en redes secundarias.

El proyecto contribuye en el reforzamiento y en la actualización de los conocimientos recientes de tecnologías de continuo desarrollo. Permitirá conocer y demostrar sobre las fallas en sistemas de distribución de redes secundarias TT, IT, TN. Así mismo este proyecto permite ver la respuesta del sistema de protección para cada esquema de distribución de la red secundaria logrando de esta manera comprender el comportamiento de una falla eléctrica y la respuesta de los sistemas de protección que evitarán accidentes y cortes de suministro de energía en momentos indispensables.

Finalmente, se diseñaron las guías de prácticas para que los alumnos de pre-grado o interesados en seguir con la investigación, puedan llevar de manera ordenada los datos tomados en la práctica y tener los resultados esperados.

**Palabras Clave:** Fallas eléctricas, sistemas de distribución, sistemas de protección, redes secundarias.



## ABSTRACT

In electrical installations and in operating environments, insulation resistance is the determining factor with regard to the protection of people, installations and fire safety.

The present project, “study, design and implementation of a didactic module of failure analysis in TT, IT, TN electrical power distribution systems”, for the professional school of mechanical, mechanical-electrical and mechatronics engineering, given the importance of knowing the behavior of an electrical failure in distribution systems, this didactic module will allow to analyze and demonstrate the failures in secondary electrical networks TT, IT, TN.

With the implementation of the module, the simulation of electrical failures in the distribution systems will be carried out, we will demonstrate the response of the system to a failure which allows us to understand its behavior in the mentioned systems.

The module is equipped with an isolation transformer that are special in the protection against the dangers of electrical surges allowing to maintain a high availability of electrical supply, an autotransformer where the primary and the secondary share the same common single winding functioning as a voltage regulator, a TT, IT, TN transformation unit and a TT, IT, TN load system.

Familiar with the elements that make up this didactic module, the study, analysis and demonstration of electrical failures will be carried out, which will allow to check the response of the distribution systems to a failure.

Another feature of the module is that it will allow us to understand the relationship of scheme and scope in order to correctly select the distribution system in secondary networks.

The project contributes to the reinforcement and updating of recent knowledge of continuously developing technologies. It will allow to know and demonstrate about the failures in distribution systems of secondary networks TT, IT, TN. Likewise, this project allows us to see the response of the protection system for each distribution scheme of the secondary network, thus achieving an understanding of the behavior of an electrical failure and the response of the protection systems that will prevent accidents and power supply cuts in indispensable moments.

Finally, the practice guides were designed so that undergraduate students or those interested in continuing with the research, can carry out the data taken in practice in an orderly manner and have the expected results.

**Keywords:** Electrical faults, distribution systems, protection systems, secondary networks.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación denominado “Estudio, diseño e implementación de un módulo didáctico de análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN” consta: el diseño, construcción de un módulo didáctico; análisis de fallas registrados en el funcionamiento e implementación de guías prácticas de laboratorio para diferentes aplicaciones de operación del módulo (programación y configuración de controlador permanente de aislamiento) para el laboratorio de electricidad y máquinas eléctricas de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica- Eléctrica y Mecatrónica de la Universidad Católica de Santa María.

Para alcanzar este objetivo, se diseñó y se construyó un módulo de aprendizaje, desarrollándolo con los conocimientos adquiridos durante mi etapa de formación profesional y con la aplicación básica en programación y configuración del controlador permanente de aislamiento para que esta pueda ser operada. El proyecto consta de cinco capítulos, distribuidos de la siguiente manera: planteamiento metodológico, marco teórico, diseño y construcción, experiencias de funcionamiento y validación de datos y costos. El primer capítulo se describe el planteamiento del problema, donde se especifican los objetivos del proyecto, así como, la justificación, importancia y limitaciones. El segundo capítulo es el sustento teórico de los sistemas de distribución, de los sistemas de protección y de los sistemas de cargas. El tercer capítulo es referido al diseño, descripción de los elementos conformantes y ensamble de los equipos y dispositivos como módulo. El cuarto capítulo, describe el proceso experimental, se detalla los datos obtenidos en tablas y gráficos comparativos. El quinto capítulo, desarrolla los costos del módulo. Finalizando con las conclusiones y recomendaciones del proyecto culminado satisfactoriamente traducidos de los objetivos propuestos. (Mamani, 2019)

## ÍNDICE GENERAL

DICTAMEN APROBATORIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN .....	v
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCIÓN .....	ix
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO TEORICO .....	1
1. PLANTEAMIENTO TEORICO .....	2
1.1. Título de la tesis.....	2
1.2. Descripción.....	2
1.2.1. Área del conocimiento.....	2
1.2.2. Identificación del problema y alternativas de solución.....	2
1.2.3. Tipo de investigación.....	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4.1. Originalidad .....	3
1.4.2. Importancia .....	4
1.4.3. Actualidad.....	4
1.4.4. Utilidad .....	4
1.4.5. Viabilidad.....	4
1.5. LIMITACIONES .....	4
1.5.1. Limitaciones académicas.....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEORICO .....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Introducción .....	6
2.2. Dispositivos de protección eléctrica.....	9
2.2.1. El interruptor termomagnético.....	9
2.2.2. El interruptor diferencial.....	13
2.3. El sistema de puesta a tierra.....	18

2.3.1.	Diferencia entre neutro y tierra .....	18
2.3.2.	Conceptos y objetivos de un sistema de puesta a tierra .....	18
2.3.3.	Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano .....	19
2.3.4.	Normativa de los sistemas de puesta a tierra .....	20
2.3.5.	Clasificación del sistema de puesta a tierra .....	21
2.3.6.	Tipos de sistemas de puesta a tierra .....	23
2.3.7.	Metodologías de aplicación de puesta a tierra .....	24
2.3.8.	Selección e instalación del electrodo .....	32
2.3.9.	Medida de la resistencia de una puesta a tierra.....	33
2.3.10.	Métodos para reducir la resistencia de tierra .....	35
2.4.	Esquemas de conexión a tierra normalizados .....	35
2.4.1.	Esquema TT: Conductor neutro conectado a tierra .....	36
2.4.2.	Esquema TN: Partes conductoras accesibles conectadas al conductor neutro. .....	39
2.4.3.	Esquema IT: Neutro aislado o neutro impedante.....	43
2.4.4.	Criterios de elección de los esquemas TT, TN e IT.....	49
2.4.5.	Comparación de las diferentes formas de red.....	52
2.4.6.	Vigilantes de aislamiento.....	52
CAPÍTULO III.....		60
DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODULO .....		60
3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO.....	61
3.1.	COMPOSICIÓN .....	61
3.1.1.	TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO .....	61
3.1.2.	AUTOTRANSFORMADOR.....	62
3.1.3.	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO .....	63
3.1.4.	ELEMENTOS DE CONTROL .....	64
3.2.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DIDÁCTICO DE ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN TT, IT, TN .....	65
3.2.1.	DISEÑO DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO .....	65
3.2.2.	DISEÑO DE TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO 220/220V .....	71
3.2.3.	DISEÑO DE AUTOTRANSFORMADOR 220/110V.....	75
3.2.4.	DISEÑO DE MODULO DIDACTICO DE ANALISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION TT, IT, TN. ....	78
CAPÍTULO IV .....		80

EXPERIENCIAS DE FUNCIONAMIENTO Y VALIDACION DE DATOS.....	80
4. EXPERIENCIAS DE FUNCIONAMIENTO Y VALIDACIÓN DE DATOS..	81
4.1. PROCEDIMIENTO DE USO DE MODULO DIDACTICO DE ANALISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION TT, IT, TN. ....	81
4.1.1. Objetivo general.....	81
4.1.2. Objetivo especifico .....	81
4.1.3. Material y equipo .....	81
4.1.4. Energización .....	81
4.1.5. Ensayos a realizar en el módulo didáctico de análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN. ....	81
4.2. ANÁLISIS DE DATOS EN EL MODULO DIDACTICO DE ANALISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION TT, IT, TN .....	82
4.2.1. SISTEMA DE DISTRIBUCION TT .....	82
4.2.2. SISTEMA DE DISTRIBUCION IT .....	105
Fuente: propia.....	106
4.2.3. SISTEMA DE DISTRIBUCION TN-S .....	113
4.2.4. SISTEMA DE DISTRIBUCION TN-C .....	116
4.2.5. TENSION DE PASO.....	119
CAPÍTULO V.....	123
COSTOS .....	123
5. COSTOS .....	124
5.1. DEFINICIONES .....	124
5.1.1. ELEMENTOS DE UN PRODUCTO.....	124
5.2. Materiales:.....	125
5.3. Mano de obra: .....	125
5.3.1. Costos indirectos de fabricación (CIF):.....	126
5.4. COSTOS UNITARIOS.....	126
CONCLUSIONES .....	129
RECOMENDACIONES.....	130
REFERENCIA.....	131
ANEXOS .....	135
ANEXO A: CURVA DE DISPARO B, C, D CALIBRE HASTA 4A INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO SCHNEIDER ELECTRIC.....	136

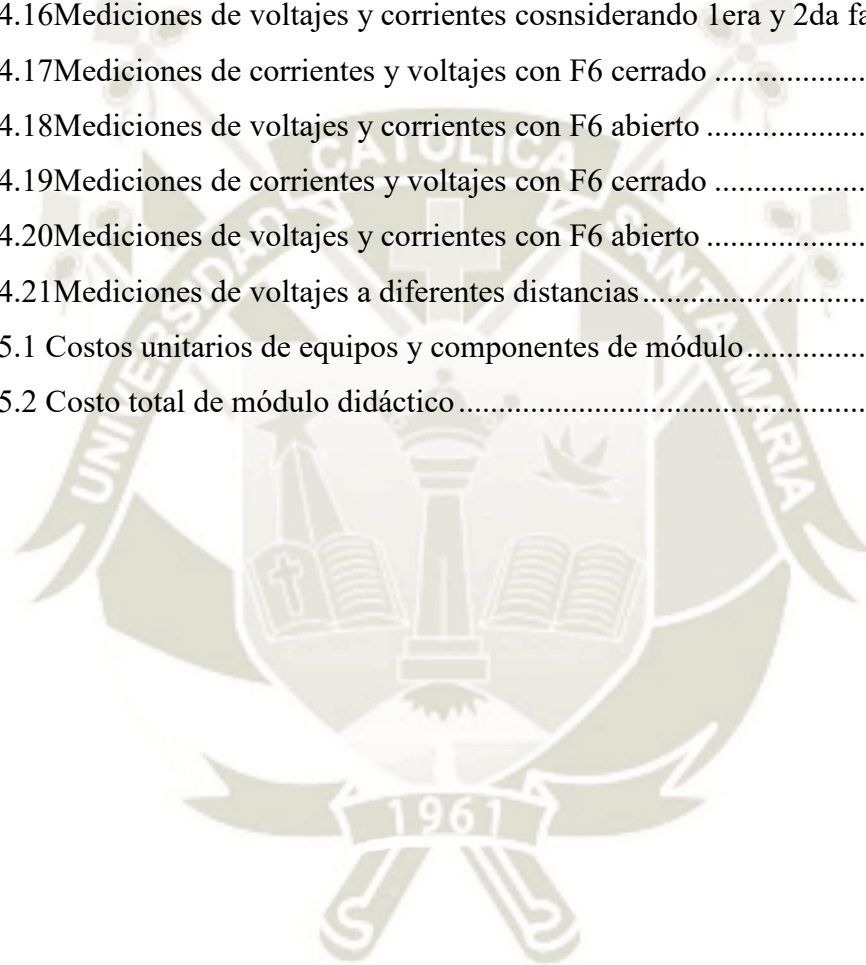
ANEX0 B: CURVA DE DISPARO B, C, D CALIBRES DE 6 A 63A INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO SCHNEIDER ELECTRIC .....	137
ANEX0 C: CURVA DE DISPARO ( $I_{\Delta n}/t$ ) DE INTERRUPTOR DIFERENCIAL ...	138
ANEX0 D: CURVAS DE DISPARO DIFERENCIAL .....	139
PLANOS .....	140



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica .....	20
Tabla 2.2 Resistividad según la naturaleza del terreno .....	25
Tabla 2.3 Efecto de la humedad en la resistividad del terreno .....	26
Tabla 2.4 Efecto de la temperatura en la resistividad del terreno.....	27
Tabla 2.5 Efecto de la sal en la resistividad del terreno .....	28
Tabla 2.6 Límite superior de la resistencia de la toma de tierra de las masas que no hay que sobrepasar, en función de la sensibilidad de los DDR y de la tensión límite UL, $I\Delta n = fRa$ .....	38
Tabla 2.7 Tiempos de corte en el ECT TN.....	41
Tabla 2.8 Relación entre el esquema y el ámbito.....	49
Tabla 2.9 Elementos que influyen en la elección de un régimen de neutro .....	50
Tabla 2.10 En función de las características de la red de alimentación .....	50
Tabla 2.11 En función de las características de los receptores.....	51
Tabla 2.12 En función de características diversas.....	51
Tabla 2.13 Comparación de las diferentes formas de red.....	52
Tabla 2.14 Elección del procedimiento de medida y de los componentes de la red .....	59
Tabla 4.1 Mediciones de corriente de falla (IF) y tensión de contacto (VB) para el peor de los casos .....	84
Tabla 4.2 Mediciones de corriente de falla (IF) y tensión de contacto (VB) para el mejor de los casos.....	85
Tabla 4.3 Medición de corriente de falla IF1 .....	88
Tabla 4.4 Mediciones de IF1, IF2 y VB para el peor de los casos.....	89
Tabla 4.5 Mediciones de IF1, IF2 y VB para el mejor de los casos.....	90
Tabla 4.6 mediciones de voltajes y corrientes para el caso de mayor riesgo eléctrico .....	93
Tabla 4.7 Mediciones de voltajes y corrientes cuando la falla se produce en el lado A del secundario del autotransformador.....	96
Tabla 4.8 Mediciones de voltajes y corrientes cuando la falla se produce en el lado B del secundario del autotransformador .....	98
Tabla 4.9 Mediciones de corrientes y voltajes para cargas desenergizadas y aisladas .....	99
Tabla 4.10 Mediciones de corrientes y voltajes para cargas desenergizadas y no aisladas caso a .....	102

Tabla 4.11 Mediciones de corrientes y voltajes para cargas desenergizadas y no aisladas caso b .....	104
Tabla 4.12 Mediciones de corrientes y voltajes para cargas desenergizadas y no aisladas caso b1 .....	104
Tabla 4.13 Mediciones de voltajes considerando carga 1 sin falla .....	107
Tabla 4.14 Mediciones de voltajes considerando falla en la carga 1 .....	107
Tabla 4.15 Mediciones de voltajes y corrientes considerando 1era falla .....	110
Tabla 4.16 Mediciones de voltajes y corrientes cosnsiderando 1era y 2da falla.....	112
Tabla 4.17 Mediciones de corrientes y voltajes con F6 cerrado .....	115
Tabla 4.18 Mediciones de voltajes y corrientes con F6 abierto .....	115
Tabla 4.19 Mediciones de corrientes y voltajes con F6 cerrado .....	118
Tabla 4.20 Mediciones de voltajes y corrientes con F6 abierto .....	118
Tabla 4.21 Mediciones de voltajes a diferentes distancias.....	120
Tabla 5.1 Costos unitarios de equipos y componentes de módulo.....	127
Tabla 5.2 Costo total de módulo didáctico .....	128



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Vista interna del interruptor termomagnético .....	9
Figura 2.2 Protección térmica del termomagnético .....	10
Figura 2.3 Protección magnética del termomagnético.....	11
Figura 2.4 Curvas de funcionamiento.....	12
Figura 2.5 Esquema de funcionamiento del interruptor diferencial .....	14
Figura 2.6 Simbología de clases de dispositivos diferenciales.....	17
Figura 2.7 corriente de falla que se distribuye por el cuerpo de la persona y por la resistencia de puesta a tierra .....	19
Figura 2.8 Estratigrafía del terreno .....	27
Figura 2.9 Método de Wenner .....	30
Figura 2.10 Representación esquemática de un circuito de puesta a tierra .....	31
Figura 2.11 Electrodo vertical .....	33
Figura 2.12 Electrodo horizontal .....	33
Figura 2.13 Medida de la resistencia de la puesta a tierra .....	34
Figura 2.14 Esquema TT .....	37
Figura 2.15 Corriente y tensión de defecto en el esquema TT .....	39
Figura 2.16 Esquema TN-C.....	40
Figura 2.17 Corriente y tensión de defecto en el esquema TN.....	41
Figura 2.18 Esquema TN-S: El conductor neutro (N) y el de protección CP (tierra) separados.....	42
Figura 2.19 Esquema TN-C-S .....	43
Figura 2.20 Esquema IT (neutro aislado). .....	43
Figura 2.21 Esquema IT.....	44
Figura 2.22 Impedancia equivalente a las impedancias de fuga en un esquema IT. ....	44
Figura 2.23 Esquema IT (neutro impedante: conectado a tierra a través de una impedancia elevada).....	45
Figura 2.24 Capacidades en un sistema IT .....	46
Figura 2.25 Adición de las capacidades de derivación de la red en referencia al aparato de vigilancia de aislamiento.....	47
Figura 2.26 Todos los cuerpos unidos a un conductor de protección común puesto a tierra .....	48
Figura 2.27 Cuerpos puestos a tierra individualmente o por grupos .....	48

Figura 2.28 Criterios de elección de los esquemas TT, TN e IT .....	49
Figura 2.29 Avance de información mediante la vigilancia del aislamiento en sistemas IT .....	53
Figura 2.30 Principio de funcionamiento de un aparato de vigilancia del aislamiento ..	55
Figura 2.31 Fallo de aislamiento simétrico.....	56
Figura 2.32 Fallo de aislamiento asimétrico .....	56
Figura 3.1 transformador de aislamiento .....	62
Figura 3.2 autotransformador .....	63
Figura 3.3 transformador trifásico .....	64
Figura 3.4 Interruptor termomagnético tripolar y bipolar.....	64
Figura 3.5 Interruptor diferencial tetrapolar y bipolar .....	64
Figura 3.6 Módulo de análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN.....	79
Figura 4.1 Sistema TT sin cable de protección.....	83
Figura 4.2 Circuito de falla .....	84
Figura 4.3 Sistema TT con cable de protección.....	87
Figura 4.4 Circuito de falla .....	88
Figura 4.5 Sistema TT con transformador de aislamiento.....	91
Figura 4.6 Circuito de falla .....	93
Figura 4.7 Sistema TT con autotransformador .....	95
Figura 4.8 Circuito de falla 1 .....	96
Figura 4.9 Circuito de falla 2 .....	97
Figura 4.10 Sistema TT con carga desenergizada y aislada .....	99
Figura 4.11 Sistema TT con carga desenergizada pero no aislada caso a .....	101
Figura 4.12 Sistema TT con carga desenergizada pero no aislada caso b .....	103
Figura 4.13 Efecto capacitivo .....	106
Figura 4.14 Triángulo de voltajes sin falla en carga 1 .....	107
Figura 4.15 Triángulo de voltajes con falla en carga 1 .....	108
Figura 4.16 1era y 2da falla en sistemas IT .....	109
Figura 4.17 Circuito de falla considerando RF1 .....	110
Figura 4.18 Método de los tres voltímetros .....	111
Figura 4.19 Circuito de falla considerando RF1 y RF2.....	112
Figura 4.20 Sistema TN-S con protección monopolar .....	114
Figura 4.21 Sistema TN-C con protección monopolar .....	117

Figura 4.22 Circuito con  $R_S=14\Omega$  y  $R_T=40\Omega$ ..... 120

Figura 4.23 Cono de tensión ..... 122





# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO TEORICO**

## 1. PLANTEAMIENTO TEORICO

### 1.1. Título de la tesis.

“ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA TT, IT, TN”

### 1.2. Descripción.

#### 1.2.1. Área del conocimiento.

El proyecto de tesis se orienta principalmente en el área general de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica específicamente en el laboratorio de máquinas eléctricas para la realización de trabajos experimentales.

#### 1.2.2. Identificación del problema y alternativas de solución.

Con el fin que la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica este a la vanguardia del avance tecnológico y vigilante a los sistemas de protección en redes secundarias y en vista que no cuenta con el equipamiento para realizar prácticas concernientes al análisis de fallas en sistemas de distribución de energía eléctrica TT, IT, TN. Se tiene la necesidad de implementar un módulo didáctico con equipamiento adecuado para efectuar estos ensayos.

En conocimiento de estas limitaciones se propone plantear como proyecto de tema de tesis un módulo didáctico de análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN.

#### 1.2.3. Tipo de investigación.

El desarrollo del tipo de investigación es experimental, porque se desarrollará pruebas reales de funcionamiento del módulo de análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN, permitiendo comprobar y reforzar los conocimientos adquiridos en los cursos teóricos en el área de las Máquinas Eléctricas, familiarizando al alumno en la comprensión y definición de los conceptos básicos referente a los sistemas de protección en redes secundarias.

### 1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio, diseño e implementación y posterior análisis de un módulo didáctico de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

1. Estudiar, diseñar e implementar el módulo didáctico desarrollando un conjunto de guías de prácticas para su utilización.
2. Contribuir en la implementación de los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica.

### 1.4. JUSTIFICACIÓN.

Elegir el esquema de suministro de corriente correcto es fundamental para la fiabilidad y disponibilidad de una instalación. La seguridad frente a fallos es, junto con la protección de las personas y la protección contra incendios, el factor más importante a la hora de elegir el suministro de energía adecuado. (Company bender)  
Ante este precedente surge la necesidad de implementar un módulo didáctico de análisis de fallas en sistemas de distribución de energía eléctrica TT, IT, TN.

Contribuir en la actualización de los conocimientos recientes de tecnologías de continuo desarrollo y en beneficio del medio ambiente mediante la eficiencia energética que estos equipos presentan. (Company bender, s.f.)

El módulo didáctico permitirá analizar las fallas y tipos de fallas que se pueden presentar en los sistemas de distribución secundarios y a la vez demostrar sobre el comportamiento de los sistemas de distribución TT, IT, TN frente a una falla eléctrica con lo cual nos permitirá hacer una evaluación exhaustiva para la selección de un sistema de distribución adecuado para una instalación técnica.

#### 1.4.1. Originalidad

El módulo didáctico cuenta con dos sub módulos fundamentales principalmente para las diferentes etapas: etapa de estudio, etapa de medición y etapa de análisis de resultados.

#### **1.4.2. Importancia**

El módulo didáctico de análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN permite conocer el entorno de seguridad eléctrica, así como la configuración de los equipos controladores permanentes de aislamiento usados en los sistemas IT.

#### **1.4.3. Actualidad**

El laboratorio de electricidad y maquinas eléctricas no cuenta con el módulo didáctico de análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN.

#### **1.4.4. Utilidad**

Integración de un módulo de análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN permitiendo afianzar los conocimientos adquiridos en seguridad eléctrica en el área de electricidad.

#### **1.4.5. Viabilidad**

El proyecto reúne características académicas, condiciones técnicas y operativas que aseguran el cumplimiento de los objetivos planteados, además contamos con los recursos tecnológicos para la fabricación de este módulo, financiamiento, tiempo para el desarrollo de la investigación y conocimientos metodológicos para orientar con propiedad el proyecto.

### **1.5. LIMITACIONES**

#### **1.5.1. Limitaciones académicas.**

En el presente trabajo de investigación el análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN está diseñado sólo para redes secundarias.

Previos conocimientos para la programación, configuración y medición de los equipos controladores permanentes de aislamiento en sistemas IT.



## **CAPÍTULO II**

# **MARCO TEORICO**

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Introducción

Las descargas eléctricas es un fenómeno causado por la diferencia de potencial entre dos puntos, si dicha descarga se produce por el cuerpo de un ser vivo se lo denomina choque eléctrico, este choque genera desde sensación de hormigueo leve, tetanización muscular, paro respiratorio, asfixia, fibrilación ventricular y quemaduras; también puede ocasionar consecuencias físicas secundarias como caídas, golpes, entre otros.

- **Umbral de percepción:** Es el valor mínimo de corriente que causa contracción muscular involuntaria. Los umbrales de percepción dependen de varios parámetros, tales como la superficie del cuerpo en contacto con un electrodo (superficie de contacto), las condiciones de contacto (secas, húmedas, presión, temperatura), así como las características fisiológicas de la persona. Para este umbral, se considera un valor general de 0.5mA, cualquiera sea el tiempo.
- **Umbral de soltar:** Valor máximo de corriente al cual una persona que sostiene los electrodos puede soltarlos. El umbral de soltar, depende de varios parámetros tales como la superficie de contacto, la forma y las dimensiones de los electrodos, así como las características fisiológicas de la persona. Para este umbral de reacción, se considera 10mA.
- **Umbral de fibrilación ventricular:** Valor mínimo de corriente a través de una persona, que causa fibrilación ventricular. El umbral de fibrilación ventricular depende tanto de los parámetros fisiológicos, como de parámetros eléctricos.

En corriente alterna a frecuencia nominal, el umbral de fibrilación decrece considerablemente si la duración del paso de la corriente se prolonga más allá de un ciclo cardiaco.

Para duraciones de choque eléctrico inferiores a 0.1s, se puede producir la fibrilación con intensidades de corriente superiores a 500mA si el choque se produce durante el periodo vulnerable. Para choques de la misma intensidad

y duración superior a un ciclo cardiaco, se puede producir un paro cardiaco reversible.

La fibrilación ventricular está considerada como la causa principal de muerte por choque eléctrico. También se tiene evidencia de casos por asfixia o paro cardiaco. (Rojas Ordoñez, 2009)

Las fallas eléctricas presentan un riesgo para el usuario y también para la instalación, por tanto, éstas deben ser desenergizadas en el menor tiempo posible, para evitar lesiones a las personas o daños a la instalación.

Las fallas tienen un sin número de causas como son:

1. Sobrecarga: Se produce cuando el consumo de energía de la instalación supera la capacidad de los conductores usados.
2. Cortocircuito: Se produce entre dos fases, dos fases y tierra o fase-tierra; Estas fallas generan altas corrientes y pueden causar que los conductores se fundan, forman también chispas lo que puede causar incendios.
3. Fallas de aislamiento: Estas fallas suelen suscitarse en equipos eléctricos y electrónicos, y se producen cuando el aislamiento se pierde por deterioro normal, corte del conductor, uniones mal aisladas entre otros. Poniéndose en contacto con la carcasa del equipo por lo que ésta queda energizada ocasionando descargas al contacto de las personas.

Toda instalación debe contar con protecciones eléctricas para reducir al máximo los riesgos de los accidentes. (Villarruel & Guevara, 2014)

Para adoptar las medidas de seguridad a las personas frente a fallas, contactos eléctricos y sobreintensidades, es importante conocer el sistema de conexión a tierra tanto del sistema de distribución, así como de las instalaciones de los usuarios particulares.

Las normas IEC 60364-4-41 “Electrical installations of buildings-part 4-41: protection for safety-protection against electric shock” y UNE 20460/4-41: “instalaciones eléctricas en edificios. Parte 4: protección para garantizar la seguridad, parte 41: protección contra los choques eléctricos”, señalan los sistemas de distribución posibles de conexión entre el punto neutro del transformador y tierra, y

entre las masas metálicas de las cargas y tierra llegándose a establecer las siguientes codificaciones: TT, IT, TN.

Los sistemas de conexión a tierra dependen de cómo son las conexiones a tierra de la red de distribución que podrían ser los sistemas TT, IT, TN y de las masas o partes metálicas de las cargas. La protección debe adaptarse a los diferentes sistemas de conexión a tierra que podría existir en una instalación eléctrica.

La utilización de cualquiera de estos sistemas, está definido por varios aspectos como pueden ser: las normas de cada país, la continuidad de servicio, flexibilidad para la ampliación de las instalaciones, mantenimiento, entre otros. (Gómez Alva, 2003)

Elegir el esquema de suministro de corriente correcto es fundamental para la fiabilidad y disponibilidad de una instalación. La seguridad frente a fallos es, junto con la protección de las personas y la protección contra incendios, el factor más importante a la hora de elegir el suministro de energía adecuado. Existen tres esquemas de conexión distintos para diseñar una instalación: el sistema TN, el sistema TT y el sistema IT. Sólo en el sistema IT un primer fallo de aislamiento no causa una desconexión del sistema.

En la actualidad las instalaciones técnicas de todos los sectores se caracterizan por su elevada complejidad y automatización. Desde las sofisticadas cadenas de producción continua hasta los sistemas robotizados, cada vez hay más consumidores cuyo correcto funcionamiento depende de un suministro de corriente fiable. Estos se benefician de las ventajas que ofrece el sistema IT, cuyo uso prescriben las normativas en ámbitos delicados como las unidades de cuidados intensivos en centros sanitarios. (Bender, s.f.)

Hoy en día se dispone de los dispositivos de vigilancia de aislamiento que monitorizan de forma continua la resistencia de aislamiento en los sistemas IT (sistemas sin conexión a tierra), emitiendo una alarma en caso de una caída del valor por debajo de un determinado valor de respuesta. (Bender, s.f.)

No hay esquemas de conexión a tierra mejores o peores; todos consiguen la seguridad de las personas, pero cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes y es la necesidad la que debe de guiar la elección, aparte de lo que manden o prohíban las normas o leyes.

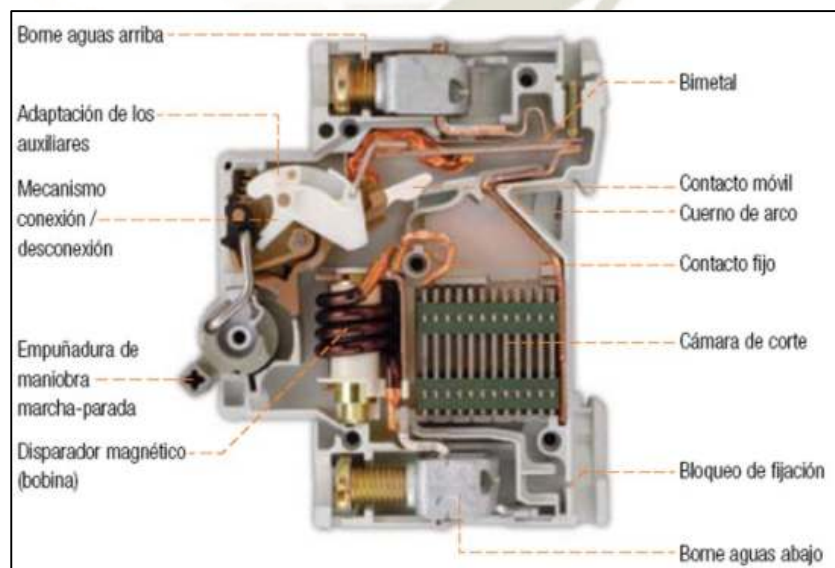
## 2.2. Dispositivos de protección eléctrica.

Son aparatos que resultan muy útiles para proteger las instalaciones eléctricas cuando el funcionamiento habitual ha sido alterado o presenta fallas en la conexión, Estos dispositivos eléctricos se encargan de discontinuar la energía en circunstancias anormales de funcionamiento de las instalaciones, se trata de productos de uso obligatorio porque, algunos, son capaces de detectar fallas e impedir daños que puedan afectar a las personas en el área circundante. (Fierros, 2016)

### 2.2.1. El interruptor termomagnético.

Es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de la corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto joule). Los interruptores termomagnéticos (breakers) combinan varios de los sistemas de protección, en un solo aparato. Poseen tres sistemas de desconexión: manual, térmico y magnético. Cada uno puede actuar independientemente de los otros, estando formada su curva de disparo por la superposición de ambas características, magnética y térmica. (López & Viteri, 2010)

*Figura 2.1 Vista interna del interruptor termomagnético*



Fuente: M.A.R.F (2011)

### 2.2.1.1. Protección térmica

La protección termomagnética, puede tener un relé térmico que funciona a base del calentamiento de un bimetetal, se produce según el mismo principio que el de los conductores, es decir, la temperatura de calentamiento es proporcional al aporte de energía proporcionada por el paso de la corriente ( $I$ ) durante un tiempo dado ( $t$ ). por tanto, el disparo lo provoca una energía que sigue la función  $t=f(I)$ . que está definida en la norma (IEC 60947-2) por un punto concreto ( $I,t$ ) que corresponde a una sobrecarga del 30% durante dos horas. Este parámetro determina el bimetetal que corresponde al calibre del relé térmico, un bimetetal es de calentamiento directo e indirecto. (Gonzalez Jiménez, 2011)

*Figura 2.2 Protección térmica del termomagnético*



Fuente: Areatecnologia.com (s.f.)

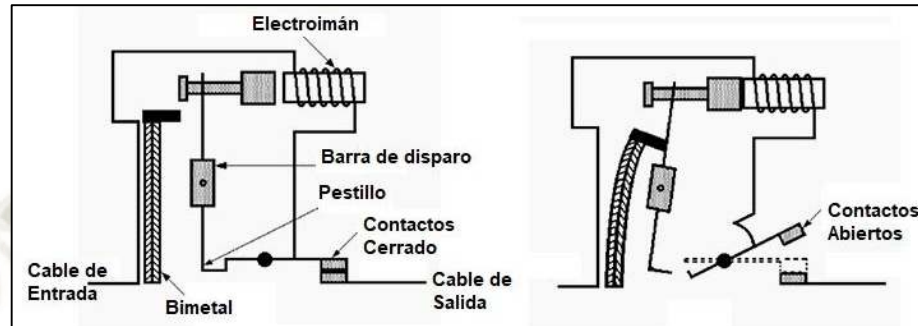
### 2.2.1.2. Protección magnética

El relé magnético de una protección termomagnética funciona en caso de cortocircuito. La corriente de defecto que atraviesa la bobina crea un campo magnético suficiente para provocar el desplazamiento de una lámina móvil, esta libera el mecanismo de retención de los resortes y abre los contactos con una acción brusca.

Este relé instantáneo se constituye generalmente de una U de material magnético que constituye el núcleo y de una armadura, generalmente móvil, que asegura la protección contra cortocircuitos. Su tiempo de intervención es inferior a 50ms en su umbral de funcionamiento (situado entre 5 y 10 veces la corriente nominal) y decrece

rápidamente por debajo de 10ms cuando la corriente aumenta.  
(Gonzalez Jiménez, 2011)

**Figura 2.3 Protección magnética del termomagnético**



Fuente: Areatecnologia.com (s.f.)

### 2.2.1.3. Corriente nominal ( $I_n$ )

La norma IEC 60898 define la corriente nominal como la corriente que el interruptor puede soportar en régimen ininterrumpido (es decir, sin dispararse) a una temperatura de referencia especificada de 30°C. Asimismo, indica los valores preferenciales de  $I_n$  (6, 10, 15, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, etc.). (Alvarado, 2011)

### 2.2.1.4. Disparo térmico

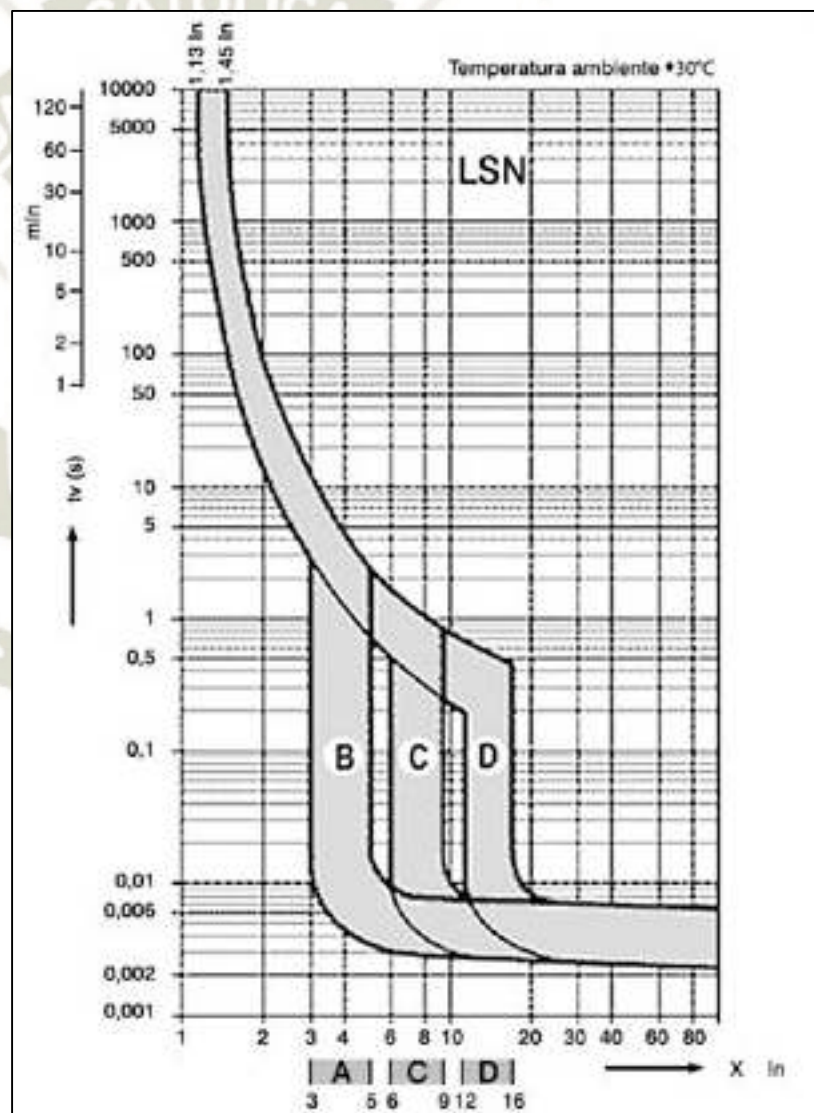
La misma norma establece el comportamiento de los disparadores de sobrecorriente bajo (disparador térmico) de los interruptores, su curva y su tiempo de accionamiento ante ciertos valores de corriente.

Para este fin, la norma define lo que se conoce por “corriente convencional de no disparo” y “corriente convencional de disparo”. El primer vale  $1.13 \times I_n$  (13% más que la corriente nominal), mientras que la corriente convencional de disparo vale  $1.45 \times I_n$  (45% más que la corriente nominal). Por ejemplo, si se instala un interruptor termomagnético de corriente nominal de 10A, su dispositivo térmico actuará entre 11.3A y 14.5A de consumo de corriente. La IEC 60898 también establece el tiempo máximo que debe demorar en dispararse (2 horas como máximo). (Alvarado, 2011)

### 2.2.1.5. Disparo magnético

Así como encontramos exigencias en el comportamiento de la curva en su dispositivo térmico, también los hay para los valores de corriente magnética. Por esto, la IEC 60898 define las tres curvas de funcionamiento conocidas (curva B, curva C y curva D graficadas en la figura) y establece los valores máximos y mínimos de la corriente magnética para cada una de ellas: de  $3xI_n$  a  $5xI_n$  (curva B), de  $5xI_n$  a  $10xI_n$  (curva C), de  $10xI_n$  a  $14xI_n$  (curva D). (Alvarado, 2011)

*Figura 2.4 Curvas de funcionamiento*



Fuente: Alvarado (2011)

#### 2.2.1.6. Poder de corte

La aparición de un cortocircuito tiene como consecuencia la elevación de temperaturas y esfuerzos electrodinámicos dentro del interruptor. A pesar de esto, muchas veces se necesita restablecer el servicio. Inmediatamente después a la apertura del interruptor y que el mismo esté en condiciones de prestar un servicio al 100% de sus características. Por este motivo, los interruptores automáticos tienen poder de corte o capacidad de ruptura, que es el máximo valor de corriente que el interruptor es capaz de interrumpir (por ejemplo, 6000A o sea 6KA).

En el caso de los interruptores para riel DIN, la norma IEC 60898 establece ciertos valores nominales de poder de corte: 1.5, 3, 4.5, 6 y 10KA. (Alvarado, 2011)

#### 2.2.2. El interruptor diferencial

Hoy en día, los dispositivos de protección diferencial están reconocidos en el mundo entero como un medio eficaz para la protección contra personas contra los riesgos de la corriente eléctrica en baja tensión, como consecuencia de un contacto directo o indirecto. Evitar los incendios de origen eléctrico producidos por las fugas de corriente.

Los dispositivos de protección contra corrientes de defecto o de falla a tierra alcanzaron una gran importancia entre las medidas de protección debido a la gran efectividad y amplio margen que esta protección ofrece.

Está considerado por los especialistas como el más seguro. Es un aparato electromagnético en donde la energía de disparo la suministra la propia corriente de defecto y se instalan en los tableros de distribución de los usuarios particulares. (Gómez Alva, 2003)

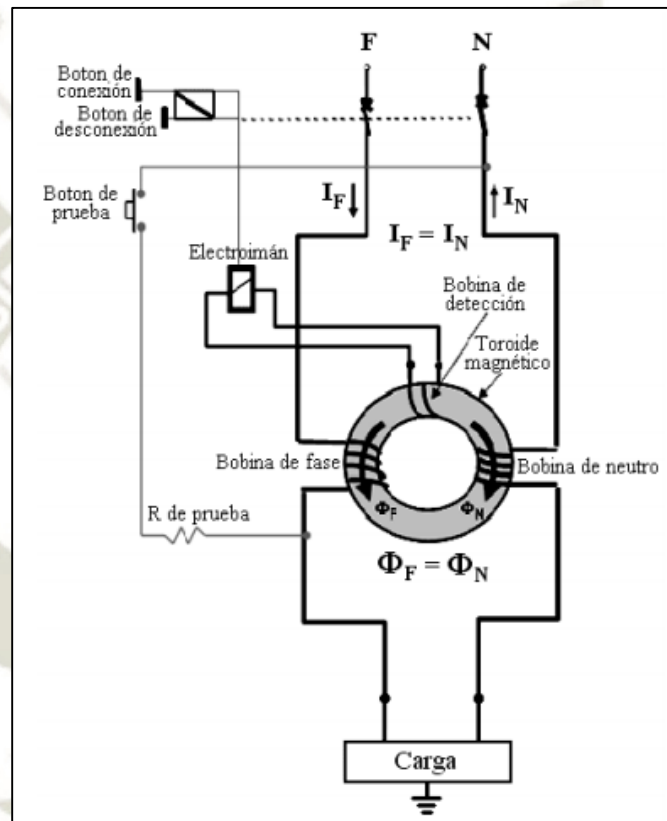
##### 2.2.2.1. Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de los interruptores diferenciales se basa en que la suma fasorial de las intensidades de línea de un circuito eléctrico es igual a cero, y están compuestos esencialmente por un

transformador de intensidad diferencial, un dispositivo disparador y el interruptor propiamente dicho.

Todos los conductores necesarios para el paso de la corriente hacia la carga, incluyendo eventualmente el neutro, se conducen a través del núcleo del transformador de intensidad, que generalmente es toroidal.

**Figura 2.5 Esquema de funcionamiento del interruptor diferencial**



Fuente: Rojas Ordoñez (2009)

Si la parte de la instalación protegida (carga) por el interruptor diferencial está exenta de defectos a tierra, según la primera ley de Kirchoff, se compensan los efectos magnéticos ejercidos por las corrientes que fluyen a través del núcleo del transformador diferencial, y por lo tanto no se induce ninguna tensión en la bobina de detección.

Al producirse una falla a tierra aguas abajo del interruptor diferencial se altera el equilibrio en su transformador diferencial, por efecto de la circulación de la corriente de defecto que se cierra por tierra. En el

núcleo del transformador se establece un flujo magnético resultante, que induce una tensión en la bobina de detección. (Rojas Ordoñez, 2009)

Como se ve este protector actúa por corriente de fuga (falla derivada a tierra), con valores de corriente de desbalance de 30mA y con un tiempo de actuación para el corte de 30ms. Parámetros comprendidos en la zona segura para las personas.

En base a lo definido en el principio de funcionamiento podemos concluir que el protector diferencial va a responder en condiciones tanto de puesta a tierra como de la ausencia de puesta a tierra del dispositivo protegido. Recordemos que lo que provoca el disparo del diferencial es la diferencia de corrientes a partir del valor de la corriente diferencial y esto puede producirse con o sin puesta a tierra.

Lo más importante del interruptor diferencial es que es el único medio de protección posible para el caso de contactos directos en las personas, cuando un niño introduce sus dedos o algún objeto metálico al tomacorriente o al tomar cualquier persona un cable energizado. La puesta a tierra no ayuda en estos casos. Solo el protector diferencial es capaz de interrumpir este tipo de fugas de corriente.

Es importante señalar también que el interruptor diferencial puro solo dispara ante una diferencia de corrientes entrantes y salientes de la carga a proteger; sin embargo, si se sobrepasa su carga máxima nominal el diferencial no se dispara y puede quemarse. (Gómez Alva, 2003)

La corriente nominal de un interruptor diferencial es aquella que puede conducir durante el servicio continuo a la temperatura de referencia. Su valor está especificado por el fabricante, y una serie de valores preferenciales puede ser 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 63, 80, 100 y 125A.

La capacidad de cortocircuito nominal de un interruptor diferencial es la capacidad de ruptura límite de cortocircuito asignada por el

fabricante del mismo, y sus valores normales son 3, 4.5, 6, 10 y 20KA. Cabe aclarar que este valor está relacionado con la capacidad del interruptor termomagnético asociado, a los efectos de la coordinación entre ambos.

Actualmente, los interruptores diferenciales generalmente se fabrican con una intensidad residual de operación nominal de 300mA o 30mA. La protección de la vida humana se consigue con la utilización de interruptores diferenciales con una sensibilidad igual o menor a 30mA. Los interruptores de 300mA sólo se emplean para la protección contra incendios y en industrias. (Rojas Ordoñez, 2009)

#### **2.2.2.2. Tipos de protectores diferenciales**

En el mercado eléctrico existen diferentes tipos de protectores diferenciales, cada uno de ellos, adecuado para una aplicación en particular.

Dentro de los tipos de diferenciales, podemos nombrar los siguientes:

- Interruptores diferenciales tradicionales.
- Interruptores diferenciales con alto poder de inmunización.
- Blocks diferenciales.
- Disyuntores diferenciales.
- Relés diferenciales. (Gómez Alva, 2003)

#### **2.2.2.3. Principales características**

##### **2.2.2.3.1. Clases**

La norma IEC60755 (requerimientos generales para dispositivos de protección operados por corriente residual) define tres clases de dispositivos diferenciales residuales (DDR) o interruptores diferenciales en función a las características de la corriente de defecto de fuga a tierra.

### Clase AC

Detecta solo corrientes residuales alternas sinusoidales.

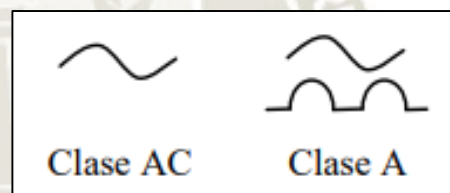
### Clase A

Detecta corrientes residuales alternas sinusoidales, continuas pulsantes y continuas pulsantes sobrepuestas a una corriente lisa de hasta 6mA.

### Clase B

Detecta las mismas corrientes residuales que el tipo A y además sinusoidales hasta 1000Hz, sinusoidales sobrepuestas a continua pura y continuas pulsantes sobrepuestas a continua pura. (Rojas Ordoñez, 2009)

**Figura 2.6 Simbología de clases de dispositivos diferenciales**



Fuente: Rojas Ordoñez (2009)

#### 2.2.2.3.2. Sensibilidad

Es la corriente residual nominal de operación del DDR, se simboliza por  $I_{\Delta n}$ . Las normas para DDR (Código nacional de electricidad-utilización 2006, sección 080-000, protección y control) definen valores preferenciales de  $I_{\Delta n}$  que nos permiten clasificarlos en tres grupos:

Sensibilidad alta: 6, 10 y 30mA.

Sensibilidad media: 0.1, 0.3, 0.5 y 1A.

Sensibilidad baja: 3, 10 y 30A.

Los DDR de sensibilidad alta son para protección contra contacto directo e indirecto, mientras que los de sensibilidad media, 300 y 500mA son indispensables para protección contra riesgos de incendios. Las sensibilidades medias y bajas son para protección contra contactos indirectos, protección de máquinas y para señalización de reducción en los niveles de aislamiento. (Rojas Ordoñez, 2009)

### **2.3. El sistema de puesta a tierra**

#### **2.3.1. Diferencia entre neutro y tierra**

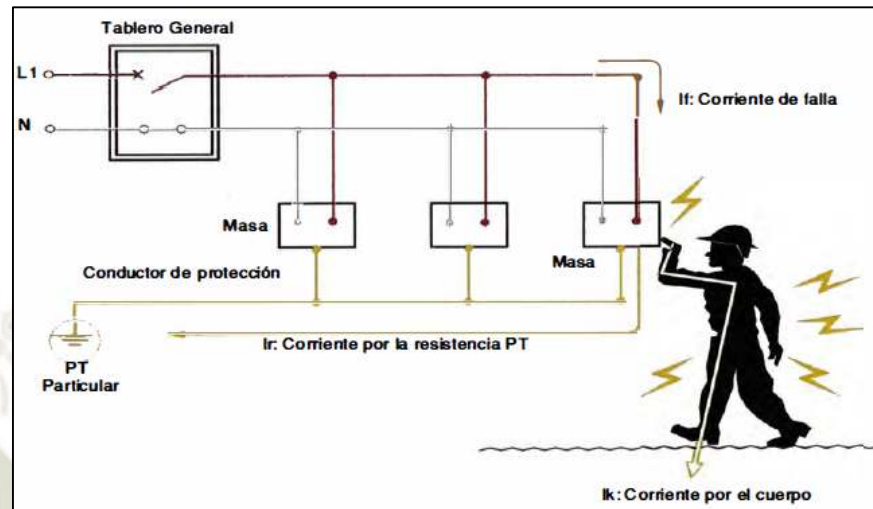
La diferencia de estos dos elementos es que el neutro lo usamos como regreso de nuestra línea de alimentación o en otras palabras es por donde pasa la corriente de regreso a los postes de suministro eléctrico.

Por otro lado, la conexión a tierra es la conexión que usamos para que circule la corriente no deseada o descargas eléctricas hacia a tierra para evitar que ocurran daños a las personas e incluso se deterioren los equipos eléctricos y electrónicos. (Villa Garcia, 2010)

#### **2.3.2. Conceptos y objetivos de un sistema de puesta a tierra**

La definición de la IEEE de puesta a tierra es: “tierra (sistema de tierra). una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de la tierra” las razones que más frecuentemente se citan para tener un sistema aterrizado, son:

*Figura 2.7 corriente de falla que se distribuye por el cuerpo de la persona y por la resistencia de puesta a tierra*



Fuente: Gómez Alva (2003)

- Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de fallas.
- Asegurar que seres vivos presentes en la vecindad de las subestaciones eléctricas de un edificio no queden expuestos a potenciales inseguros, en régimen permanente o en condiciones de falla.
- Mantener los voltajes del sistema dentro de límites razonables bajo condiciones de falla (tales como descarga atmosférica, ondas de maniobra, o contacto inadvertido con sistemas de voltaje mayor), y asegurar que no se excedan los voltajes de ruptura dieléctrica de las instalaciones.
- Limitar el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan ya sea conductores y/o equipos eléctricos. (Villa Garcia, 2010)

### 2.3.3. Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano

Los fenómenos fisiológicos que produce la corriente eléctrica en el organismo humano dependen del valor de la intensidad de la corriente, tiempo de duración de contacto, callosidad, sexo, estado de epidermis, peso, altura, estado de ánimo, estado del punto de contacto a tierra. Estos efectos

fisiológicos sobre el cuerpo humano varían en función del valor de la intensidad, de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 2.1 Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica**

INTENSIDAD	EFECTOS FISIOLÓGICOS
1 a 3 mA	Prácticamente imperceptibles.No hay riesgo
De 5 a 10 mA	Contracciones involuntarias de músculos y pequeñas alteraciones del sistema nervioso
De 10 a 15 mA	Principio de tetanización muscular, contracciones violentas e incluso permanentes de las extremidades
De 15 a 30 mA	Contracciones violentas e incluso permanentes de la caja torácica. Alteración del ritmo cardíaco
Mayor de 30 mA	Fibrilación ventricular cardiaca

Fuente: Villa García (2010)

Estos valores y efectos pueden variar según el tiempo que dure el paso de la corriente eléctrica:

Los valores máximos de intensidad y corriente son:

- Para tiempos inferiores a 150 milisegundos no hay riesgo, siempre que la intensidad no supere los 300mA.
- Para tiempos superiores a 150 milisegundos no hay riesgo, siempre que la intensidad no supere los 30mA. (Villa Garcia, 2010)

#### 2.3.4. Normativa de los sistemas de puesta a tierra

Las normas proporcionan orientación e información pertinente a las prácticas de diseño seguro de puesta a tierra y establecen los límites de diseño que deben satisfacerse para seguridad de las personas y las instalaciones.

Dentro del análisis de los sistemas de puesta a tierra existen diferentes normas a nivel mundial. Una de las normas más utilizadas en el diseño es la norma IEEE Std. 80-2000 “Guide for safety in AC substation grounding” y en el Perú tenemos el código nacional de electricidad (suministro 2011) sección 3:

métodos de puesta a tierra para instalaciones de suministro eléctrico y comunicaciones. Que nos da los lineamientos para el diseño de las puestas a tierra. (Flores Figueroa, 2017)

#### **2.3.4.1. Norma IEEE Std. 80-2000, Guide for Safety in AC Substation Grounding**

La norma IEEE generalmente es una guía detallada sobre aspectos técnicos más importantes para el aterrizaje en subestaciones y sistemas eléctricos, e incluyen formulaciones necesarias para realizar los cálculos en lo referente al sistema de puesta a tierra.

El propósito de esta norma es dar delineamientos e información pertinente para los sistemas de tierra seguros en el diseño de subestaciones de A.C. Los principales propósitos específicos de la norma son:

- a) Establecer, como base para el diseño, los límites seguros de las diferencias de potencial que puedan existir en una subestación en condiciones de falla, entre los puntos que pueden entrar en contacto con el ser humano.
- b) Revisar las prácticas de aterrizaje de subestaciones y sistemas eléctricos con referencia especial a la seguridad y desarrollar criterios para el diseño seguro.
- c) Dar un procedimiento para el diseño de sistemas prácticos de aterrizaje basados en esos criterios.
- d) Desarrollar métodos analíticos como ayuda para el entendimiento y solución de los problemas típicos de gradientes. (Flores Figueroa, 2017)

#### **2.3.5. Clasificación del sistema de puesta a tierra**

##### **2.3.5.1. Sistema de puesta a tierra de protección**

Los equipos eléctricos se conectan a tierra para evitar que la carcasa o cubierta metálica de ellos represente un potencial respecto de tierra

que pueda significar un peligro para el operario o usuario del equipo. Este tipo de conexión a tierra se denominará tierra de protección.

La posibilidad de que ciertas partes de una instalación, que normalmente están sin tensión puedan quedar con una tensión con respecto a la tierra por fallas de aislamiento se debe evitar conectando todas las partes metálicas con las que pueda una persona entrar en contacto y que no debe estar normalmente con tensión.

Según la presente norma, se entiende por tierra de protección la puesta a tierra de toda pieza conductora que no forma parte del circuito, pero que en condiciones de falla puede quedar energizada.

Se pondrán a tierra las partes metálicas de una instalación que no estén en tensión normalmente pero que puedan estarlo a consecuencia de averías, accidentes, descargas atmosféricas o sobretensiones.

En todos los casos donde el conductor de puesta a tierra se encuentre en vías de circulación de personas u animales ajenas a la instalación deberá contar con protección mecánica, evitándose en lo posible el uso de tubos de material de buena permeabilidad magnética. (Vazquez Muñoz, 2016)

#### **2.3.5.2. Sistema de puesta a tierra de servicio**

El conductor neutro de cada instalación de consumo deberá conectarse a una puesta a tierra de servicio. La puesta a tierra de servicio se efectuará en un punto lo más próximo posible al empalme, preferentemente en el punto de unión de la acometida con la instalación.

En el conductor neutro de la instalación no se deberá colocar protecciones ni interruptores, excepto que éstos actúen simultáneamente sobre los conductores activos y el neutro. El conductor de puesta a tierra de servicio tendrá aislación de color blanco.

En instalaciones de consumo conectadas a la red de media tensión a través de transformadores, se deberá tener puestas a tierra de servicio que cumplan con las siguientes condiciones.

- La tierra de servicio se diseñará de modo tal que, en caso de circulación de una corriente de falla permanente, la tensión de cualquier conductor activo con respecto a tierra no sobrepase los 250V.
- El conductor neutro se pondrá a tierra en la proximidad de la subestación y en distintos puntos de la red de distribución interna en BT (baja tensión), a distancias no superiores a 200m y en los extremos de líneas, cuando las líneas de distribución excedan dicha longitud.
- La resistencia combinada de todas las puestas a tierra resultantes de la aplicación de esta exigencia no deberá exceder de 5ohm.
- En general, se usará la puesta a tierra de protección de MT (media tensión) en la subestación como puesta a tierra de servicio. En condiciones especiales, determinadas por los requerimientos de un proyecto en particular, se podrá separar la tierra de servicio de BT de la tierra de protección de MT. Esta condición deberá quedar claramente establecida y justificada en el proyecto.

La sección mínima del conductor de puesta a tierra de servicio será de 21mm<sup>2</sup> (4AWG), si se utiliza conductor de cobre. (Vazquez Muñoz, 2016)

### 2.3.6. Tipos de sistemas de puesta a tierra

De acuerdo a su aplicación los sistemas de puesta a tierra son:

- Puesta a tierra para sistemas eléctricos.
- Puesta a tierra de los equipos eléctricos.
- Puesta a tierra en señales electrónicas.

- Puesta a tierra de protección electrónica.
- Puesta a tierra de protección atmosférica. (Vazquez Muñoz, 2016)

### 2.3.7. Metodologías de aplicación de puesta a tierra

#### 2.3.7.1. Resistividad y resistencia del suelo

Los parámetros de resistividad y resistencia, tienen significados diferentes. La resistividad eléctrica  $\rho$  del suelo describe la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él. De igual manera se puede definir la conductividad como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica para atravesarlo. La resistencia eléctrica viene determinada por la resistividad del suelo y su geometría. Al considerar el suelo como un conductor rectilíneo y homogéneo de sección  $S$  y longitud  $L$ , su resistencia eléctrica y resistividad son:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Despejando tenemos que resistividad es igual a:

$$\rho = \frac{RS}{L} \text{ (Flores Figueroa, 2017)}$$

La unidad de resistividad según el sistema internacional es el ohmio por metro ( $\Omega.m$ ), de igual forma se puede definir a la conductividad ( $\sigma$ ) como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica al atravesar un elemento, que expresado numéricamente es el inverso de la resistividad; se expresa en siemens metro (s.m).

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

La resistividad es de las magnitudes físicas con mayor variación según el tipo de material y desde luego para los suelos. Su valor depende de varios factores como: salinidad, humedad, temperatura, estratigrafía, presión, variaciones estacionales, etc. (Duche Zabala, 2013)

##### 2.3.7.1.1. Elementos que influyen en la resistividad del terreno

La resistividad del terreno se define como la resistencia que presenta 1m<sup>3</sup> de tierra, y resulta de un interés importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra.

**Naturaleza del terreno:**

Esta se refiere a que la resistividad varía según el tipo de terreno, es decir se tiene una resistividad más elevada en un terreno rocoso que en uno donde haya arena.

**Tabla 2.2 Resistividad según la naturaleza del terreno**

NATURALEZA DE LOS SUELOS	RESISTIVIDAD (Ω-m)	
	MÍNIMA	MÁXIMA
Suelos orgánicos y pantanosos	---	30
Lodo	20	100
Húmedo	10	150
Arcillas Plásticas	---	50
Arcillas Compactas	100	200
Arena arcillosa	50	500
Arena silicosa	200	3000
Suelo con piedra	1500	3000
Suelo con piedra cubierto con hierba	300	500
Calcáreo blanco	100	400
Calcáreo compacto	100	5000
Granito y arena	100	1000

Fuente: Flores Figueroa (2017)

Se puede observar que a medida que la roca es más compactada y más antigua, la resistividad es mayor. Los suelos de grano muy fino son muy buenos conductores por lo general, mejores que los de grano medio, y éstos a su vez mejores que los de grano grueso.

**Humedad:**

La resistividad del terreno se ve influenciada de una manera significativa cuando existe la presencia de humedad en el suelo, apreciablemente cuando este valor cae por debajo del

20% del peso de éste, produciendo que la resistencia del terreno disminuya con el aumento de humedad.

Su valor varía con el clima, época del año y profundidad y para reducir el riesgo de accidentes fatales durante las fallas de fase a tierra, generalmente, se provee de una capa de grava sobre el área de la malla construida, que constituye el propio piso de la subestación. En el cuadro 2.3, se exhiben los efectos típicos de la humedad sobre el terreno.

**Tabla 2.3 Efecto de la humedad en la resistividad del terreno**

CONTENIDO DE HUMEDAD % POR PESO	RESISTIVIDAD ( $\Omega$ -m)	
	TERRENO SUPERFICIAL	ARCILLA ARENOSA
0	$10 \times 10^6$	$10 \times 10^6$
2.5	2500	1500
5	1650	430
10	530	220
15	210	130
20	120	100
30	100	80

Fuente: Flores Figueroa (2017)

Se puede observar que al estar secos en ambos tipos de terreno las resistividades son alrededor de 10 Mega ohm-m, siendo buenos aislantes. Sin embargo, con un contenido de humedad del 30%, se aprecia un decrecimiento drástico en la resistividad del terreno.

### **Temperatura:**

La temperatura del terreno a profundidades normales de colocación de la malla de puesta a tierra afecta mucho en la resistividad del terreno y por ende a la resistencia del sistema de puesta a tierra. Cuando el terreno se enfría por debajo de 0° C, la resistividad aumenta muy rápidamente.

Si la magnitud de la corriente de cortocircuito es muy elevada, puede modificar el comportamiento de los electrodos de tierra,

ya que da lugar a calentamientos alrededor de los conductores enterrados, que provocan la evaporación del agua, disminuyendo con esto la humedad en el terreno y perjudicando el sistema de puesta a tierra. En el cuadro 2.4 se muestra el efecto de la temperatura en la resistividad del terreno.

**Tabla 2.4 Efecto de la temperatura en la resistividad del terreno**

TEMPERATURA		RESISTIVIDAD ( $\Omega$ -m)
°C	°F	
20	68	72
10	50	99
0 a -5	32 (agua)	138
	32 (hielo)	300
	23	790
-15	14	3300

Fuente: Rojas (2007)

**Estratigrafía:**

Los terrenos están conformados por diferentes capas de agregados y por lo tanto poseen diferentes valores de resistividad.

**Figura 2.8 Estratigrafía del terreno**



Fuente: Flores Figueroa (2017)

El desconocimiento de la resistividad de las capas inferiores, obliga al estudio y medición de las mismas si se requiere conocer el valor de la puesta a tierra a una determinada profundidad.

La resistividad media o aparente, será una combinación de la resistividad de las diferentes capas que conforman el terreno.

**Salinidad:**

Al hablar de la influencia de compuestos químicos, especialmente de sales solubles y ácidos en la resistividad del terreno, se encuentra que afectan directamente en su valor.

Un terreno puede mejorar sensiblemente su valor de resistividad, únicamente añadiéndole sales, es decir, al aumentar la salinidad de un terreno su resistividad disminuye significativamente.

*Tabla 2.5 Efecto de la sal en la resistividad del terreno*

% DE SAL AGREGADA POR PESO DE HUMEDAD	RESISTIVIDAD ( $\Omega$ -m)
0	107
0.1	18
1	4.6
5	1.9
10	1.3
20	1

Fuente: Rojas (2007)

**Variaciones estacionales:**

Es lógico pensar, que la resistividad del terreno variará considerablemente en las diferentes épocas del año, esto es particularmente cierto en aquellos lugares donde hay variaciones estacionales. Para conseguir mantener el valor de

la resistividad lo más uniforme a lo largo del año, es conveniente instalar profundamente los electrodos en el terreno y proteger lo más posible el terreno de las intemperies del tiempo.

#### **Compactación del terreno:**

La resistividad del terreno disminuye, cuando la compactación del terreno es grande. Al colocar los electrodos se producirá una separación entre la varilla y el terreno, por lo que es necesario compactarlo para que exista un buen contacto entre varilla-terreno. (Flores Figueroa, 2017)

#### **2.3.7.2. Método de medición de la resistividad de los terrenos**

La norma IEEE 81-1983, describe una serie de técnicas o métodos de medición de resistividad del suelo. Hay que medir la resistencia de puesta a tierra de una instalación, y por lo tanto el valor de la resistividad del terreno, antes de dar el visto bueno de la instalación, pero también hay que comprobarla periódicamente en la época más desfavorable.

Si conocemos el valor de la resistividad del terreno con anterioridad a instalar o decidir el tipo de electrodo que vamos a utilizar, tendremos la ventaja de elegir el sistema que técnico-económicamente pueda ser más rentable.

Existen varios métodos para calcular la resistividad del terreno del cual destacamos el método de wenner. En este método el material necesario para hacer las mediciones es el siguiente:

- Instrumentos de medida de resistividades de cuatro bornes.
- Cuatro varillas para utilizarlas de electrodos.
- Cuatro cables aislados para conectar las picas a los bornes del aparato de medida, de una sección mínima de 1.5mm<sup>2</sup>.

La longitud de los cables es variable dependiendo de la profundidad a la que se quiere medir la resistividad. (Villa García, 2010)

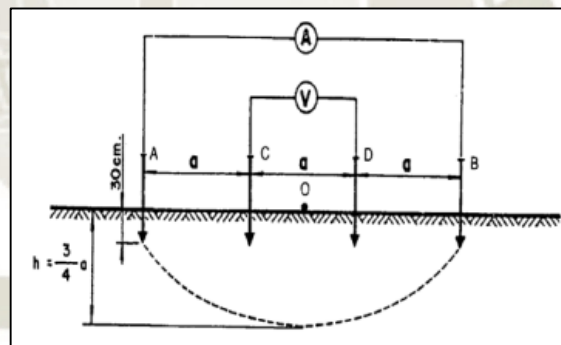
### 2.3.7.2.1. Método de Wenner

Este método consiste en calcular la resistividad aparente del terreno colocando los cuatro electrodos, a distancias iguales, simétricamente separados de un punto central O debajo del cual queremos medir la resistividad del terreno.

El espesor de la capa de terreno de la que estamos midiendo la resistividad es directamente proporcional a la separación entre los electrodos, como se puede apreciar en la figura, y su valor es:

$$h = \frac{3}{4} a$$

**Figura 2.9 Método de Wenner**



Fuente: Villa García (2010)

Donde:

h: Profundidad para la medida de la resistividad media.

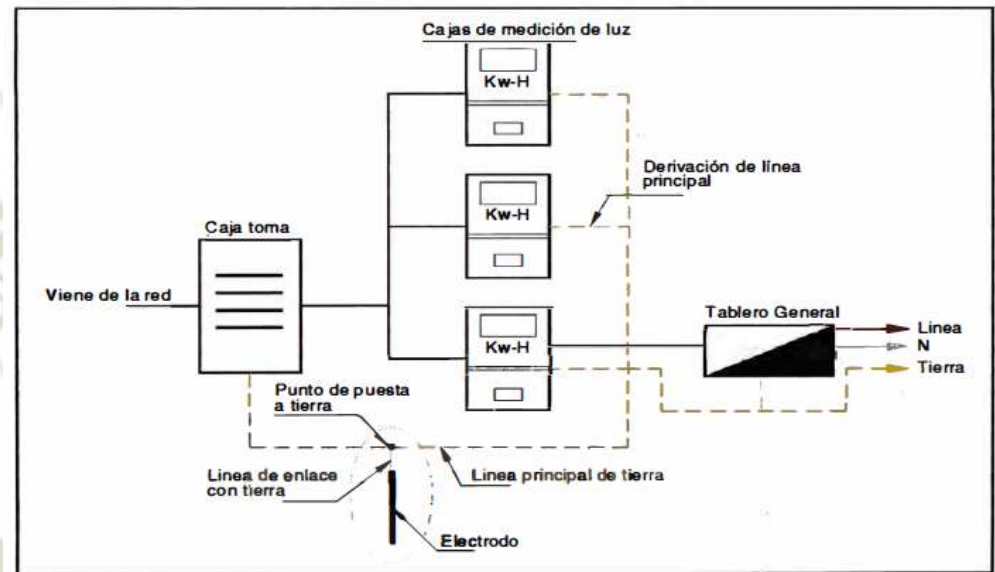
a: Separación entre electrodos. (Villa García, 2010)

### 2.3.7.3. Partes de las puestas a tierra

En la fig. 2.10 se muestra una representación esquemática de una puesta a tierra con sus partes que la conforman:

- Tomas de tierra (electrodos)
- Línea principal de tierra
- Derivaciones de las líneas principales de tierra

*Figura 2.10 Representación esquemática de un circuito de puesta a tierra*



Fuente: Gómez Alva (2003)

El conjunto de conductores, así como sus derivaciones y empalmes, que conforman las diferentes partes de las puestas a tierra, constituyen el circuito de puesta a tierra.

#### a) Tomas de tierra

Las tomas de tierra están constituidas por los siguientes elementos.

**Electrodo.** - es una masa metálica, que se encuentra en permanente contacto con el terreno para facilitar el paso de las corrientes de defecto que puedan presentarse o drenar a tierra la carga eléctrica estática que tenga o pueda tener.

**Línea de enlace con tierra.** – está conformada por los conductores que unen el electrodo o conjunto de electrodos con el punto d puesta a tierra.

**Punto de puesta a tierra.** – Es el punto situado fuera del suelo que sirve de unión entre la línea de enlace con tierra y la línea principal de tierra; deberá permitir que la conexión eléctrica pueda separarse, con el fin de poder realizar la medida de la resistencia de las tomas a tierra.

**b) Línea principal de tierra**

La línea principal de tierra es el conductor que parte del punto de puesta a tierra y a las cuales se conectan las derivaciones necesarias para la puesta a tierra de las masas o partes metálicas de las instalaciones particulares.

**c) Derivaciones de las líneas principales de tierra**

Las derivaciones de las líneas de tierra son los conductores que unen la línea principal de tierra con los conductores de protección o directamente con las masas de una instalación a ciertos elementos, con el fin de asegurar la protección contra los contactos indirectos. (Gómez Alva, 2003)

### 2.3.8. Selección e instalación del electrodo

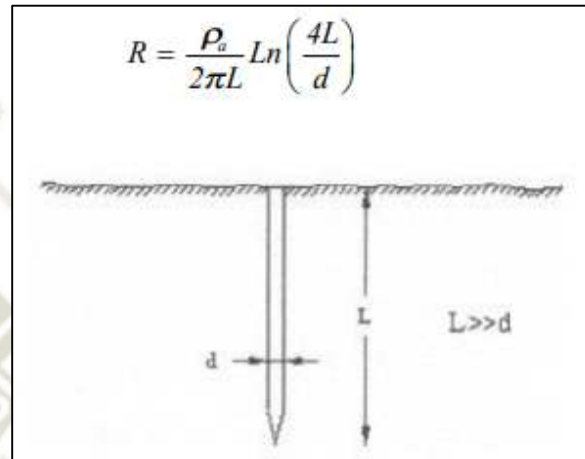
El electrodo es el componente del sistema de puesta a tierra que está en contacto directo con el suelo y proporciona el medio para botar o recoger cualquier tipo de fuga de corriente a tierra. El electrodo debe tener buena conductividad eléctrica y no corroerse dentro del suelo; el más usado es el cobre electrolítico de pureza 99.9%. El electrodo puede tomar diversas formas: barras verticales, conductores horizontales, placas, etc. (Qqueshuayllo Cancha, 2005)

#### 2.3.8.1. Electrodo vertical en pozo

Son las que más se aplican por el mínimo espacio que necesitan, se usa un electrodo simple tipo varilla de cobre (jabalina), siendo las medidas estándar, para su longitud L: 2.0, 2.5 y 3.0m, con un diámetro

d: 0.025m y 0.013m, siendo su resistencia: (Qqueshuayllo Cancha, 2005)

**Figura 2.11 Electrodo vertical**

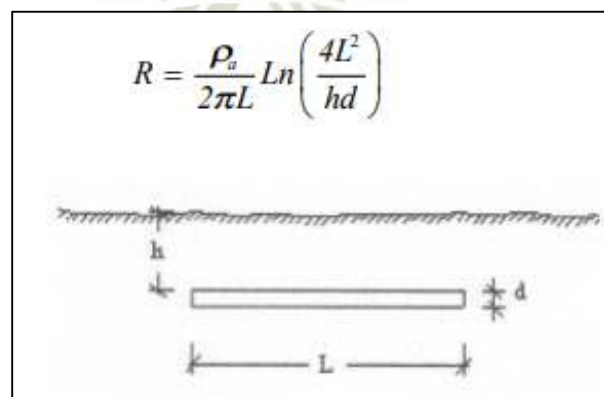


Fuente: Qqueshuayllo Cancha (2005)

### 2.3.8.2. Electrodo horizontal en zanja

Se aplican poco, se emplea un electrodo simple de cobre tipo platina o un conductor desnudo, su resistencia es: (Qqueshuayllo Cancha, 2005)

**Figura 2.12 Electrodo horizontal**

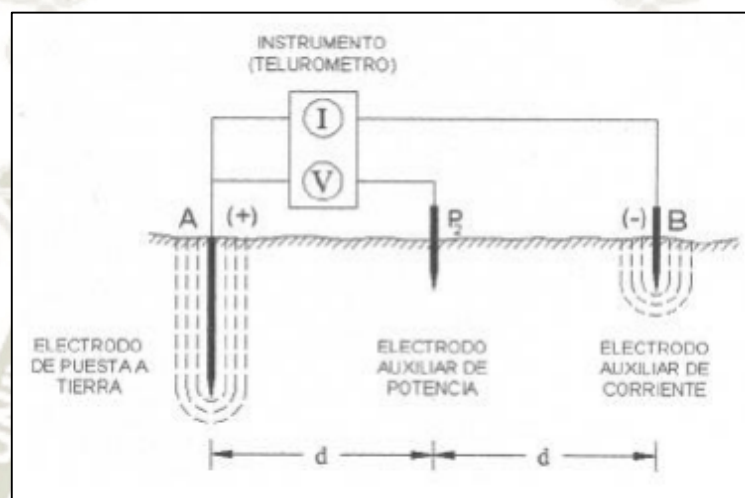


Fuente: Qqueshuayllo Cancha (2005)

### 2.3.9. Medida de la resistencia de una puesta a tierra

Es la verificación de la capacidad de evacuación y dispersión de la corriente eléctrica en el suelo, a cargo de una puesta a tierra desconectada; las medidas se hacen utilizando un telurómetro portátil de 3 o 4 bornes. Se inyecta una corriente a través del electrodo de la puesta a tierra A y se mide el alza de potencial por el electrodo auxiliar de potencia P2, conocido el valor de la tensión y la corriente se obtiene la resistencia de la puesta a tierra.

*Figura 2.13 Medida de la resistencia de la puesta a tierra*



Fuente: Qqueshuayllo Cancha (2005)

La forma precisa de medir la resistencia a tierra, es colocando el electrodo auxiliar de potencia P2 a una distancia “d” (igual al doble de la longitud del electrodo A) y a una distancia “2d” al electrodo auxiliar de corriente B con respecto al electrodo de puesta a tierra A, en línea recta, para que el electrodo P2 esté fuera de las áreas de resistencia del electrodo A y B.

Siendo los valores de resistencia:

- Para grandes subestaciones, líneas de transmisión y estaciones de generación:  $1\Omega$ .
  - Plantas industriales, edificios, grandes instalaciones comerciales: 1-5 $\Omega$ .
  - Para aplicaciones domésticas, un electrodo simple: 25 $\Omega$ .
- (Qqueshuayllo Cancha, 2005)

### 2.3.10. Métodos para reducir la resistencia de tierra

Cuando la resistividad del terreno es muy elevada, y en donde los electrodos no pueden enterrarse profundamente debido a rocas se utilizan diversos métodos para mejorar las condiciones. En general todos los métodos tratan de crear una mejor conductividad en las primeras capas o cilindros de tierra que rodean al electrodo, en donde la superficie conductora es pequeña. El tratamiento también es beneficioso al independizar el valor de la resistencia obtenida de las variaciones climáticas.

El artículo 250-84 del CEN permite para los sistemas con un electrodo único que conste de una varilla, tubería o placa, que no tiene una resistencia a tierra de  $25\Omega$  o menos que se complemente con electrodos adicionales separados por lo menos una distancia de 1.83m entre sí.

En la práctica, cuando encuentra que la resistencia de su electrodo a tierra no es suficientemente baja.

Los métodos más comunes para mejorarla son:

- Usando una varilla de mayor diámetro.
- Usando electrodos más largos.
- Colocando dos, tres o más electrodos en paralelo.
- Electrodos profundos.
- Reducción de la resistividad del suelo tratando químicamente el terreno.
- Agregado de sales simples.
- Agregado de coque.
- Aporte de sales “gel”.
- Inyección de bentonita.
- Inyección de resinas sintéticas. (Gregor, 2007)

### 2.4. Esquemas de conexión a tierra normalizados

La elección de estos métodos determina las medidas necesarias para aportar protección contra riesgos de contactos indirectos.

El esquema de conexión a tierra debe cumplir los criterios de tres opciones, originalmente independientes, elegidas por el proyectista de un esquema de distribución eléctrica o una instalación:

- El tipo de conexión del sistema eléctrico (por lo general, del conductor neutro) y las partes accesibles que llegan a los electrodos de tierra.
- Un conductor de protección independiente o un conductor de protección y un conductor neutro como único conductor.
- El uso de una protección contra defectos a tierra de la aparamenta con protección contra sobreintensidades, que elimine únicamente corrientes de defecto relativamente elevadas, o el uso de relés adicionales capaces de detectar y eliminar a tierra pequeñas corrientes de defecto de aislamiento.

(Lastra Romero, 2019)

#### **2.4.1. Esquema TT: Conductor neutro conectado a tierra**

##### **Primera letra**

Designa la situación de la puesta a tierra de la fuente de energía (transformador de distribución).

**T:** Se requiere de puesta a tierra directa.

**I:** Partes activas aisladas con respecto a tierra o conectado a través de una impedancia.

##### **Segunda letra**

designa la situación de las masas conductoras de las cargas de utilización con respecto a tierra.

**T:** Masas conectadas directamente a tierra.

**N:** Masas de las cargas conectadas al neutro de la fuente de energía.

##### **Otras letras eventuales**

Situación relativa del conductor neutro y del conductor de protección.

**S:** Neutro (N) y conductor de protección (CP), conductores separados.

**C:** Neutro (N) y conductor de protección (CP) funciones combinadas en un solo conductor (CPN).

**C-S:** Neutro y conductor de protección tendidos en forma parcial como conductor CPN y en parte separados. (Gómez Alva, 2003)

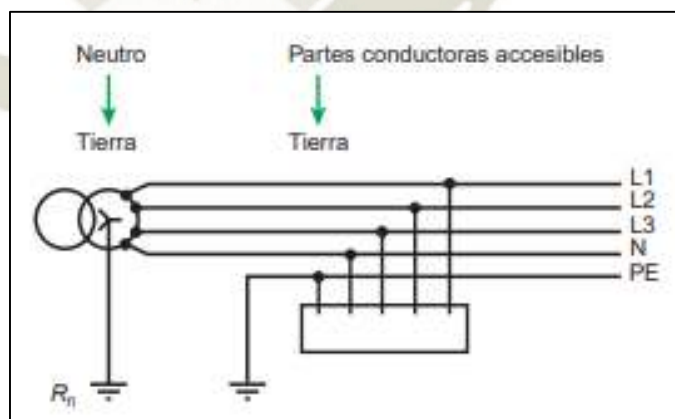
Un punto de la fuente de alimentación se conecta directamente a tierra. Todas las partes conductoras accesibles y extrañas se conectan a una toma de tierra independiente de la instalación. Este electrodo puede o no ser eléctricamente independiente del electrodo de la fuente.

Ambas zonas de influencia pueden solaparse sin que se vea afectado el funcionamiento de los dispositivos de protección. (Lastra Romero, 2019)

Dispositivos de protección autorizados:

- Equipo de protección contra sobrecorriente
- Dispositivos de protección contra corrientes de error (RCD)

**Figura 2.14 Esquema TT**



Fuente: Schneider Electric (2008)

Ante un fallo de aislamiento, la corriente de defecto  $I_d$  queda limitada, sobre todo, por las resistencias de tierra (si la conexión a tierra de las masas y la conexión a tierra del neutro no son la misma).

Siempre con la hipótesis de que  $R_d=0$ , la corriente de defecto es:

$$I_d \approx \frac{U_o}{R_a + R_b}$$

Esta corriente de defecto produce una tensión de defecto en la resistencia de tierra de los receptores:

$$U_d = \frac{U_o * R_a}{R_a + R_b}$$

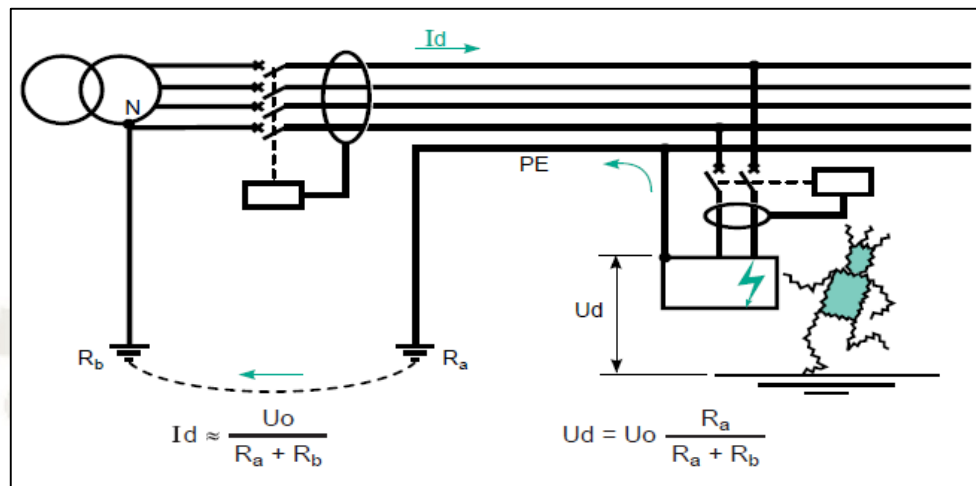
Siendo normalmente bajas las resistencias de tierra y del mismo orden de magnitud ( $\approx 10\Omega$ ), esta tensión, del orden de  $U_o/2$ , es peligrosa; por tanto, es obligatorio prever una desconexión automática de la parte de la instalación afectada por el defecto. (Lacroix, 1991)

**Tabla 2.6 Límite superior de la resistencia de la toma de tierra de las masas que no hay que sobrepasar, en función de la sensibilidad de los DDR y de la tensión límite  $U_L$ , [ $I\Delta n = f(R_a)$ ]**

$I\Delta n \leq \frac{U_L}{R_a}$	resistencia máxima $\Omega$ de la toma de tierra $R_a$ para $U_L =$	
	50 V	25 V
3 A	16	8
1 A	50	25
500 mA	100	50
300 mA	166	83
30 mA	1660	833

Fuente: Lacroix (1991)

*Figura 2.15 Corriente y tensión de defecto en el esquema TT*



Fuente: Lacroix (1991)

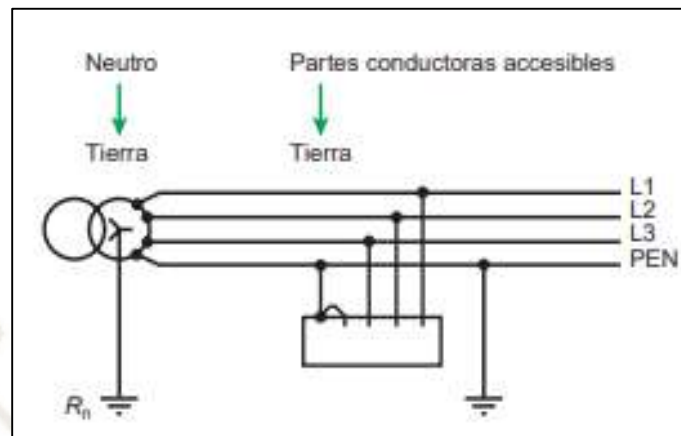
## 2.4.2. Esquema TN: Partes conductoras accesibles conectadas al conductor neutro.

### 2.4.2.1. Esquema TN-C

El conductor neutro también se utiliza como un conductor de protección y se denomina conductor PEN (neutro y puesta a tierra de protección). Este sistema no está permitido para conductores de menos de 10mm<sup>2</sup> ni para equipos portátiles.

El esquema TN-C requiere un entorno equipotencial eficaz en la instalación, con electrodos de tierra dispersos y separados a intervalos que sean lo más regulares posible, puesto que el conductor PEN es el conductor neutro y también conduce corrientes con desequilibrios de fases, así como corrientes armónicas de tercer orden (y sus múltiplos). Por tanto, el conductor PEN debe conectarse a una serie de electrodos de tierra en la instalación. Puesto que el conductor neutro también es el conductor de protección, cualquier corte en el conductor representa un riesgo para las personas y los bienes. (Lastra Romero, 2019)

**Figura 2.16 Esquema TN-C**



Fuente: Schneider Electric (2008)

Ante un defecto de aislamiento, la corriente de defecto  $I_d$  no está limitada más que por la impedancia de los cables del bucle del defecto:

$$I_d = \frac{U_0}{R_{fase1} + R_d + R_{PE}}$$

Para una salida determinada y supuesto que  $R_d \approx 0$ , se tiene:

$$I_d = \frac{0.8U_0}{R_{fase1} + R_{PE}}$$

En efecto, durante un cortocircuito, se admite que las impedancias aguas arriba de la salida considerada provocan una caída de tensión del orden del 20% sobre la tensión simple  $U_0$ , que es la tensión nominal entre fase y tierra; de ahí el coeficiente es 0.8.

Entonces  $I_d$  provoca la aparición de una tensión de defecto, respecto a tierra:

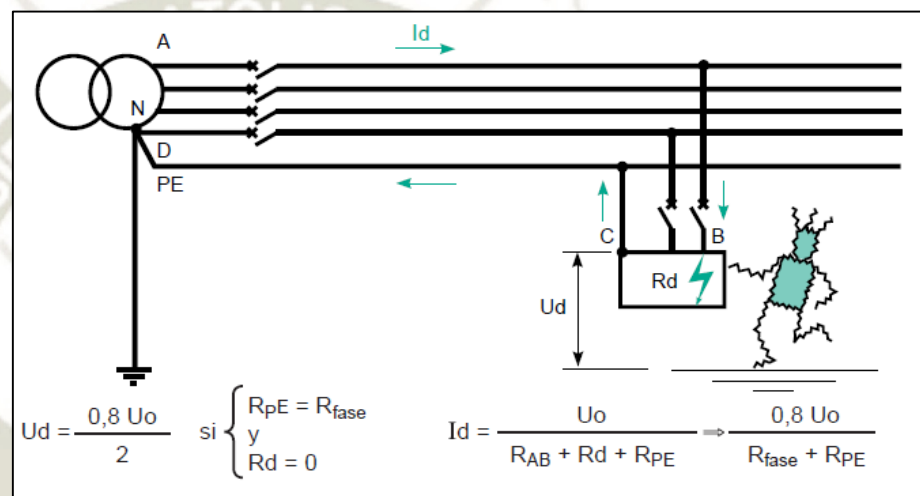
$$U_d = 0.8U_0 \frac{R_{PE}}{R_{fase1} + R_{PE}}$$

Para redes de 220/380V, esta tensión, del orden de  $U_0/2$  (si  $R_{PE}=R_{fase}$ ) es peligrosa, porque es superior a la tensión límite de

seguridad, incluso en un lugar seco ( $U_L=50V$ ). Por tanto, es necesario asegurar la desconexión automática e inmediata de la instalación o de parte de la misma.

Siendo el defecto de aislamiento similar a un cortocircuito fase-neutro, el corte debe de realizarse con un dispositivo de protección contra cortocircuitos (DPCC) con un tiempo máximo de corte especificado en función de  $U_L$ . (Lacroix, 1991)

**Figura 2.17 Corriente y tensión de defecto en el esquema TN**



Fuente: Lacroix (1991)

**Tabla 2.7 Tiempos de corte en el ECT TN**

$U_o$ (voltios) tensión fase/neutro	tiempos de corte (segundos) $U_L = 50 V$	tiempos de corte (segundos) $U_L = 25 V$
127	0,8	0,35
230	0,4	0,2
400	0,2	0,05
> 400	0,1	0,02

Fuente: Lacroix (1991)

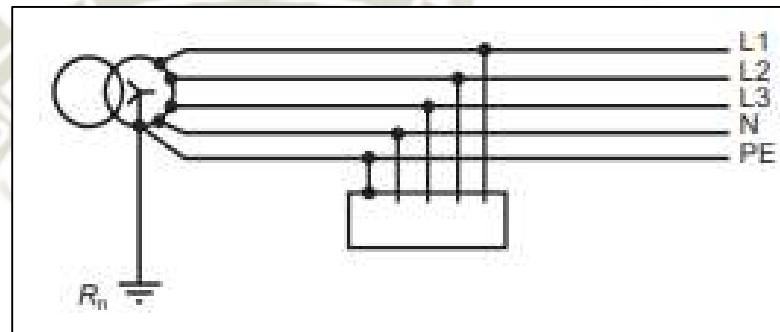
#### 2.4.2.2. Esquema TN-S

El esquema TN-S (5 hilos) es obligatorio para los equipos portátiles con circuitos con secciones transversales inferiores a  $10\text{mm}^2$ .

El conductor de protección y el conductor neutro son independientes. En los sistemas de cables subterráneos en los que existen cables forrados de plomo, el conductor de protección es por lo general el revestimiento de plomo. El uso de conductores PE y N independientes (5 hilos).

Neutro (N) y el conductor de protección (PE) de la instalación, separados (PE y N). (Schneider Electric, 2008)

**Figura 2.18 Esquema TN-S: El conductor neutro (N) y el de protección CP (tierra) separados.**

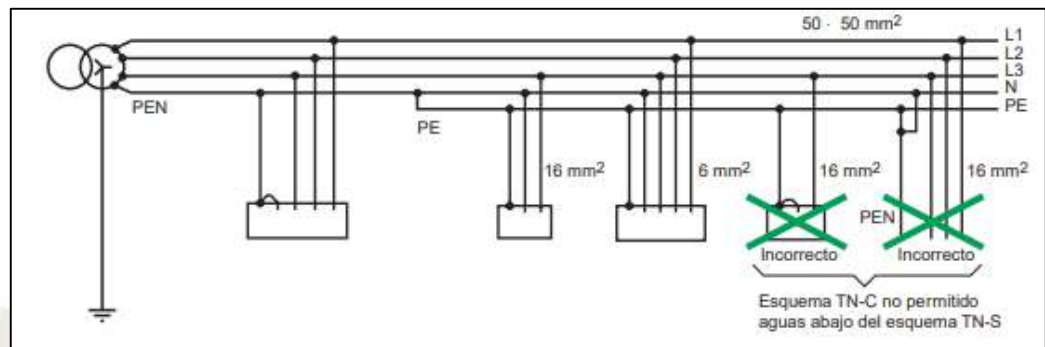


Fuente: Schneider Electric (2008)

#### 2.4.2.3. Esquema TN-C-S

Los esquemas TN-C y TN-S se pueden utilizar en la misma instalación. En el esquema TN-C-S, el esquema TN-C (4hilos) nunca se debe utilizar aguas abajo del esquema TN-S (5hilos), puesto que cualquier interrupción accidental en el conductor neutro en la parte aguas arriba provocaría una interrupción en el conductor de protección en la parte aguas abajo y, por tanto, presentaría un peligro. (Lastra Romero, 2019)

*Figura 2.19 Esquema TN-C-S*



Fuente: Schneider Electric (2008)

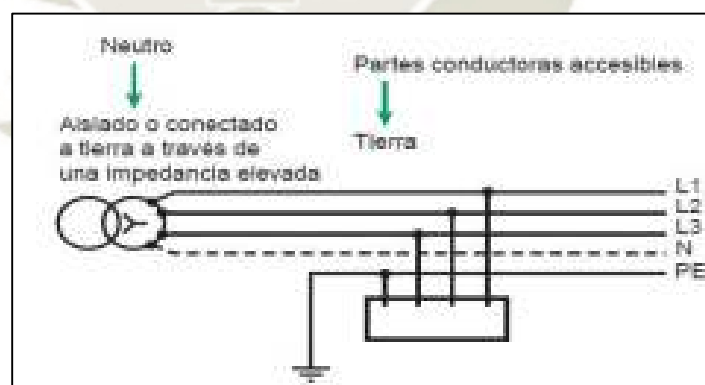
### 2.4.3. Esquema IT: Neutro aislado o neutro impedante

#### 2.4.3.1. Esquema IT (Neutro aislado)

No se realiza ninguna conexión entre el punto neutro de la fuente de alimentación y tierra.

Las partes conductoras accesibles y extrañas de la instalación se conectan a una toma de tierra. (Lastra Romero, 2019)

*Figura 2.20 Esquema IT (neutro aislado).*

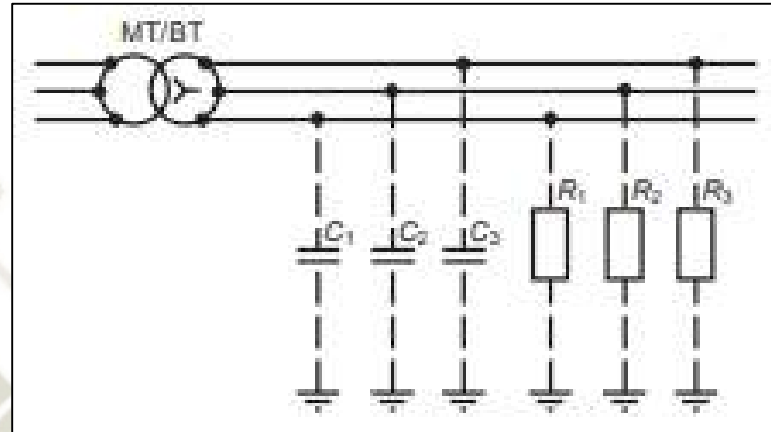


Fuente: Lastra Romero (2019)

En la práctica, todos los circuitos tienen una impedancia de fuga a tierra, puesto que ningún aislamiento es perfecto. En paralelo con esta ruta de fuga resistiva (distribuida) se encuentra la ruta de la corriente

capacitiva distribuida, y juntas constituyen la impedancia de fuga normal a tierra.

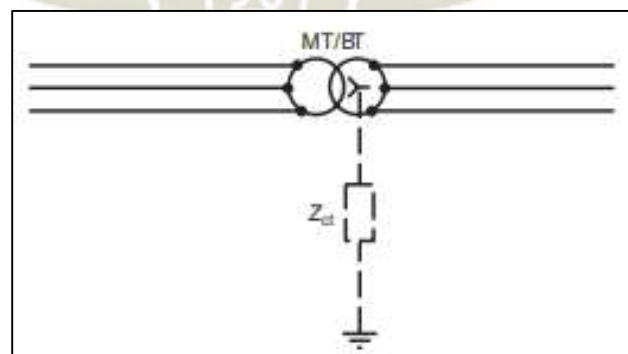
**Figura 2.21 Esquema IT.**



Fuente: Schneider Electric (2008)

En un esquema de baja tensión trifásico de 3 hilos, 1km de cable presentará una impedancia de fuga debida a C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub> y a R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub> equivalente a una impedancia a tierra del neutro Z<sub>ct</sub> de entre 3000 y 4000Ω, sin contar las capacidades de filtrado de los dispositivos electrónicos. (Schneider Electric, 2008)

**Figura 2.22 Impedancia equivalente a las impedancias de fuga en un esquema IT.**

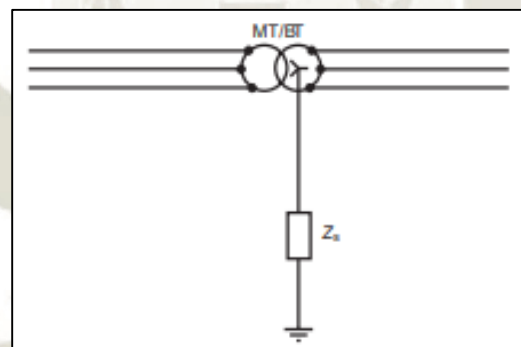


Fuente: Schneider Electric (2008)

### 2.4.3.2. Esquema IT (Neutro con conexión a tierra de impedancia)

Una impedancia  $Z_s$  (de entre  $1000$  y  $2000\Omega$ ) se conecta de forma permanente entre el punto neutro del devanado de baja tensión del transformador y tierra. Todas las partes conductoras accesibles y extrañas se conectan a una toma de tierra. Lo que se pretende con esta forma de conectar la fuente de alimentación a tierra es fijar el potencial de una red pequeña con respecto a tierra ( $Z_s$  es pequeña en comparación con la impedancia de fuga) y reducir el nivel de sobretensiones, como las que se transmiten desde los devanados de alta tensión, etc., con respecto a tierra. Sin embargo, tiene el efecto de aumentar ligeramente el nivel de corriente para primer defecto. (Lastra Romero, 2019)

*Figura 2.23 Esquema IT (neutro impedante: conectado a tierra a través de una impedancia elevada)*



Fuente: Lastra Romero (2019)

### 2.4.3.3. Características del esquema IT

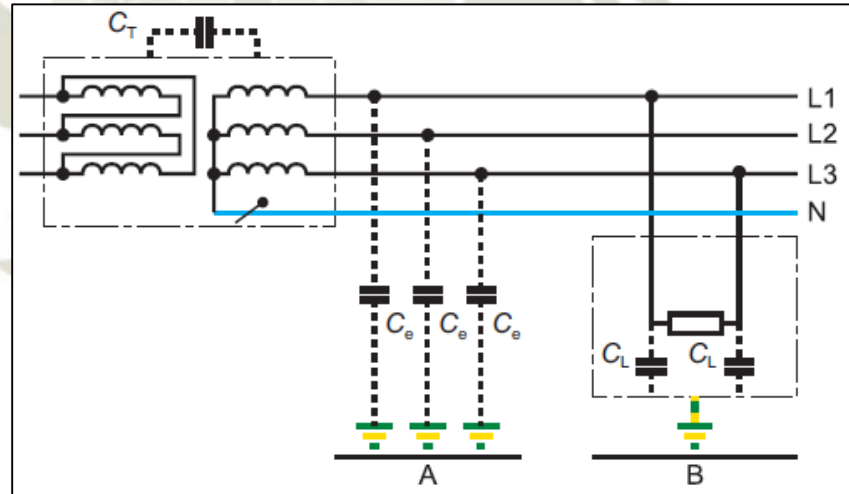
- Un primer fallo de aislamiento no hace que se activen los fusibles o un interruptor de protección de corriente de error RCD.
- Un aparato de vigilancia de fallos de aislamiento detecta un deterioro inadmisibles del aislamiento y avisa de ella.
- Un fallo de aislamiento detectado debe subsanarse lo más rápidamente posible, antes de que se origine un segundo fallo

de aislamiento en otro conductor activo, lo que sí haría que se produjera el fallo de la red. (Bender, s.f.)

#### 2.4.3.4. Capacidades de derivación de la red $C_e$ en sistemas IT

La capacidad de derivación de la red existente  $C_e$  es un importante criterio de selección para un aparato de vigilancia de aislamiento. La capacidad de derivación de la red es la suma de todas las derivaciones capacitivas de todos los conductores activos a tierra. El valor de la capacidad de derivación a tierra  $C_e$  se compone de las capacidades de conducción  $C_e$  de cada uno de los conductores contra el PE (conductor de protección), así como de las capacidades de antiparasitado de los medios operativos en los consumidores contra tierra.  $C_{max}$  es el valor hasta el que el aparato de vigilancia del aislamiento puede trabajar de acuerdo con sus condicionantes. (Bender, s.f.)

*Figura 2.24 Capacidades en un sistema IT*



Fuente: Bender (s.f.)

##### 2.4.3.4.1. Capacidad natural de derivación de la red (A)

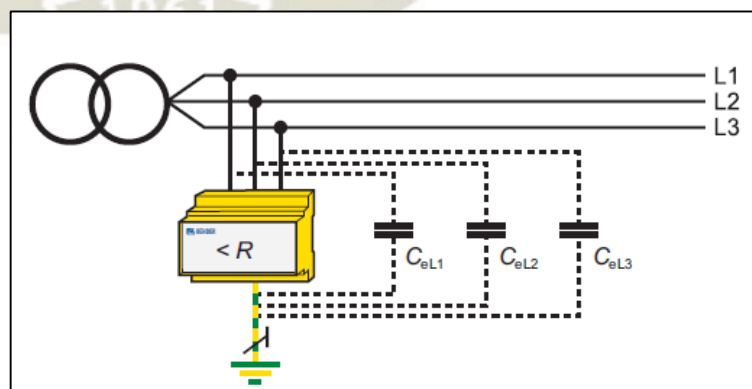
La capacidad natural de derivación de una red es la parte proporcional en la capacidad total  $C_e$  ges, que se deriva de la estructura natural (geométrica) de las longitudes de los

conductores en el sistema contra tierra. Las capacidades de los conductores dependen de la intensidad de aislamiento entre los conductores, de la distancia  $h$ , de la constante del material  $\epsilon_f$ , de la constante eléctrica de campo  $\epsilon_0$  y de la superficie del aislamiento entre los conductores. Por lo regular este valor es equivalente aproximadamente a 150pf/m. (Bender, s.f.)

#### 2.4.3.4.2. Capacidades de derivación artificiales (B)

Para eliminar perturbaciones de compatibilidad electromagnética causadas por consumidores no lineales, por diferentes frecuencias, o también por armónicos superiores de alta frecuencia, y para cumplir las normas de compatibilidad electromagnética, los consumidores se equipan con filtros capacitivos. Estos filtros tienen como consecuencia, que, las capacidades de derivación de la red se incrementan, o respectivamente que pueden fluir mayores corrientes de derivación por los conductores. Los condensadores en los aparatos electrónicos están en el margen de 10-100nf. (Bender, s.f.)

*Figura 2.25 Adición de las capacidades de derivación de la red en referencia al aparato de vigilancia de aislamiento.*

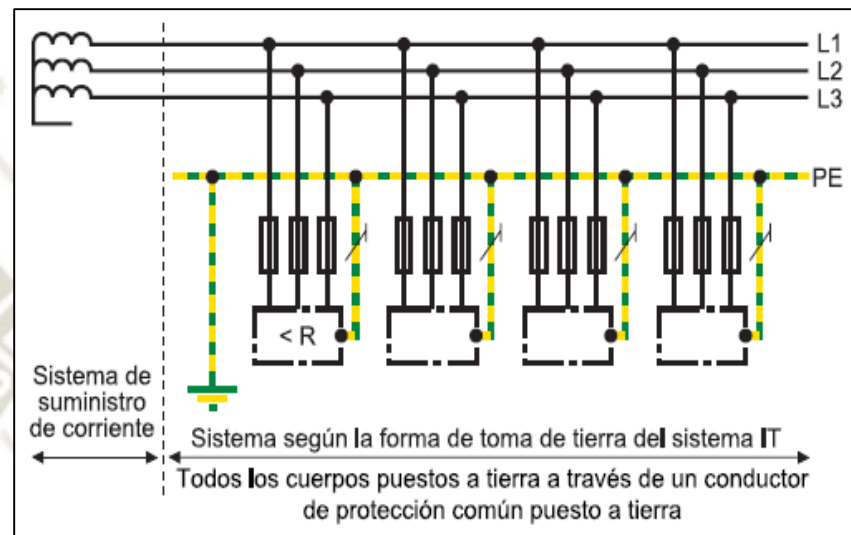


Fuente: Bender (s.f.)

#### 2.4.3.5. Toma de tierra de los consumidores

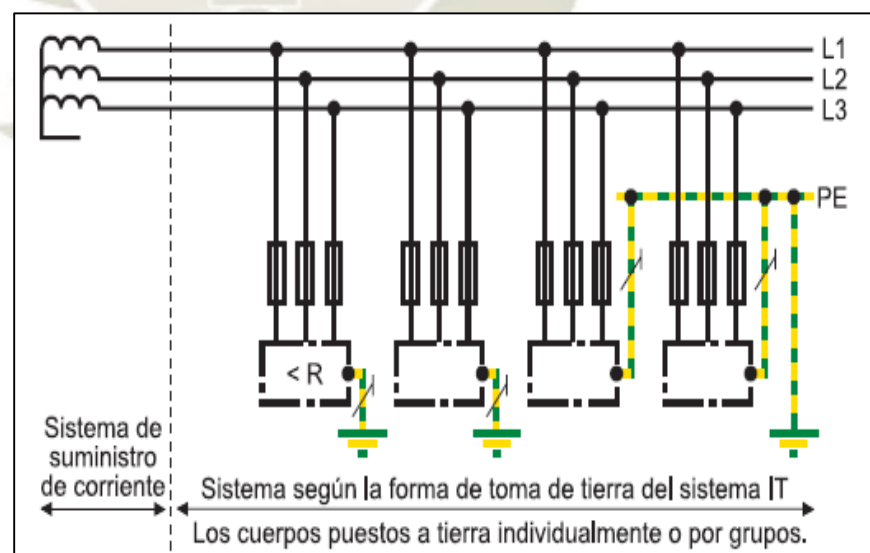
Según la norma IEC 60364-4-441 2007-06, los consumidores en un sistema IT pueden ponerse a tierra bien individualmente, en grupos o en su conjunto. (Bender, s.f.)

**Figura 2.26 Todos los cuerpos unidos a un conductor de protección común puesto a tierra**



Fuente: Bender (s.f.)

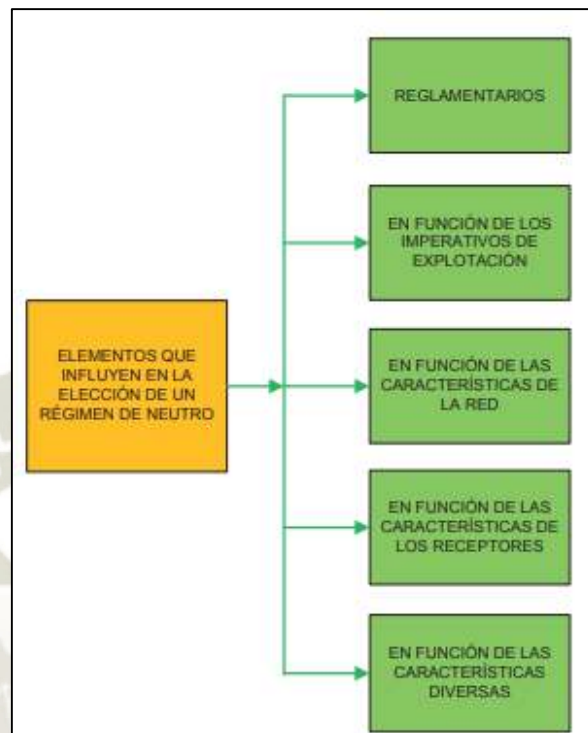
**Figura 2.27 Cuerpos puestos a tierra individualmente o por grupos**



Fuente: Bender (s.f.)

#### 2.4.4. Criterios de elección de los esquemas TT, TN e IT

*Figura 2.28 Criterios de elección de los esquemas TT, TN e IT*



Fuente: fotosdeelectricidad.es>2014/10>bloque-3 (2014)

*Tabla 2.8 Relación entre el esquema y el ámbito*

Reglamentarios, en función del reglamento de BT, de las recomendaciones normativas internacionales y decretos específicos	
Esquema	Ámbito
TT	Red de suministro público y sus conexiones: - Usos domésticos - Establecimientos de sector terciario - Pequeños talleres
IT	- Parte de zonas hospitalarias (quirófanos, UVI) - Circuitos de seguridad (alumbrado de reemplazamiento y emergencia) - Máquinas y ambientes especiales.
IT o TT	Minas o canteras

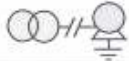
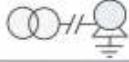



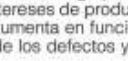
Fuente: fotosdeelectricidad.es>2014/10>bloque-3 (2014)

**Tabla 2.9 Elementos que influyen en la elección de un régimen de neutro**

En función de los imperativos de la explotación		
Mantenimiento a cargo de personal cualificado	Continuidad de servicio primordial	Continuidad de servicio no primordial
Si	IT (neutro aislado o impeditivo)	IT (neutro aislado o impeditivo) TT (neutro a tierra) TN (masas puesta a neutro)
No	Ningún régimen es satisfactorio. De hecho por la incompatibilidad de los criterios	TT (neutro a tierra)

Fuente: fotosdeelectricidad.es>2014/10>bloque-3 (2014)

**Tabla 2.10 En función de las características de la red de alimentación**

En función de las características de la red de alimentación				
Descripción		Aconsejable	Posible	Desaconsejable
Redes muy grandes, con buenas tomas de tierra para las masas, máximo 10 Ω			TT, TN, IT (1) (o combinados)	
Redes muy grandes, con tomas de tierra para las masas muy resistivas, > 30 Ω		TT	TN-S	IT (1) TN-C
Red contaminada (zona de tormentas y/o de repetidores de TV o Radio)		TN	TT	IT (2)
Red con corrientes de fuga importantes (> 500 mA)		TN (4)	IT (4) TT (3) (4)	
Red con gran extensión de línea aérea		TT (5)	TN (5) (6)	IT (6)
Suministro con grupo electrógeno de seguridad (reserva)		IT	TT	TN (7)

(1) Si no está impuesto, el régimen de neutro se elige por las características de explotación (continuidad de servicio, por razones deseables de seguridad o por intereses de productividad...). Cualquiera que sea el régimen de neutro elegido, la probabilidad de un fallo de aislamiento aumenta en función de la longitud de la red, puede ser objeto de un estudio de ramificación, que facilita la localización de los defectos y permite aplicar en régimen de neutro para cada derivación en función de su aplicación.

(2) Los riesgos de cebado del limitador de sobretensiones transforma el neutro aislado en neutro a tierra. Este riesgo es de temer en zonas con nivel cerámico elevado y grandes extensiones de redes aéreas. Si elegimos un régimen IT para asegurar la continuidad de servicio, deberemos tener principal atención en las condiciones de protección del segundo defecto. Generalmente con interruptores diferenciales (DDR).

(3) Riesgo de funcionamiento intempestivo de los interruptores diferenciales DDR.

(4) La solución ideal, cualquiera que sea el régimen de neutro, es aislar la parte generadora de fugas, si es fácilmente localizable.

(5) Riesgo de fuga fase/tierra, rendimiento aleatorio de la equipotencialidad.

(6) Aislamiento incierto, a causa de la humedad y polución conductora.

(7) La puesta a neutro es desaconsejable en razón del riesgo de deterioro del alternador, en caso de defecto interno. De otra parte, puesto que los grupos electrógenos alimentan las instalaciones de seguridad, no deben desconectar al primer defecto.

Fuente: fotosdeelectricidad.es>2014/10>bloque-3 (2014)

**Tabla 2.11 En función de las características de los receptores**

En función de las características de los receptores				
Descripción		Aconsejable	Posible	Desaconsejable
Receptores sensibles a grandes corrientes de defecto (motores...)		IT	TT	TN (8)
Receptores con bajos valores de aislamiento (hornos eléctricos, soldadores, calentadores, equipamientos de grandes cocinas...)		TN (9)	TT (9)	IT
Gran cantidad de receptores monofásicos, fase neutro (móviles, semijóbs, portátiles)		TT (10) TN-S		IT (10) TN-C (10)
Receptores con riesgo (polipastos, vagones de transporte, teleféricos...)		TN (11)	TT (11)	TT (11)
Cantidad de máquinas auxiliares (máquinas-herramienta)		TN-S	TN-C IT (12bis)	TT (12)

(8) La corriente de defecto fase-masa puede adquirir valores capaces de dañar los bobinados de los motores y de envejecer o destruir los circuitos magnéticos.  
 (9) Para conjugar continuidad de servicio y seguridad es necesario y recomendable, para cualquier régimen, separar estos receptores del resto de la instalación (transformadores con puesta a neutro propio).  
 (10) Puesto que la calidad de los receptores es ignorada a la concepción de la instalación, el aislamiento tiene el riesgo de disminuir. La protección de tipo TT, con interruptores diferenciales, constituye la mejor solución.  
 (11) La movilidad de los receptores genera frecuentes defectos (contactos deslizantes con las masas), que es interesante controlar. Cualquiera que sea el régimen de neutro, es recomendable alimentar estos circuitos con transformadores con puesta a neutro local.  
 (12) Necesita el empleo de transformadores con puesta a neutro local, para evitar los riesgos de funcionamiento o arranque intempestivo al primer defecto (TT) o al segundo defecto e (IT).  
 (12 bis) Con doble interrupción del circuito de mando.

Fuente: fotosdeelectricidad.es>2014/10>bloque-3 (2014)

**Tabla 2.12 En función de características diversas**

En función de las características diversas				
Descripción		Aconsejable	Posible	Desaconsejable
Alimentaciones con transformadores de potencia estrella-estrella (13)		TT	IT sin neutro	TN (13) IT con neutro
Locales con riesgo de incendio		IT (15) TT (15)	TN-S (15)	TN-C (14)
Incremento de la alimentación de un abonado en BT, necesitando un CT particular		TT (16)		
Establecimiento con modificaciones constantes		TT (17)		TN (18) IT (18)
Instalación con pocas garantías en la continuidad del circuito de tierra (canteras, instalaciones antiguas)		TT (19)	TN-S	TN-C IT (19)
Equipamientos electrónicos (calculadoras, autómatas programables)		TN-S	TT	TN-C
Redes de control y mando de máquinas y captadores de señales para autómatas programables		IT (20)	TN-S TT	

(13) Limitación muy importante de la corriente fase/neutro en relación al valor muy elevado de la impedancia homopolar; al menos 4 o 5 veces la impedancia directa. Este esquema se reemplaza con uno de estrella triángulo.  
 (14) Las fuertes corrientes de fuga (cortocircuito) son peligrosas: el TNC es incorrecto.  
 (15) Cualquiera que sea el régimen, utilización de interruptores diferenciales residuales DIF < 500 mA.  
 (16) Una instalación alimentada en BT, obligatoriamente se alimenta en régimen TT. Mantener este régimen de neutro representa el mínimo de modificaciones.  
 (17) Posible sin personal de mantenimiento muy competente.  
 (18) De todas las instalaciones es la que precisa mayor seriedad en el mantenimiento de la seguridad. La ausencia de medidas preventivas a la puesta a neutro exige un personal muy competente para asegurar la seguridad a lo largo del tiempo.  
 (19) El riesgo del corte de los conductores (alimentación y protección) mantiene de forma aleatoria la equipotencialidad de las masas. El REBT obliga a la utilización de interruptores diferenciales DDR 30 mA. El régimen IT es utilizable en casos particulares.  
 (20) Esta solución evita la aparición de órdenes intempestivos en el caso de fugas a tierra.

Fuente: fotosdeelectricidad.es>2014/10>bloque-3 (2014)

### 2.4.5. Comparación de las diferentes formas de red

*Tabla 2.13 Comparación de las diferentes formas de red*

Forma de red	Ventajas	Inconvenientes
Tensión pequeña de protección/ función (SELV o PELV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>No hay potencial de riesgo al contacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potencia limitada en uso económico de los medios operativos</li> <li>Exigencias especiales a los circuitos de corriente</li> </ul>
Aislamiento de protección	<ul style="list-style-type: none"> <li>Máximo nivel de seguridad</li> <li>Combinables con otras formas de red</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Doble aislamiento de los medios operativos</li> <li>Sólo rentable en pequeños consumidores</li> <li>En consumidores térmicos peligro de incendio por los materiales aislantes</li> </ul>
Sistema IT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compatibilidad electromagnética</li> <li>Gran disponibilidad: el 1º fallo sólo se avisa, el 2º fallo desconecta</li> <li>Reducida corriente de derivación a tierra en pequeñas redes</li> <li>Reducida influencia sobre redes, vecinas, por eso facilidad para instalaciones de toma de tierra</li> <li>Costes reducidos para cables y conductores tendidos</li> <li>Fácil localización del lugar de fallos con los equipos adecuados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los medios operativos tienen que estar aislados para la tensión entre los conductores exteriores</li> <li>Necesario equipo de protección contra sobre-corriente para conductor N</li> <li>Posibles problemas de desconexión en la segunda derivación a tierra</li> </ul>
Sistema TT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compatibilidad electromagnética</li> <li>Medida de protección independiente de la potencia de cortocircuito de red</li> <li>Costes reducidos para cables y conductores tendidos</li> <li>Tensión de contacto distinta admisible para diversos sectores</li> <li>Combinable con la red TN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido al uso de RCDs sólo son posibles para reducidas potencias</li> <li>Necesaria prueba regular de funciones</li> <li>Costosa puesta a tierra de servicio (<math>\leq 2 \Omega</math>)</li> <li>Obligatoria compensación de potencial para cada edificio</li> </ul>
Sistema TN-C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muy fácil de instalar</li> <li>Poco gastos de material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No compatible electro-magnético + A causa de corrientes de dispersión y campos magnéticos de baja frecuencia no es apropiado para edificios con equipos informáticos</li> <li>Peligro para la vida en caso de rotura del PEN</li> <li>Mayor riesgo de incendios causados por electricidad</li> </ul>
Sistema TN-C-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compromiso muy económico para edificios sin tecnología informática.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No compatibilidad electromagnética</li> <li>Posibilidad de campos magnéticos de baja frecuencia</li> </ul>
Sistema TN-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compatibilidad electromagnética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poca elevación de tensión en fases sanas</li> <li>Aumento de gastos en la técnica de protección en caso de alimentaciones múltiples situadas lejanas</li> <li>Riesgo de toma de tierra múltiple no consciente</li> </ul>

Fuente: Bender (s.f.)

### 2.4.6. Vigilantes de aislamiento

Según la norma DIN VDE 0100-410 o respectivamente IEC 60364-4-41, los vigilantes de aislamiento son elementos integrantes imprescindibles en suministros de corriente aislados de tierra (sistemas IT) para detectar y avisar de un primer fallo entre una parte activa y un cuerpo o contra tierra.

Según DIN VDE 0100-410:

Hay que prever un dispositivo de vigilancia de aislamiento, con el cual se visualiza e indica el primer fallo existente entre una parte activa y un cuerpo, o contra tierra, mediante una señal acústica y/o una señal óptica.

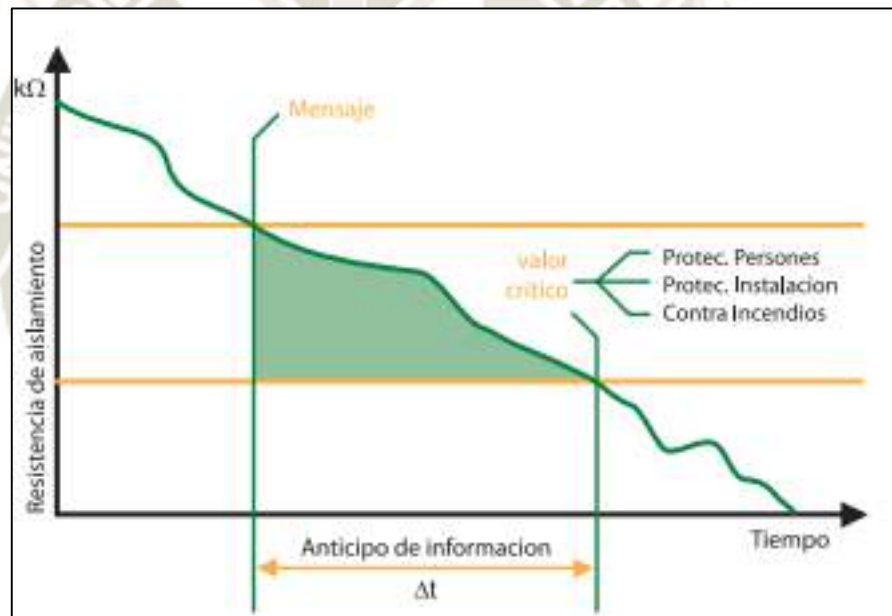
Observación 1: Se recomienda subsanar el primer fallo lo más pronto posible.

Observación 2: Un dispositivo de vigilancia de aislamiento puede ser necesario también por razones que no afecten a la protección en caso de contacto indirecto.

Según IEC 60364-4-41:

Un vigilante de aislamiento debe estar diseñado para indicar un primer fallo de aislamiento, y debe generar una alarma acústica o una señal visible. (Bender, s.f.)

**Figura 2.29 Avance de información mediante la vigilancia del aislamiento en sistemas IT**



Fuente: Bender (s.f.)

#### 2.4.6.1. Principio de funcionamiento de un vigilante de aislamiento

El vigilante de aislamiento se conecta entre el conductor activo de red y tierra, y superpone a la red una tensión de medida  $U_m$ . Al presentarse un fallo de aislamiento se cierra el circuito de medida entre la red y tierra a través del fallo de aislamiento  $R_f$ , de manera que se ajusta una corriente de medida  $I_m$  proporcional al fallo de

aislamiento. Esta corriente de medida genera en la resistencia de medida  $R_m$  una caída de tensión proporcional, que es evaluada por la electrónica del aparato. Si esta caída de tensión sobrepasa un valor determinado preajustado que es equivalente a la caída de una determinada resistencia de aislamiento, se produce una alarma. Las exigencias detalladas y concretas que se plantean al vigilante de aislamiento se detallan en la norma DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8): 1997-10. Gracias al vigilante de aislamiento, el usuario de la instalación dispone de la necesaria antelación en la información para iniciar a tiempo las medidas adecuadas de mantenimiento planificadas.

Según DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8) tiene validez lo siguiente: los aparatos de vigilancia de aislamiento, y en conformidad con su principio de medida prefijado, tienen que estar en situación de vigilar y detectar deterioros, tanto simétricos como asimétricos del aislamiento.

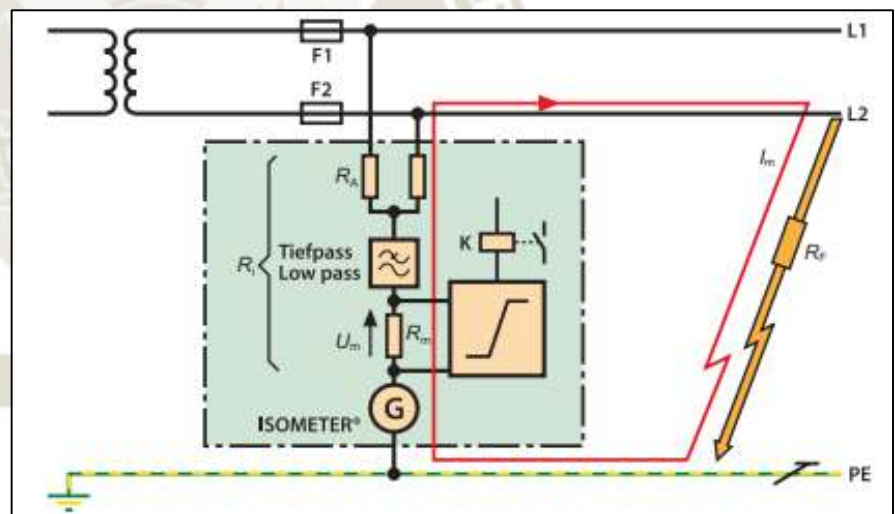
Observaciones:

- Hay un deterioro simétrico del aislamiento cuando la resistencia de aislamiento de todos los conductores de la red a vigilar se reduce en la misma medida (aproximadamente). Un deterioro asimétrico del aislamiento tiene lugar cuando la resistencia de aislamiento, por ejemplo, de un conductor, se deteriora considerablemente más que la de los restantes conductores.
- Los denominados relés de vigilancia de derivación a tierra, que sirven como único criterio de medida para la tensión de asimetría que se origina al producirse una derivación a tierra, no son vigilantes de aislamiento en el sentido de esta norma.
- Bajo condiciones especiales de red, para cumplir la tarea de vigilancia, pudiera ser necesario disponer de una combinación

de varios procedimientos de medida, incluida la vigilancia de la asimetría.

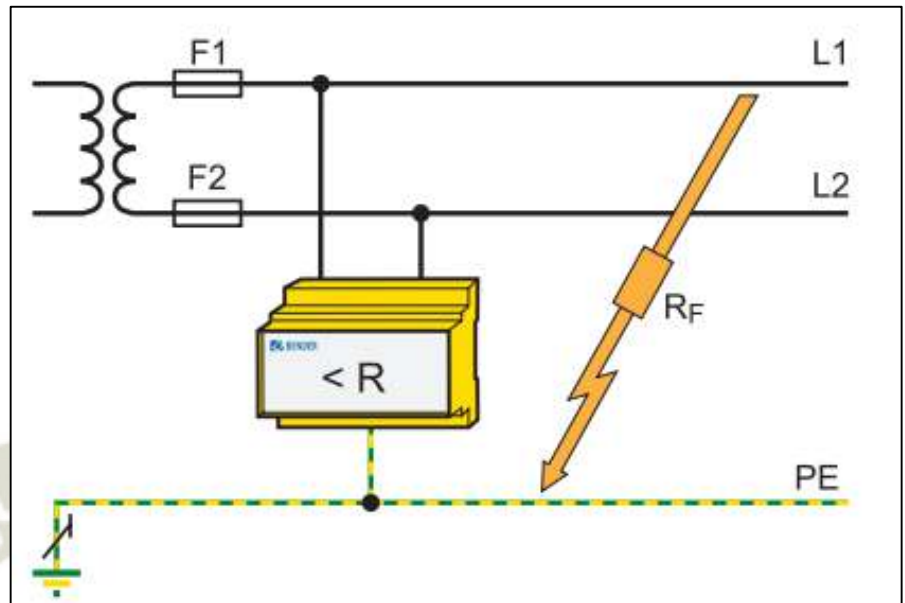
Observación: los fallos simétricos de aislamiento se producen con frecuencia en redes de tensión continua o en circuitos de corriente de mando. Si el valor de la resistencia de ambos fallos de aislamiento es aproximadamente igual, entonces los aparatos de vigilancia del aislamiento, cuyo funcionamiento se basa en el principio de medida de la tensión de superposición, no podrán registrar estos fallos de aislamiento. Por eso, la norma IEC 61557-8, o respectivamente la DIN 61557-8 (VDE 0413-2) exige la utilización de vigilantes de aislamiento que midan activamente. (Bender, s.f.)

**Figura 2.30 Principio de funcionamiento de un aparato de vigilancia del aislamiento**



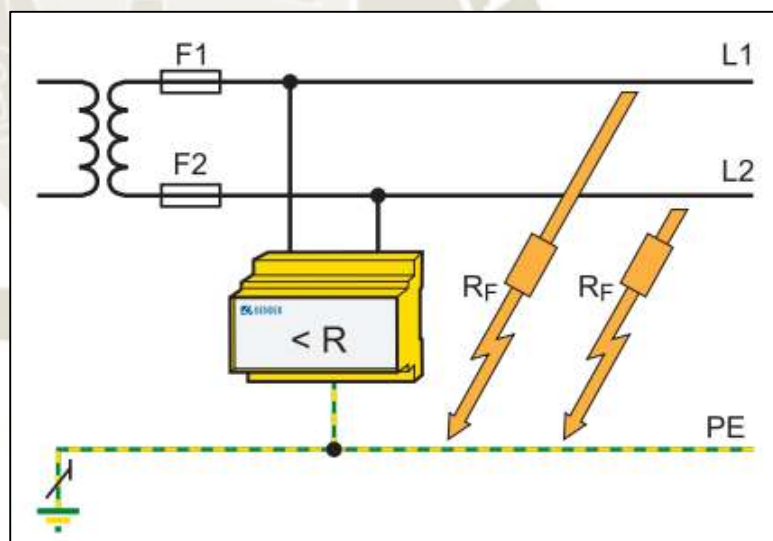
Fuente: Bender (s.f.)

*Figura 2.31 Fallo de aislamiento simétrico*



Fuente: Bender (s.f.)

*Figura 2.32 Fallo de aislamiento asimétrico*



Fuente: Bender (s.f.)

## 2.4.6.2. Procedimientos de medida

### 2.4.6.2.1. “Superposición de tensión continua de medida”

Un procedimiento de medida muy utilizado es la superposición de una tensión continua de medida entre el conductor de red y el conductor de protección.

Este procedimiento de medida es apropiado para la vigilancia de sistemas clásicos de AC, 3(N)AC, por ejemplo, motores. Si este procedimiento de medida se utiliza en sistemas AC o respectivamente 3(N)AC en los que se encuentran componentes de corriente continua unidos galvánicamente, estas corrientes continuas dan lugar al falseamiento de los resultados de la medición, es decir, los fallos de aislamiento en el lado de la tensión continua se avisan con una sensibilidad de respuesta intensificada. Las capacidades de derivación de red  $C_e$ , existentes en la red, se cargan simplemente sobre la tensión de medida y no influyen sobre la medida, una vez transcurrido un breve proceso de estabilización. (Bender, s.f.)

### 2.4.6.2.2. Procedimiento de medida “AMP”











El procedimiento de medida AMP, patentado por bender, se basa en una tensión de medida, con una cadencia especial, que es controlada por un micro-controlador, y que se adapta automáticamente a las características existentes en la red. Con la evaluación, apoyada por software, se diferencia entre las partes proporcionales de corriente de derivación de red, que aparecen como magnitudes de perturbación en el circuito de evaluación, y las magnitudes de medida proporcionales a la resistencia de aislamiento óhmica. De este modo, las influencias de perturbación de banda ancha, como se originan por ejemplo en el servicio de convertidores, no tienen ninguna influencia negativa sobre la determinación exacta de la resistencia de aislamiento.

En el procedimiento de medida AMP-Plus, se ha mejorado, aún más, la supresión de interferencias. Los aparatos con este procedimiento de medida son utilizables, de manera universal, en las redes AC, DC, AC/DC, por ejemplo, en redes con variaciones de tensión o frecuencia, en redes con elevadas capacidades de derivación de red o con partes de tensión continua. Con ello cumplen las condiciones de uso requeridas por las modernas redes de distribución, en las que, por lo regular, se encuentran estas magnitudes de perturbación (convertidores, compatibilidad electromagnética). (Bender, s.f.)

#### **2.4.6.2.3. Resumen del procedimiento de medida**

Entre el sistema IT y su estructura, sus componentes y el procedimiento de medida del aparato de vigilancia de aislamiento, existe una relación e interacción directa. Conocer el procedimiento de medida con el que trabaja el aparato de vigilancia de aislamiento, es, por ello, decisivo y esencial a la hora de efectuar el proyecto. La tabla siguiente muestra la selección del procedimiento de medida, teniendo en consideración los parámetros de la red. (Bender, s.f.)

**Tabla 2.14 Elección del procedimiento de medida y de los componentes de la red**

Forma de red	Generación	Observaciones	Procedimiento de medida
Red AC pura 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transformador</li> <li>Generador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 fase</li> <li>3 fases</li> </ul>	
Red DC 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Batería</li> <li>Rectificador</li> <li>Célula solar</li> <li>Célula de combustible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sin parte AC</li> <li>Con parte AC desconectada, conectada o rectificador de varias vías</li> </ul>	
Red AC con componentes DC 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transformador</li> <li>Generador con rectificadores unidos galvánicamente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 fase</li> <li>3 fases</li> </ul>	
Red AC con elementos de mando electrónicos 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiristor</li> <li>Triac</li> <li>GTOs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gran contenido de armónicos</li> <li>Componentes DC</li> </ul>	
Red AC con elementos de mando electrónicos 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Convertidor de frecuencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amplia gama de frecuencias</li> <li>Componentes DC</li> </ul>	

Fuente: Bender (s.f.)



**CAPÍTULO III**  
**DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL**  
**MODULO**

### 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO

#### 3.1. COMPOSICIÓN

##### 3.1.1. TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

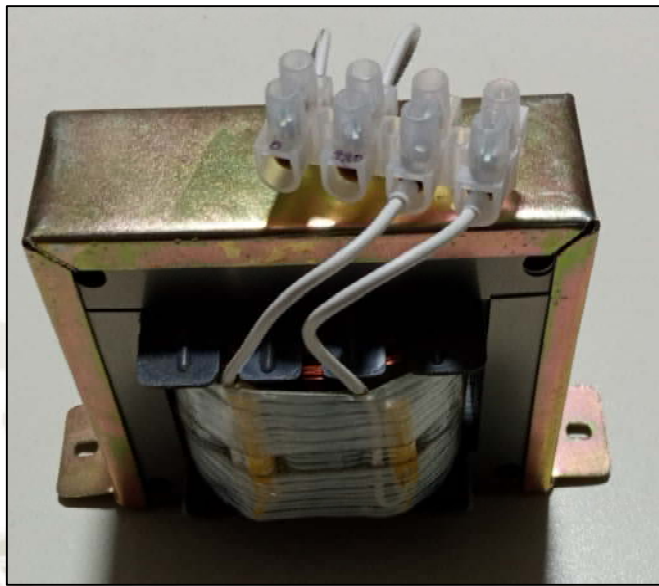
La definición se aplica a cualquier transformador donde no hay conexión directa entre los devanados primario y secundario. Los devanados se conectan sólo por el flujo magnético en el núcleo.

Sin embargo, cuando sólo hay una separación básica entre los devanados primarios y secundarios, hablaremos de transformador de separación. El aislamiento entre los devanados primario y secundario proporciona un grado de protección contra el choque eléctrico que es equivalente a un aislamiento básico.

El aislamiento básico es el aislamiento requerido para asegurar la operación apropiada del equipo de las instalaciones eléctricas y para la protección fundamental contra el choque eléctrico.

Esta separación limitará los riesgos en el caso de contacto simultáneo accidental con la parte conductiva expuesta y las partes vivas o partes metálicas que pueden llegar a ser vivas en el evento de un fallo de aislamiento. (Potter, 2011)

*Figura 3.1 transformador de aislamiento*



Fuente: propia

### 3.1.2. AUTOTRANSFORMADOR

Es una máquina eléctrica de construcción y características similares a las de un transformador, pero que, a diferencia de éste, sólo posee un único devanado alrededor del núcleo. Dicho devanado debe tener al menos tres puntos de conexión eléctrica, la de tensión y la carga se conectan a dos de las tomas, mientras que una toma (la del extremo del devanado) es una conexión común a ambos circuitos eléctricos (fuente y carga). Cada toma corresponde a una tensión diferente de la fuente (o de la carga, dependiendo del caso). (Rengifo & Alvarez, 2011)

*Figura 3.2 autotransformador*

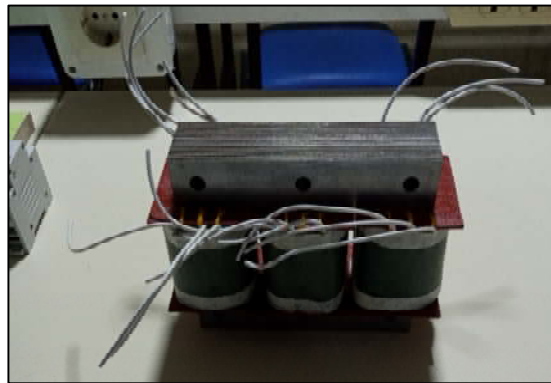


Fuente: propia

### 3.1.3. TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

Un transformador trifásico se compone esencialmente de tres transformadores monofásicos con sus tres núcleos formando un solo conjunto. Para los circuitos trifásicos se consigue una gran economía, tanto en costo como en espacio ocupado, y se utiliza un solo transformador trifásico en lugar de tres monofásicos. Los inconvenientes principales del transformador trifásico consisten en que cualquier avería en el arrollamiento de una fase deja todo el transformador fuera de servicio, y también en que la reparación es más costosa. (Lino Carpio, 2017)

*Figura 3.3 transformador trifásico*

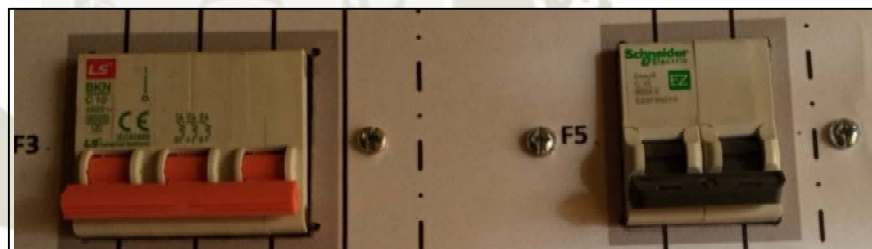


Fuente: propia

### 3.1.4. ELEMENTOS DE CONTROL

#### 3.1.4.1. Interruptor termomagnético automático.

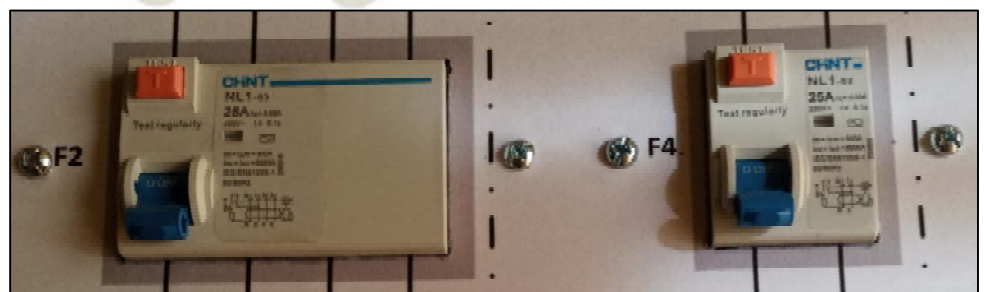
*Figura 3.4 Interruptor termomagnético tripolar y bipolar*



Fuente: Elaboración propia

#### 3.1.4.2. Interruptor diferencial automático.

*Figura 3.5 Interruptor diferencial tetrapolar y bipolar*



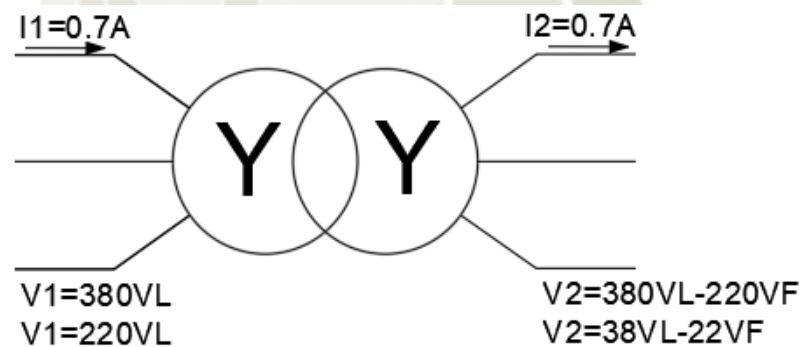
Fuente: Elaboración propia

### 3.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DIDÁCTICO DE ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN TT, IT, TN

#### 3.2.1. DISEÑO DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

##### CONSIDERACIONES:

- Este transformador simulará una subestación que alimentará (secundario) cargas en baja tensión con opción de conexión del neutro. Se trabajará con voltajes de 380V línea-línea y 220V línea neutro, y para algunos ensayos de laboratorio se trabajará con voltajes reducidos (por seguridad) de 38V línea-línea y 22V línea-neutro es decir trabajamos a una escala de 1:10.
- El transformador simula una subestación y también sirve de transformador de aislamiento para trabajar en el módulo didáctico aislado de problemas con la red.
- El lado primario tendrá la opción de trabajar con alimentación a 380V línea-línea o 220V línea-línea.



- Consideraremos una corriente de 0.7A tanto para el lado primario (380VL-220VL) como para el secundario (380VL-38VL) puesto que este valor de corriente es más que suficiente para nuestros ensayos de laboratorio que no superan los 0.1A y dando opción a utilizar el transformador en otros tipos de ensayos.

Potencia del transformador trifásico:

$$Pa = \sqrt{3} * 380V * 0.7A$$

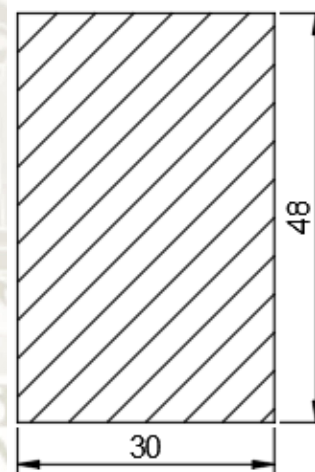
$$Pa = 460VA$$

- Cálculo de la sección de cada columna del núcleo trifásico:  
Actualmente no existe un criterio unificado para el diseño de transformadores trifásicos de baja potencia y para este caso no tomaremos los cálculos del texto “transformadores” del Ing. Francisco L. Singer por ser criterios antiguos, en su lugar tomaremos los criterios dados en la tesis “implementación de un módulo didáctico de transformadores trifásicos de 3KVA, para conexiones especiales” del tesista Alexander Lino Carpio para obtener el título de Ing. Mecánico Eléctricista en la Universidad Católica de Santa María de Arequipa-Perú en el 2017.

$$Sección = 1.15 \sqrt{\frac{Pa}{3}} = 1.15 \sqrt{\frac{460}{3}}$$

$$Sección = 14.24cm^2$$

Tomaremos una sección rectangular de:

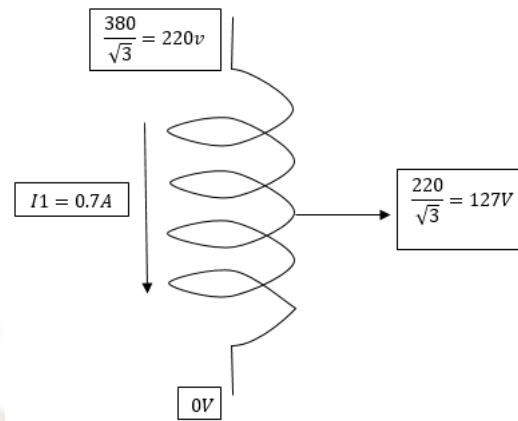


$$S_n = 4.8 * 3$$

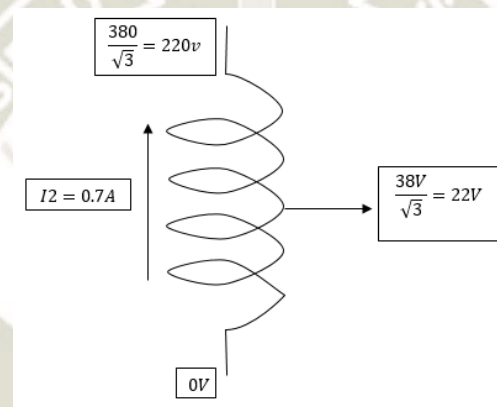
$$S_n = 14.4cm^2$$

- Dimensionado de los bobinados:  
Para realizar el cálculo se va a trabajar con voltajes y corrientes de fase y las conexiones del primario y secundario son en estrella, por tanto:

Primario.



Secundario.



Cálculo de bobinado de 380VLínea (220Vfase)

$$N1 = \frac{V_{fase} * 10^8}{4.44 * f * S_n * 0.9 * B}$$

$$V_{fase} = \frac{380V}{\sqrt{3}} = 220V$$

$$F = 60Hz$$

$$S_n = 14.4cm^2$$

$$0.9 = \text{Factor de apilamiento}$$

B = Máxima inducción en el núcleo de hierro y para nuestro caso tomaremos 12000 Gauss por el transformador pequeño y núcleo nuevo.

$$N1 = \frac{220 * 10^8}{4.44 * 60 * 14.4 * 0.9 * 12000}$$

$$N1 = 531 \text{ espiras}$$

Un método de cálculo trabaja bajo el concepto de las espiras/voltio, este valor se obtiene al calcular un valor de espiras de una bobina y para nuestro caso es:  $531 \text{ espiras} / 220 \text{ V} = 2.414$  y este valor es constante para las demás bobinas, entonces tenemos.

Bobinado de 127V:

$$N_2 = 2.414 \frac{\text{espiras}}{\text{voltio}} * 127 \text{ V} = 306.5 = 307 \text{ espiras}$$

Bobinado de 22V:

$$N_3 = 2.414 \frac{\text{espiras}}{\text{voltio}} * 22 \text{ V} = 53 \text{ espiras}$$

- Calibre del alambre:

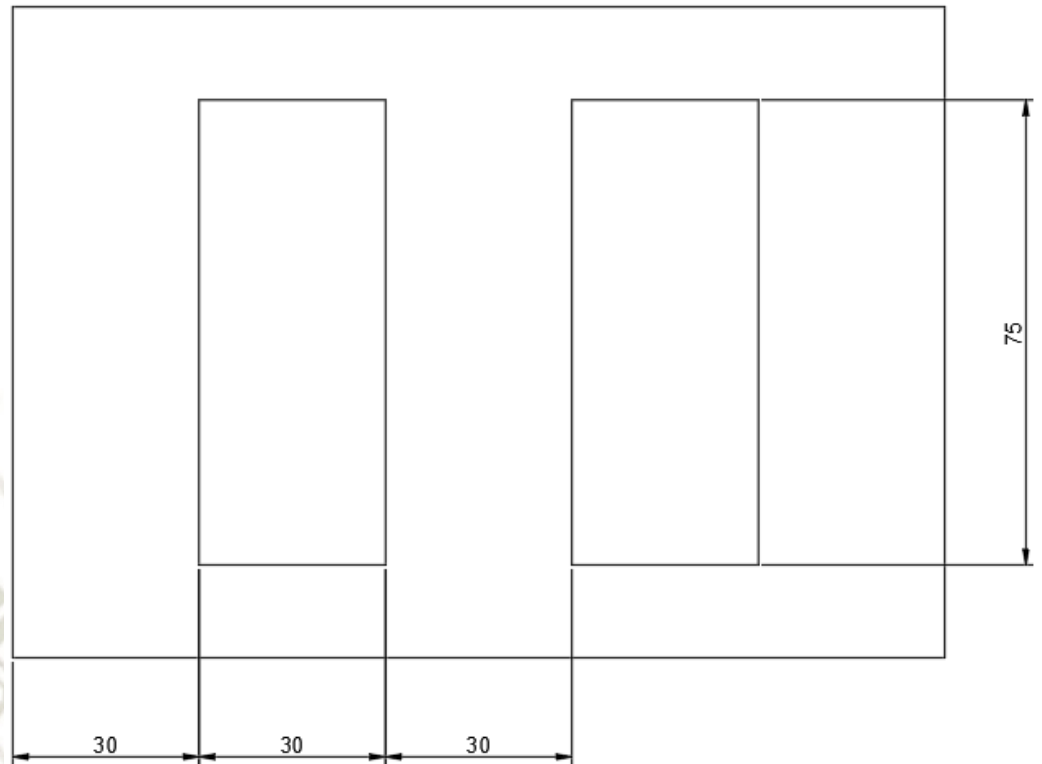
Se va a considerar una densidad de corriente de  $J=2 \text{ A/mm}^2$  tomando en cuenta que el transformador trabajará en forma intermitente ya que se utilizará en un equipo didáctico.

$$\text{Sección del alambre} = \frac{0.7 \text{ A}}{2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}} = 0.35 \text{ mm}$$

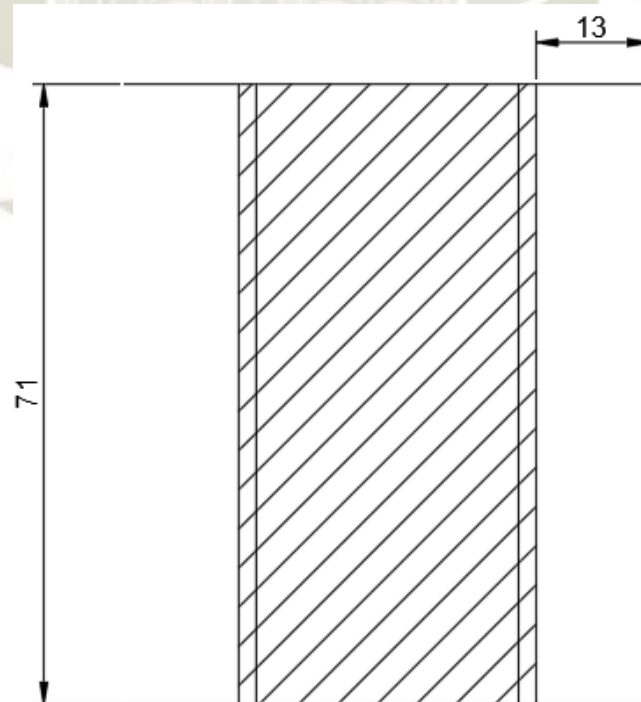
Que corresponde a un alambre AWG #22

- Cálculo de dimensiones del bobinado:

Sirve para saber si el bobinado calculado entrara en la ventana del núcleo trifásico.



Se fabricarán carretes con cartón presspan de 1mm de espesor y debe recordarse que el bobinado por columna solo podrá ocupar la mitad de la ventana como máximo.



Consideramos un espesor de paredes del carrete de 2mm en total.

Alambre AWG #22 de diámetro con aislante=0.714mm

$$\text{espiras por capa} = \frac{71\text{mm}}{0.714\text{mm}} = 99.4 = \frac{99\text{espiras}}{\text{capa}}$$

$$\text{número de capas} = \frac{531\text{espiras totales}}{99 \frac{\text{espiras}}{\text{capa}}} = 5.36 = 6\text{capas}$$

$$\text{altura del bobinado} = 6\text{capas} * 0.714\text{mm} = 4.284\text{mm}$$

$$\text{aislamiento entre capas} = 6 * 0.15 = 0.9\text{mm}$$

Nota: se usa papel pescado de 0.15mm

Entre la altura del bobinado y el aislamiento entre capas tenemos un sub total de:

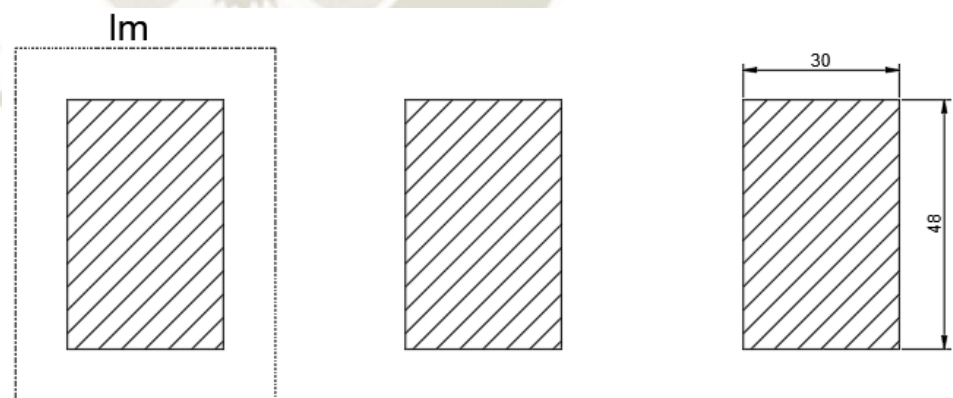
$$4.284 + 0.9 = 5.18$$

Considerando un 10% más por apilamiento, entonces tenemos:

$$1.1 * 5.18 = \frac{5.7\text{mm}}{\text{bobinado primario}}$$

Como el bobinado secundario es igual, entonces su altura de bobina también será 5.7mm y la altura total del bobinado es  $2 * 5.7 = 11.4\text{mm}$  y disponemos de 13mm, entonces no hay problema.

- Peso del cobre:



$$lm = (3\text{cm} + 1.3) * 2 + (4.8 + 1.3) * 2 = 20.8\text{cm}$$

$$\text{Longitud total del bobinado primario + secundario} = 20.8 * (531\text{esp}) * 2 = 22089.6\text{cm} = 0.221\text{km}$$

Alambre AWG #22

$$peso = \frac{2.965kgr}{km} * 0.221 = \frac{0.65kgr}{columna}$$

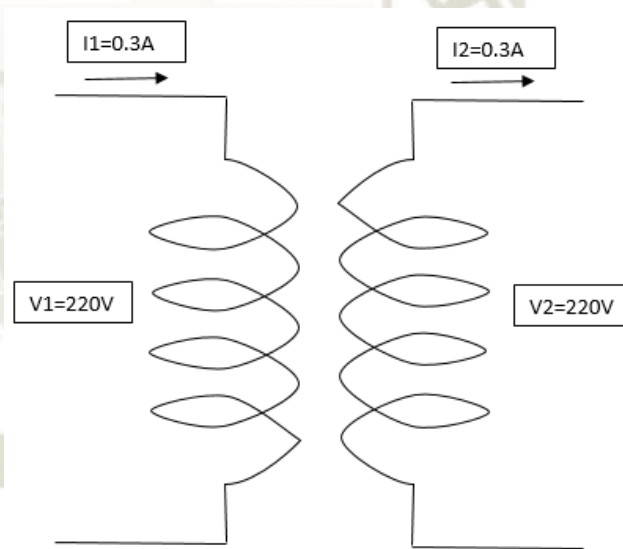
Total:

$$3 * 0.65 = 1.95kgr$$

### 3.2.2. DISEÑO DE TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO 220/220V

Considerando que este transformador se utilizará en los ensayos de laboratorio de “separación galvánica” y que las corrientes de ensayo serán alrededor de 30-100mA, tomaremos como corriente de diseño 300mA (0.3A). se sobredimensiona porque este transformador será utilizado en un módulo didáctico y los alumnos pueden cometer errores y generar malas conexiones y al sobredimensionar protegemos el equipo.

Resumiendo:



$$Pa = 220V * 0.3 = 66VA$$

Para el diseño del transformador se tomará los cálculos del libro “transformadores” autor: Ing. Francisco L. Singer para el caso de transformadores muy pequeños (menores a 1KVA).

- Sección del núcleo.

$$S = 1.5 * \sqrt{Pa}$$

$$S = 1.5 * \sqrt{66} = 12.18cm^2$$

Tomando un núcleo acorazado de sección central cuadrada tenemos por lado igual a:  $\sqrt{12.18} = 3.48\text{cm}$  que en pulgadas es igual a:  $\frac{3.48}{2.54} = 1.37''$ .

Comercialmente disponemos de núcleos de 1.25'', seleccionamos a menos porque este transformador será de uso intermitente (sólo en algunos laboratorios).

- Cálculo de número de espiras del primario.

$$N1 = \frac{V1 * 10^8}{4.44 * f * S * 0.9 * B}$$

V1 = voltaje primario, en nuestro caso 220V.

F = frecuencia de funcionamiento 60Hz.

S = sección del núcleo central.

$$1.25'' * 2.54 = 3.175\text{cm}$$

$$S = (3.175)^2 = 10.08\text{cm}^2$$

0.9 = factor de apilamiento.

4.44 = constante según las unidades utilizadas.

B = máxima inducción en el hierro, en nuestro caso núcleo comercial (Fe+Si) nuevo de grano no orientado= 12000Gauss.

$$N1 = \frac{220 * 10^8}{4.44 * 60 * 10.08 * 0.9 * 12000} = 758.58 = 759\text{espiras}$$

- Cálculo de número de espiras del secundario

Considerando que es un transformador de aislamiento y el secundario es a 220V, este también tendrá 759 espiras.

- Cálculo del calibre del alambre esmaltado a utilizar.

Tomando en cuenta que el transformador será de uso intermitente (solo en algunas experiencias de laboratorio) seremos un poco flexibles en elegir la densidad de corriente del cobre, y lo tomaremos a 2.3A/mm<sup>2</sup>.

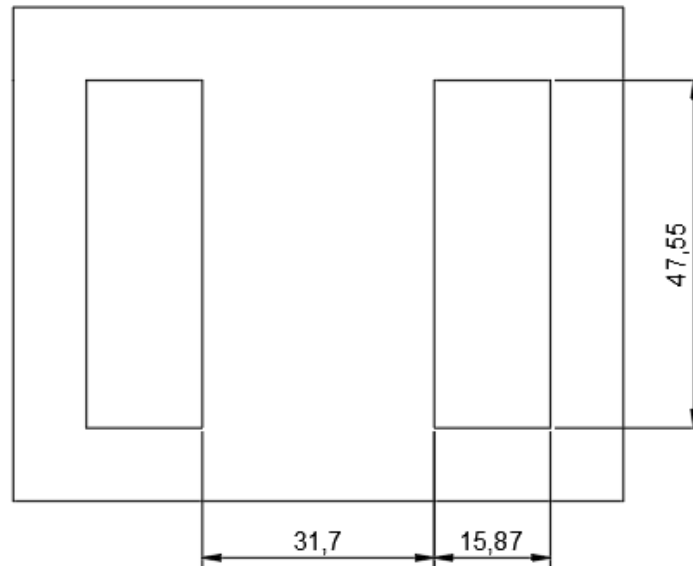
$$\text{alambre} \rightarrow \frac{0.3A}{\frac{2.3A}{\text{mm}^2}} = 0.13\text{mm}^2$$

Que corresponde a un alambre AWG #26

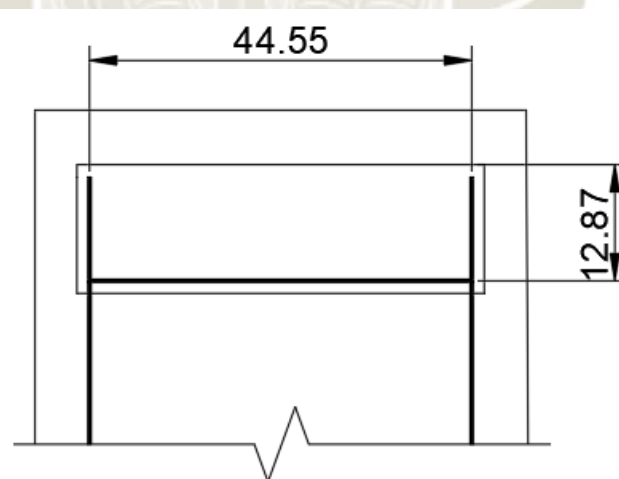
Por tanto, primario y secundario serán con alambre AWG #26

- Cálculo de dimensiones del bobinado.

Siempre es recomendable realizar este cálculo porque de esa manera podemos ver si el bobinado cabe en la ventana del núcleo o de lo contrario tenemos que rehacer el cálculo.



- Cálculo del área útil de la ventana al descartar el carrete de espesor de 3mm.



Alambre AWG #26 con diámetro nominal  $d_e = 0.404\text{mm}$  y diámetro con aislante  $= 0.462\text{mm}$ .

$$\text{Calculamos espesor por capa} \rightarrow \frac{44.55 \text{ mm}}{0.462} = 96.4 = \frac{96 \text{ esp}}{\text{capa}}$$

$$\text{Calculamos número de capas} \rightarrow \frac{N1}{\text{esp} * \text{capa}} = \frac{759}{96} = 7.9 = 8 \text{ capas}$$

$$\text{Espesor de bobinado} = 8 \text{ capas} * 0.462 = 3.69 \text{ mm}$$

$$\text{Aislamiento entre capas} = 8 * 0.15 \text{ mm} = 1.2 \text{ mm}$$

(papel de 0.15mm)

$$\text{Haciendo un subtotal de: } 3.69 + 1.2 = 4.89 \text{ mm}$$

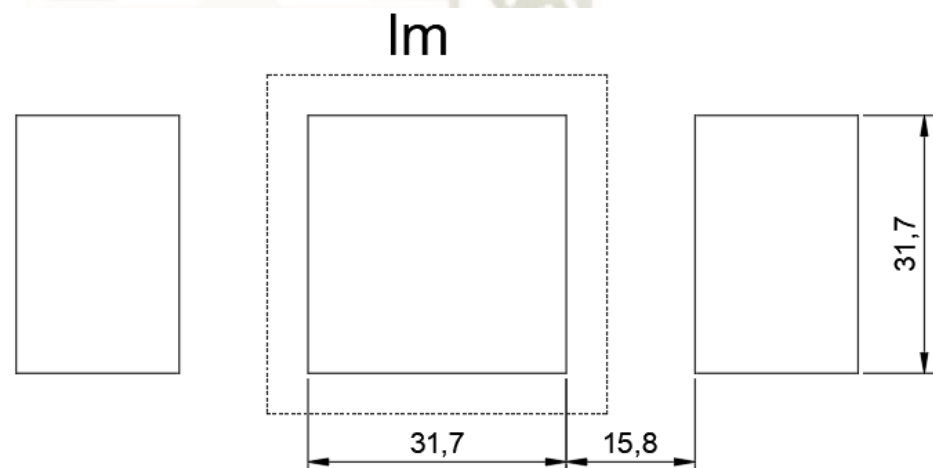
Considerando pérdida por apilamiento de 10%, tenemos:

$$\text{Total: } 1.1 * 4.89 = 5.38 \text{ mm}$$

Como ambos bobinados son iguales tenemos la suma de los dos bobinados que ocupará  $= 2 * 5.38 = 10.76 \text{ mm}$ , tenemos una ventana útil de 12.87mm, entonces nos queda una holgura de  $12.87 - 10.76 = 2.11 \text{ mm}$  (bobinado si entra).

- Peso aproximado de cobre.

Se considerará ambas bobinas por ser del mismo calibre.



$$lm = \text{longitud de la espira media} = 4 * (3.17 * 1.58)$$

$$lm = \frac{19 \text{ cm}}{\text{espira}}$$

por bobinado tenemos  $\rightarrow 759 \text{ espiras}$

$$\text{total} = 2 * 759 \text{ espiras} = 1518 \text{ espiras}$$

$$\text{longitud total de los bobinados} \rightarrow \frac{19 \text{ cm}}{\text{esp}} * 1518 \text{ esp}$$

$$= 28842 \text{ cm} = 0.28842 \text{ km}$$

alambre AWG #26  $\rightarrow 1.18 \text{ Kgr/Km}$

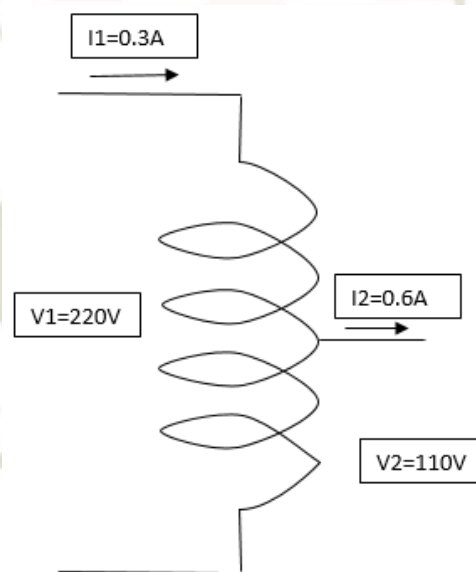
$$\text{peso del bobinado} \rightarrow \frac{1.18\text{kg}}{\text{km}} * 0.28842 = 0.34\text{kg} = 340\text{gr}$$

### 3.2.3. DISEÑO DE AUTOTRANSFORMADOR 220/110V

Considerando que en un autotransformador la potencia que se transfiere de primario a secundario lo hace por “conducción” y por “inducción” y que solo la potencia por “inducción” hace uso del núcleo y esto depende de la relación de transformación, tenemos:

- Potencia del autotransformador:

Como las corrientes de ensayo no superarán los 100mA, y considerando que se utilizará en un equipo didáctico que es susceptible de errores por los alumnos, por seguridad tomaremos una corriente de 300mA.



Potencia de autotransformador:

$$S = 220 * 0.3 = 66VA$$

La potencia que hará uso del núcleo será:

$$PN = \frac{220V - 110V}{220V} * 66 = 33VA$$

Según el libro “transformadores” del autor: Ing. Francisco L. Singer, tenemos.

Sección del núcleo:

$$S = 1.2 * \sqrt{PN}$$

$$S = 1.2 * \sqrt{33} = 6.89cm^2$$

Sección cuadrada del núcleo acorazado  $\rightarrow \sqrt{6.89} = 2.62cm$

Convirtiendo en pulgadas tenemos  $\rightarrow \frac{2.62cm}{2.54cm} = 1.03''$

Consideremos un núcleo comercial de sección cuadrada de 1.0pulgadas por lado.

- Espesor del bobinado.

Calculando la tensión específica:

$$Ve = 0.03\sqrt{PN}$$

$$Ve = 0.03\sqrt{33} = \frac{0.172V}{esp}$$

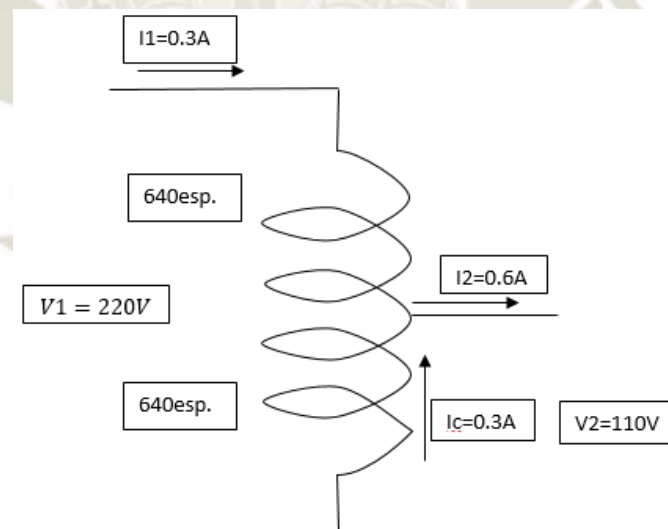
Número total de espiras del bobinado para el lado de 220V.

$$N_{220} = \frac{220V}{\frac{0.172V}{esp}} = 1279.06 = 1280esp.$$

Numero de espiras del bobinado para el lado de 110V.

$$N_{110} = \frac{1280}{2} = 640esp.$$

Tenemos:



Notamos que por condiciones de la relación de transformación ambos bobinados conducirán el mismo valor de corriente por tanto todo el bobinado será del mismo calibre.

- Calibre del alambre.

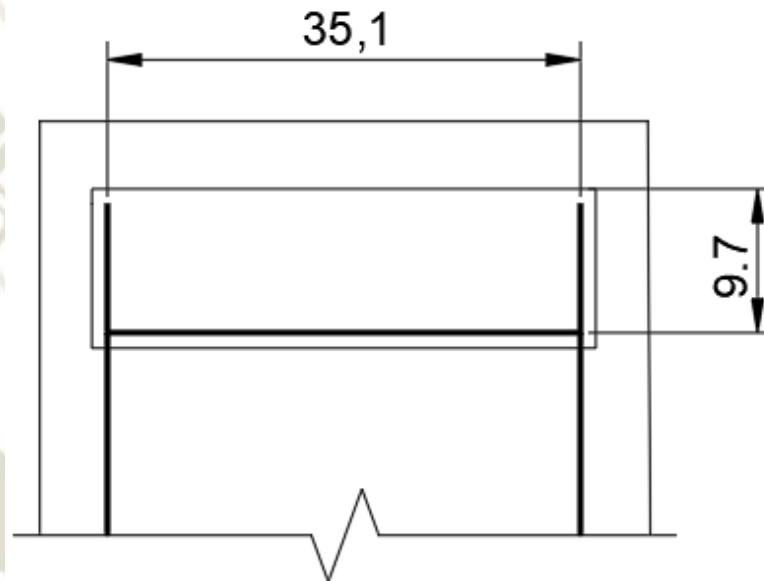
Consideramos una densidad de corriente de  $2.5A/mm^2$  debido a que el autotransformador se utilizará en forma intermitente, solo en algunas experiencias de laboratorio.

$$\text{Sección del cobre} \rightarrow \frac{0.3A}{\frac{2.5A}{mm^2}} = 0.12mm^2$$

Calibre del alambre AWG #27

- Cálculo de las dimensiones del bobinado.

Dimensiones útiles de la ventana del núcleo sin considerar carrete (3mm de espesor).



Alambre AWG #27  $\rightarrow$  diámetro con esmalte =  $0.41mm$

$$\text{Espiras por capa} \rightarrow \frac{35.1mm}{0.41} = 85.6 = \frac{85esp}{capa}$$

$$\text{Numero de capas} \rightarrow \frac{1280esp}{\frac{85esp}{capa}} = 15capas$$

espesor del bobinado  $\rightarrow 15capas * 0.41 = 6.15mm$

aislamiento entre capas  $\rightarrow 15 * 0.15 = 2.25mm$

(papel pescado  $0.15mm$ )

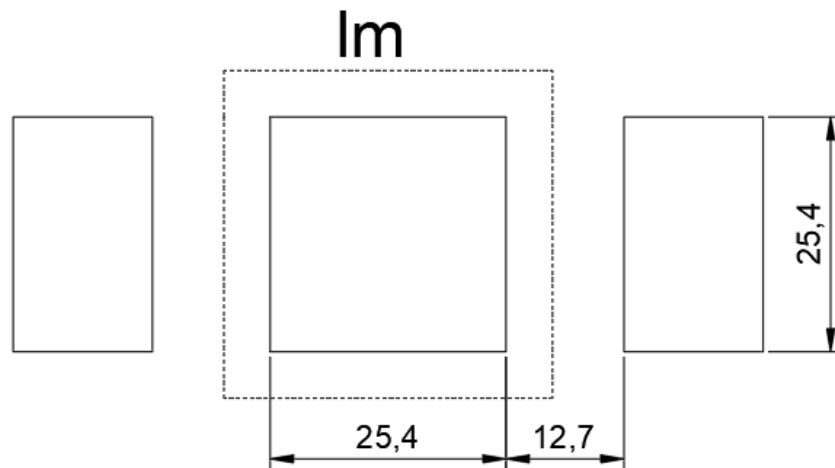
Teniendo un subtotal de  $\rightarrow 6.15 + 2.25 = 8.4mm$

por apilamiento consideramos un 10% adicional por tanto tenemos:

$$total = 8.4 * 1.1 = 9.24mm$$

Disponemos de ventana  $9.7mm$  por lo tanto el bobinado si entra.

- Peso aproximado del cobre.



$$lm = 4 * (2.54 + 1.27)$$

$$lm = \frac{15.24cm}{esp}$$

$$\text{Longitud total de la bobina} = 1280 \text{espiras} * \frac{15.24cm}{esp}$$

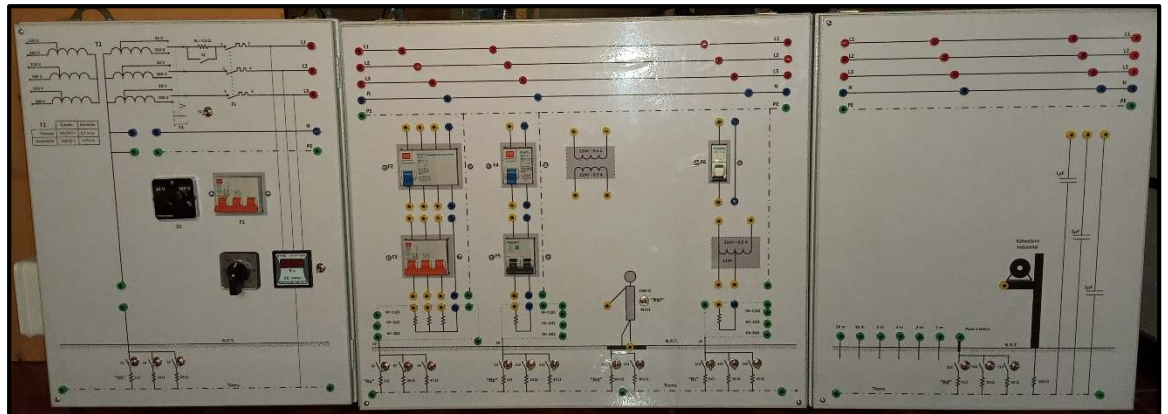
$$\text{Longitud total de la bobina} = 19507.2cm = 0.19507Km$$

$$\text{Alambre AWG \#27} \rightarrow \frac{0.939Kgr}{Km} * 0.19507Km = 0.183Kgr = 183gr$$

### 3.2.4. DISEÑO DE MODULO DIDACTICO DE ANALISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION TT, IT, TN.

En la figura 3.6 se muestra el proyecto culminado, con la disposición de los componentes y elementos como el transformador trifásico, autotransformador, transformador de aislamiento, interruptores de protección termomagnéticos y diferenciales, interruptor de levás, interruptor conmutador voltimétrico y resistencias eléctricas de potencia de diferentes valores.

**Figura 3.6** Módulo de análisis de fallas en sistemas de distribución  
*TT, IT, TN*



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.6 se muestra el proyecto del módulo didáctico culminado con la disposición y ensamble de los diferentes elementos y componentes como: el transformador trifásico, autotransformador, transformador de aislamiento, interruptores de protección termomagnética y diferencial, interruptor de levas, interruptor de conmutación voltimétrico, resistencias eléctricas de potencia, voltímetro de tablero de 0 a 500V y porta fusibles para tablero. El conexionado de los diferentes dispositivos está realizado según plano 1/6.



**CAPÍTULO IV**

**EXPERIENCIAS DE FUNCIONAMIENTO  
Y VALIDACION DE DATOS**

#### **4. EXPERIENCIAS DE FUNCIONAMIENTO Y VALIDACIÓN DE DATOS**

##### **4.1. PROCEDIMIENTO DE USO DE MODULO DIDACTICO DE ANALISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION TT, IT, TN.**

###### **4.1.1. Objetivo general**

Utilizar el módulo didáctico para hacer un análisis detallado de las diferentes fallas eléctricas que se pueden presentar en los sistemas de distribución TT, IT, TN y el riesgo eléctrico personal. Así como también verificar la respuesta del sistema frente a las fallas eléctricas.

###### **4.1.2. Objetivo específico**

Instalar correctamente un sistema de distribución TT, IT, TN, determinar circuito y corriente de falla en sistemas de distribución TT, IT, TN y sus variantes.

###### **4.1.3. Material y equipo**

- Módulo didáctico de análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN.
- Multímetros digitales
- Cables de conexión

###### **4.1.4. Energización**

- Verificar que el interruptor principal termomagnético F1 este presentando el estado de inactivo.
- Conectar suministro de energía eléctrica trifásica alterna de 220V o 380V indicado en el módulo.
- Verificar con voltímetro los voltajes de ingreso hacia el módulo.
- Seleccionar en el interruptor de levas de 3 posiciones (S1) voltaje de 38V por seguridad.

###### **4.1.5. Ensayos a realizar en el módulo didáctico de análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT, TN.**

- Fallas en sistemas de distribución TT
- Fallas en sistemas de distribución TT con transformador de aislamiento y autotransformador
- Fallas en sistemas de distribución TT con carga desenergizada y aislada y carga desenergizada y no aislada
- Fallas en sistemas de distribución TT con cargas trifásicas
- Fallas en sistemas de distribución IT
- Fallas en sistemas de distribución TN-S
- Fallas en sistemas de distribución TN-C
- Tensión de paso

## 4.2. ANÁLISIS DE DATOS EN EL MODULO DIDACTICO DE ANALISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION TT, IT, TN

### 4.2.1. SISTEMA DE DISTRIBUCION TT

#### 4.2.1.1. Objetivo General

Analizar los diferentes tipos de fallas o problemas que se pueden presentar en el sistema de distribución TT, así como la verificación de la respuesta del sistema frente a un fallo eléctrico.

#### 4.2.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar circuito de falla y corriente de falla en un sistema TT con carga sin CP (cable de protección) para diferentes valores de  $R_f$  (resistencia de falla) y si una persona está o no en riesgo eléctrico.
- Determinar circuito de falla y corriente de falla en sistema TT con carga con CP para diferentes valores de  $R_f$  y cuando la persona está en riesgo eléctrico.
- Instalar correctamente un transformador de aislamiento y determinar su comportamiento frente a fallas de aislamiento a tierra.
- Instalar un autotransformador y determinar su comportamiento ante una falla a tierra en ambos lados de los terminales del secundario.

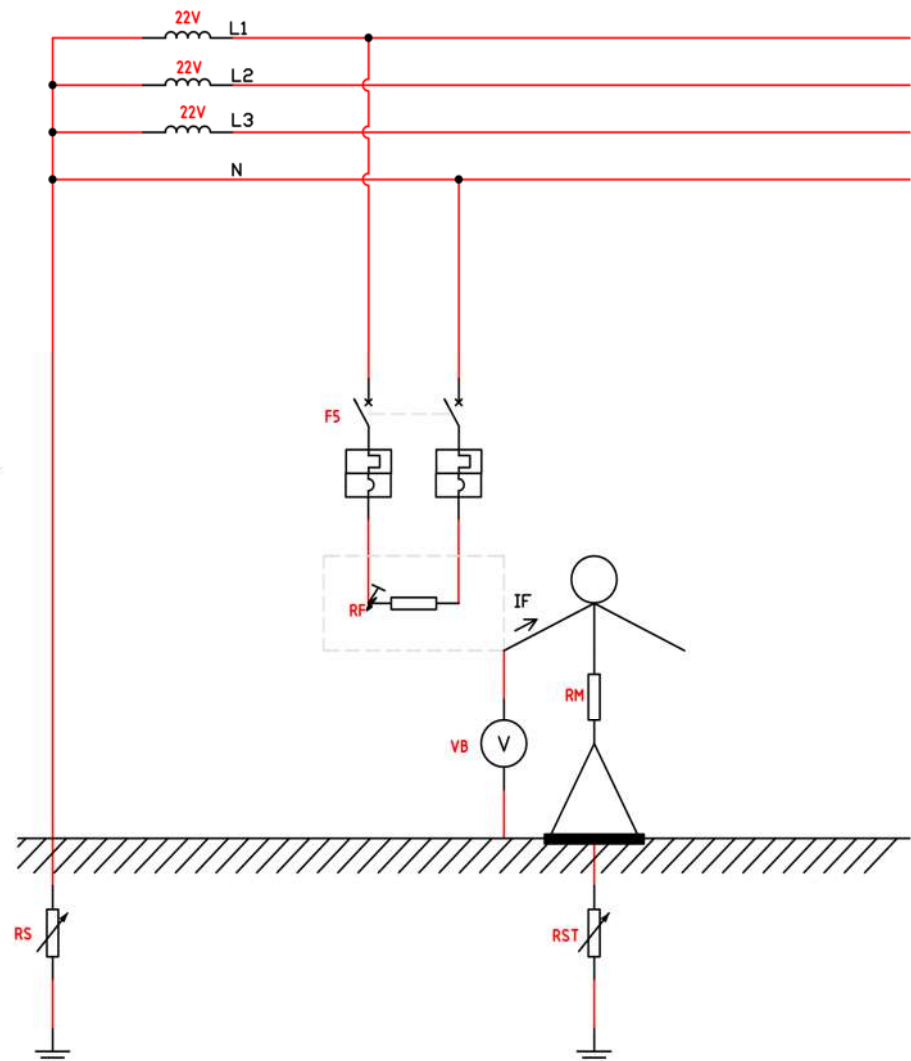
- Determinar el riesgo y comportamiento de cargas monofásicas desenergizadas, pero no aisladas.
- Diferenciar entre un circuito aislado y desenergizado de un circuito desenergizado pero no aislado.

#### 4.2.1.3. Procedimiento

**Importante:** El ensayo se realizará a 22V por ende las corrientes serán 1/10 de la verdadera, para llenar tablas de datos, multiplicar por 10 los valores de voltaje y corriente medidos por los instrumentos.

##### 4.2.1.3.1. Sistema TT sin cable de protección (CP)

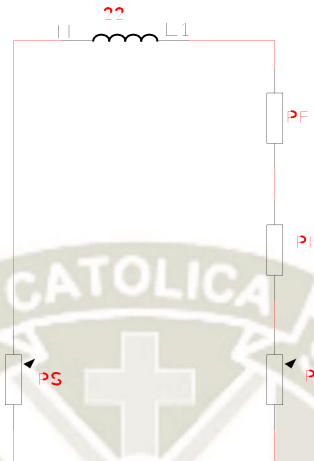
*Figura 4.1 Sistema TT sin cable de protección*



Fuente: propia

a) Circuito de falla.

**Figura 4.2** Circuito de falla



Fuente: propia

b) Análisis para el peor de los casos  $\rightarrow R_M=750\Omega$  (persona con manos y pies húmedos),  $R_{st}=250\Omega$  (piso húmedo).

**Tabla 4.1** Mediciones de corriente de falla (IF) y tensión de contacto (VB) para el peor de los casos

RS	RF	IF	VB
5 $\Omega$	2.5 $\Omega$	212mA	162.6V
	10 $\Omega$	213mA	162.5V
	20 $\Omega$	209mA	160.1V
20 $\Omega$	2.5 $\Omega$	211mA	161.2V
	10 $\Omega$	208mA	158.7V
	20 $\Omega$	206mA	157.5V
47 $\Omega$	2.5 $\Omega$	205mA	156.9V
	10 $\Omega$	202mA	154.4V

	20 $\Omega$	201mA	153.4V
--	-------------	-------	--------

Fuente: propia

- Según la tabla 4.1 la condición en la cual la persona se encuentra en mayor peligro es cuando la resistencia de falla es bastante baja y aunque parezca contraproducente también la resistencia baja del neutro. Teniendo como resistencia determinante del peligro eléctrico a la resistencia de falla.
- En todas las condiciones de la tabla 4.1 siempre estará en riesgo la persona por no haber cable de protección.

**Observaciones:**

Este es el caso de muchos sucesos en ciudades del Perú (muerte de personas cuando se electrocutan).

- c) Análisis para el mejor de los casos  $\rightarrow$   $R_M=1500\Omega$  (manos y pies secos),  $R_{st}=10K\Omega$  (piso seco)

**Tabla 4.2 Mediciones de corriente de falla (IF) y tensión de contacto (VB) para el mejor de los casos**

RS	RF	IF	VB
5 $\Omega$	2.5 $\Omega$	18.5mA	28.7V
	10 $\Omega$	18.7mA	28.8V
	20 $\Omega$	18.6mA	28.4V
20 $\Omega$	2.5 $\Omega$	18.7mA	28.8V
	10 $\Omega$	18.7mA	28.7V
	20 $\Omega$	18.7mA	28.7V
47 $\Omega$	2.5 $\Omega$	18.7mA	28.7V
	10 $\Omega$	18.6mA	28.6V
	20 $\Omega$	18.7mA	28.7V

Fuente: propia

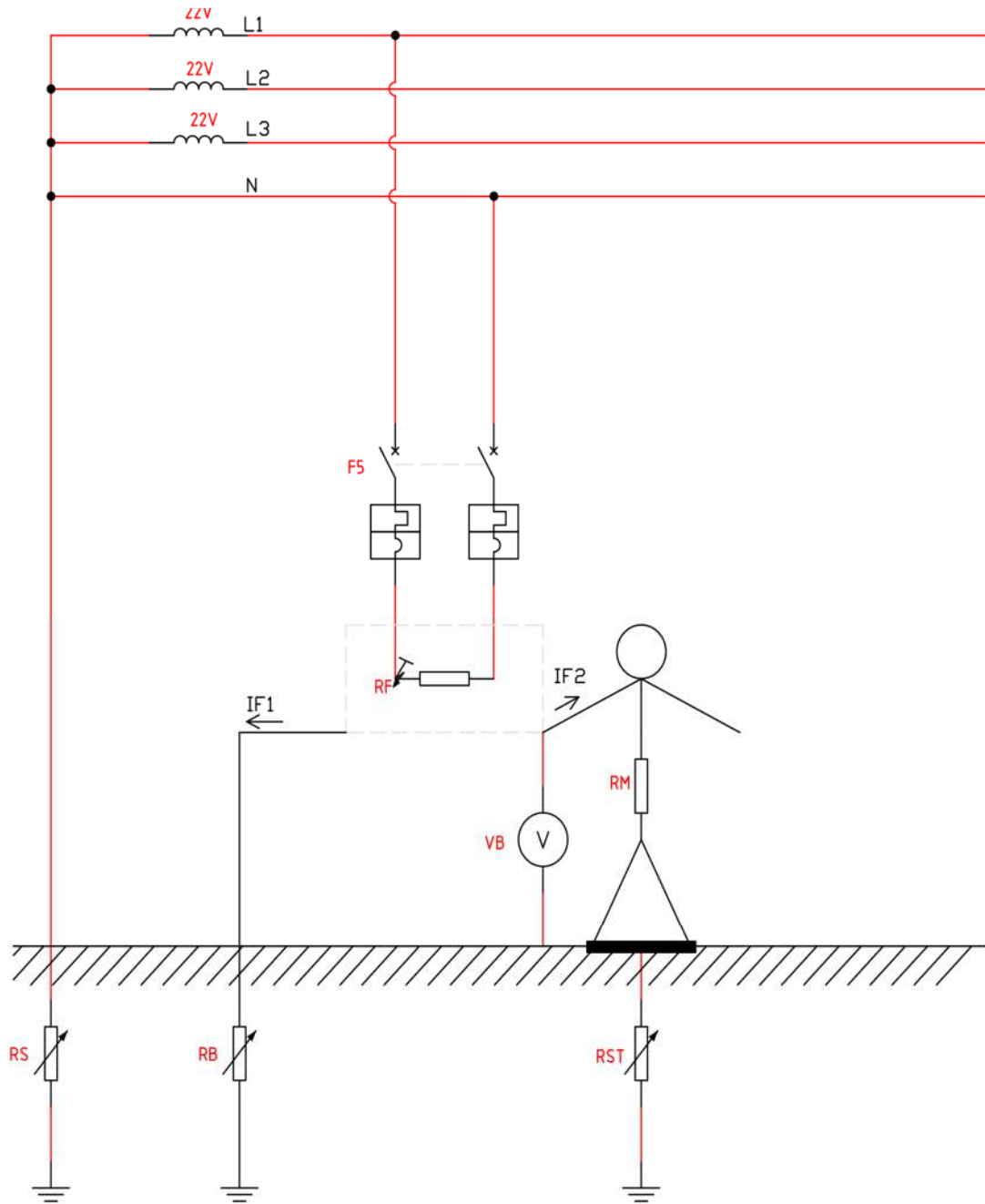
- En ningún caso de la tabla 4.2 la persona se encuentra en riesgo eléctrico por qué la corriente está por debajo de 30mA y la tensión de contacto por debajo de 50V.
- En todos los valores de la tensión de contacto (VB) de la tabla 4.2 la persona no está en riesgo eléctrico por qué todos los valores son menores a 50V.
- La resistencia involucrada en el circuito de falla que puede ser modificada por la persona es la resistencia de emplazamiento (piso), porque esta puede variar de acuerdo a las capas y materiales que haya entre la tierra y los pies de la persona.

**Observaciones:**

Rescatar la importancia de tener piso seco cuando se manipula equipos eléctricos, así como también tener manos y pies secos (usar guantes y zapatos adecuados).

**4.2.1.3.2. Sistema TT con cable de protección (CP)**

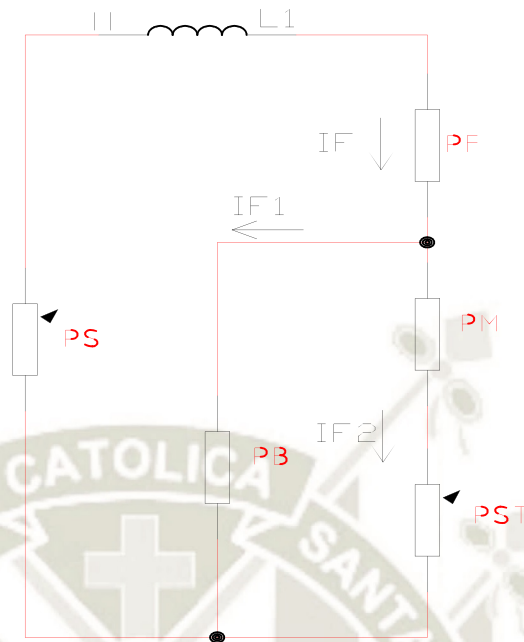
**Figura 4.3** Sistema TT con cable de protección



Fuente: propia

- a) Circuito de falla, cuando la persona no toca masa de la carga y para cuando la persona toca masa de la carga con falla.

**Figura 4.4 Circuito de falla**



Fuente: propia

b) Falla con carga aislada de la persona:

Identificando las resistencias de falla (RF) y de puesta a tierra (RB) para la máxima corriente de falla.

**Tabla 4.3 Medición de corriente de falla IF1**

RS	RB	RF	IF1
5Ω	5Ω	2.5Ω	15.70A

Fuente: propia

Considerando que esta falla permanece 24 horas tenemos que la energía eléctrica perdida es:

$$E = P * T = \frac{220 * 15.70}{1000} * 24 = 82.8KW - H$$

El costo que representa esta pérdida de energía es:

$$COSTO = 82.8KW - H * \frac{S/0.6598}{KW - H} = S/54.63$$

El costo de energía perdida en un mes (30días) es:

$$COSTO = 54.63 * 30 = S/1638.9$$

**Observaciones:**

Tener mucho cuidado con las fugas a tierra porque son muy costosas y obviamente son muy peligrosas.

- c) Falla en la carga cuando la persona toca la masa respectiva:  
**Identificando el valor de las resistencias involucradas para el peor caso de riesgo de la persona. Tenga cuidado, no necesariamente son los valores más bajos de resistencia.**

*Tabla 4.4 Mediciones de IF1, IF2 y VB para el peor de los casos*

RS	RF	RB	RM	RST	IF1	IF2	VB
5Ω	2.5Ω	47Ω	750Ω	250Ω	3.72A	179.5mA	131V

Fuente: propia

- Las resistencias involucradas que determinan mayor riesgo eléctrico en la persona son la resistencia de emplazamiento RST (piso húmedo) y la resistencia de pozo a tierra de las cargas RB (pozo en mal estado).
- En esta condición el riesgo eléctrico en la persona es alto debido a que la corriente que circularía por ella sería 179.5mA y el voltaje de contacto entre la persona y la tierra sería 131V. para evitar este alto riesgo eléctrico se tendría que aumentar la RST y mejorar la resistencia del pozo a tierra que en esta condición se encuentra a 47Ω.
- Cuando se instala y se cierra el interruptor diferencial F4 antes del interruptor termomagnético F5 que energiza a la carga se produce el disparo del interruptor diferencial F4 debido a que la corriente IF2 es mayor a 30mA.

**Identificando el valor de las resistencias involucradas para el mejor de los casos, cuando la persona no está en riesgo eléctrico. Tenga cuidado no necesariamente son los valores más altos de resistencias.**

**Nota: sólo trabaje con interruptor termomagnético F5.**

**Tabla 4.5 Mediciones de IF1, IF2 y VB para el mejor de los casos**

RS	RF	RB	RM	RST	IF1	IF2	VB
5Ω	2.5Ω	5Ω	1500Ω	10kΩ	15.89A	6.8mA	8V

Fuente: propia

- En esta condición no hay riesgo eléctrico debido a que la corriente que fluye por la persona es menor a 30mA y el voltaje de contacto entre la persona y tierra es menor a 50V.
- La protección termomagnética para el sistema TT no es suficiente, en el caso del módulo la termomagnética F5 es de 10A, la falla ha generado 15A, el interruptor va disparar, pero va a demorar mucho lo cual es peligroso para las personas en muchas situaciones por ende se necesita de un interruptor diferencial.
- Cuando se instala y se cierra el interruptor diferencial F4 antes del interruptor termomagnético F5 que energiza a la carga no se produce el disparo del interruptor diferencial F4 debido a que la corriente IF2 es menor a 30mA. Lo cual es correcto porque la sensibilidad de este interruptor es de 30mA.

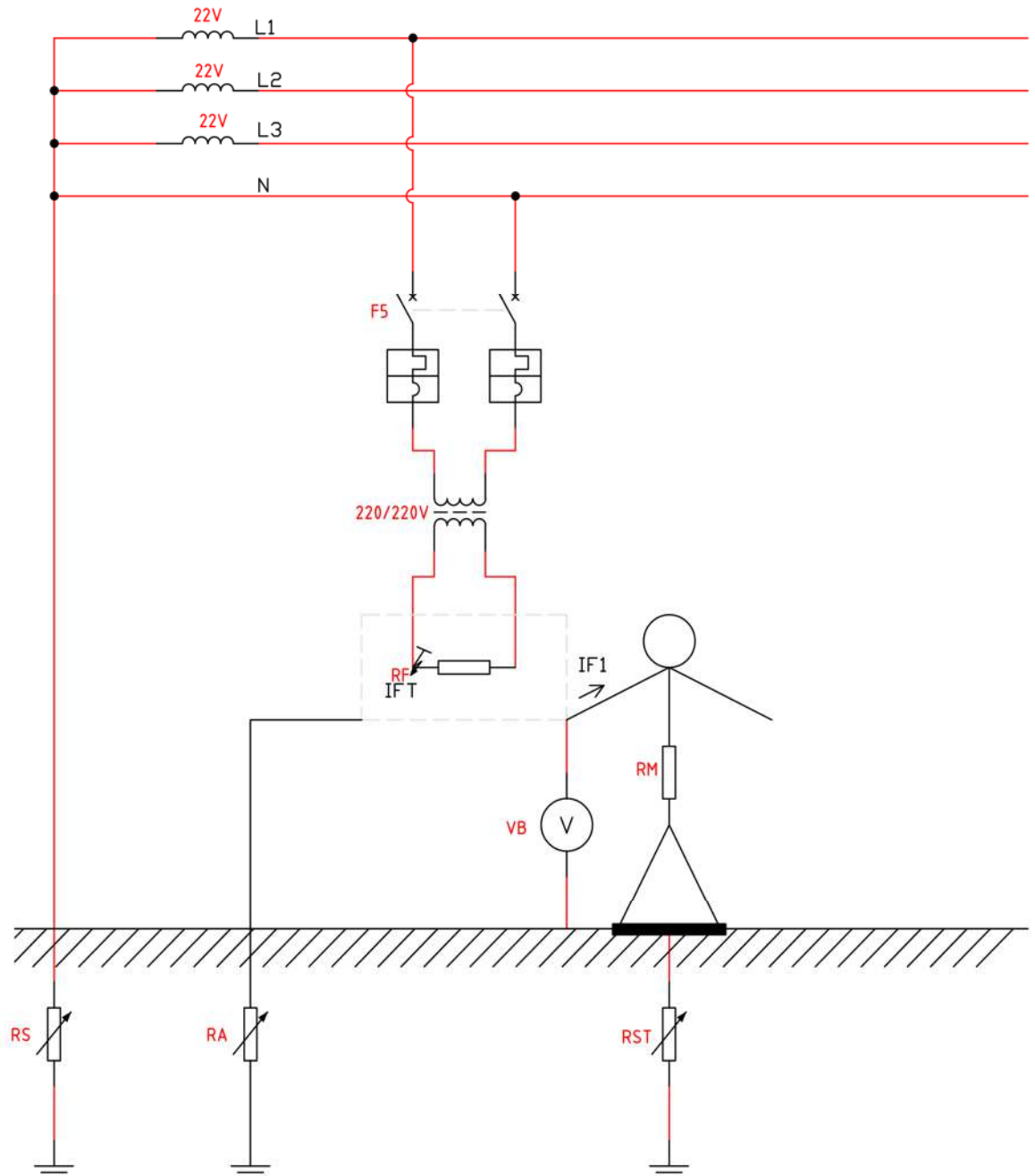
**Observaciones:**

- Lo que ayuda a la persona es la elevada resistencia de emplazamiento además de que el piso a tierra siempre tiene que estar seco.
- Se puede observar que una falla a tierra en B.T. no genera grandes corrientes de falla por lo que una protección termomagnética es muy difícil que la

detecte, por lo que se recurre a protecciones diferenciales.

#### 4.2.1.3.3. Sistema TT con transformador de aislamiento

*Figura 4.5 Sistema TT con transformador de aislamiento*



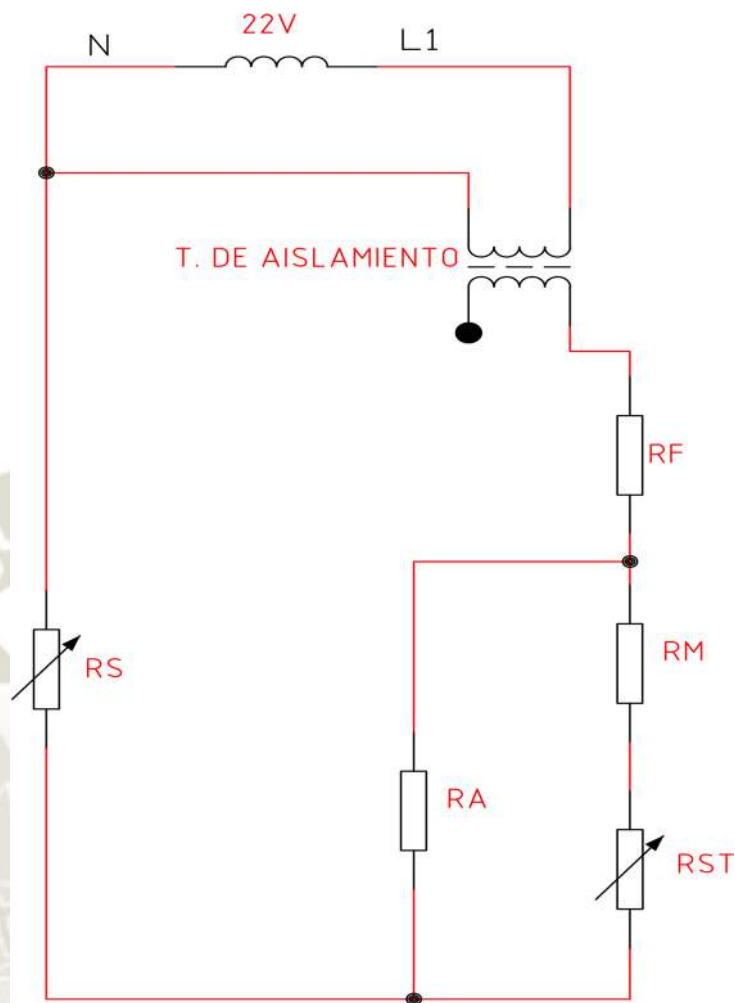
F



Fuente: propia

a) Circuito de falla.

**Figura 4.6** Circuito de falla



Fuente: propia

- b) Considerando el valor de las resistencias para el caso con mayor riesgo eléctrico para la persona.

**Tabla 4.6** mediciones de voltajes y corrientes para el caso de mayor riesgo eléctrico

RS	RF	RA	RST	RM	IFT	IF1	VB	VP	VL
5Ω	2.5Ω	47Ω	250Ω	750Ω	0	0	0	220V	220V

Fuente: propia

- La carga está conectada y podemos observar que la persona no se encuentra en riesgo eléctrico porque no

hay corriente de fuga y además no hay circuito cerrado respecto de la persona.

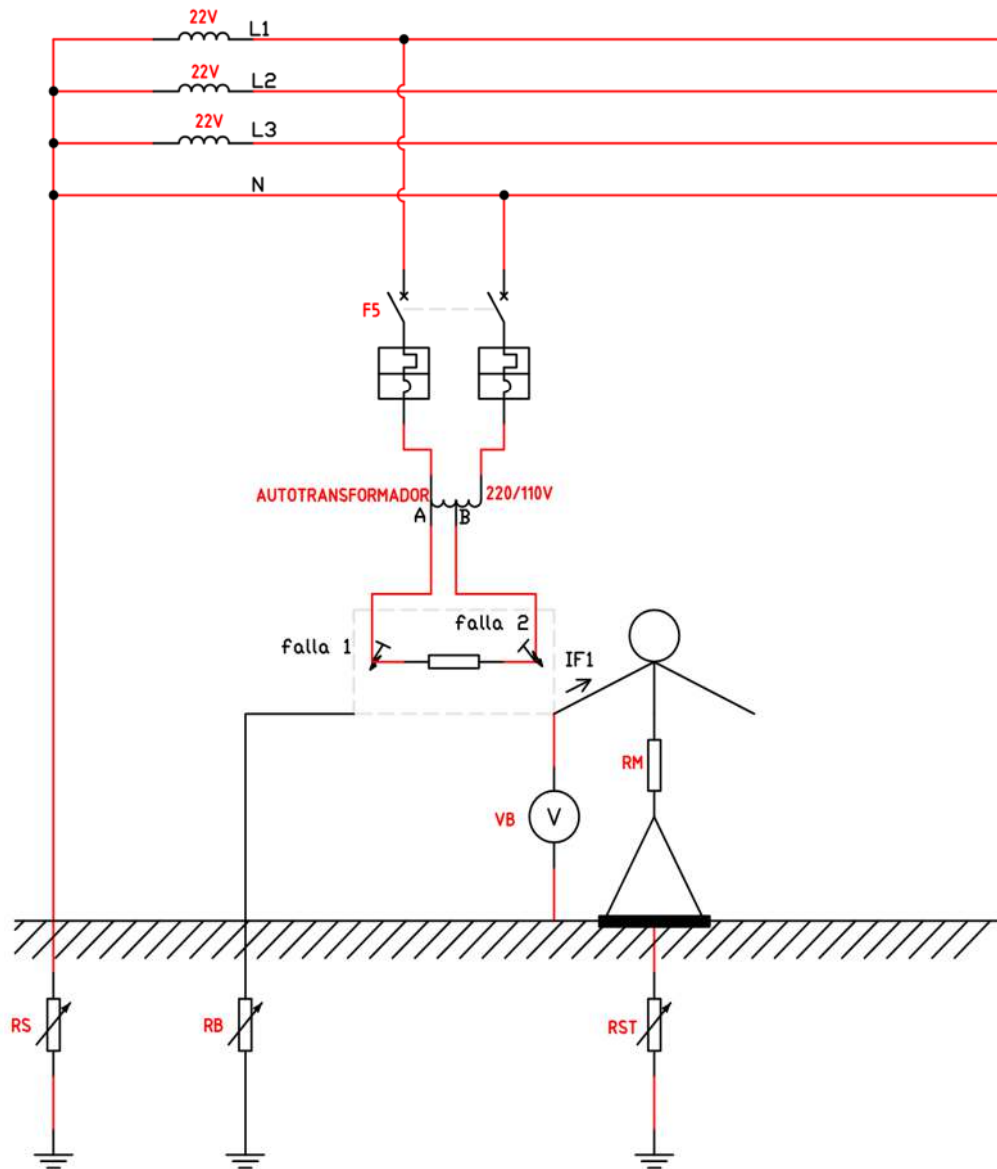
- Tener en cuenta que la función del transformador de aislamiento es separar eléctricamente la carga de la red, pero la carga sigue alimentada con su voltaje nominal.
- Según la norma VDE 0100 la corriente máxima en un transformador de aislamiento es de 16A, porque sólo debe alimentar una carga y no dar la opción que alimente a 2. Por tanto, la potencia máxima del transformador de aislamiento será  $P = 220 * 16 = 3.52KVA$
- Las aplicaciones del transformador de aislamiento pueden ser:  
Mediciones con osciloscopio (protección de equipo y de personas) y en el sector de la salud.

**Observaciones:**

Se observa que el transformador de aislamiento realiza una separación galvánica de la carga a la red.

**4.2.1.3.4. Sistema TT con autotransformador**

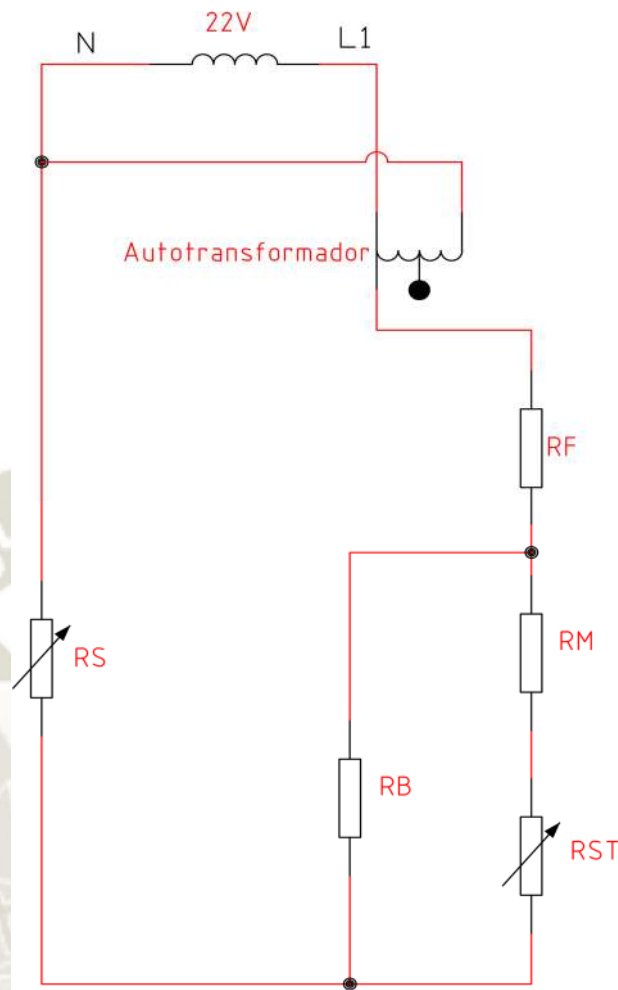
Figura 4.7 Sistema TT con autotransformador



Fuente: propia

a) Circuito de falla 1.

**Figura 4.8** Circuito de falla 1



Fuente: propia

- b) Considerando la falla del lado “A” del secundario del autotransformador (falla 1) para los siguientes valores de resistencia.

**Tabla 4.7** Mediciones de voltajes y corrientes cuando la falla se produce en el lado A del secundario del autotransformador

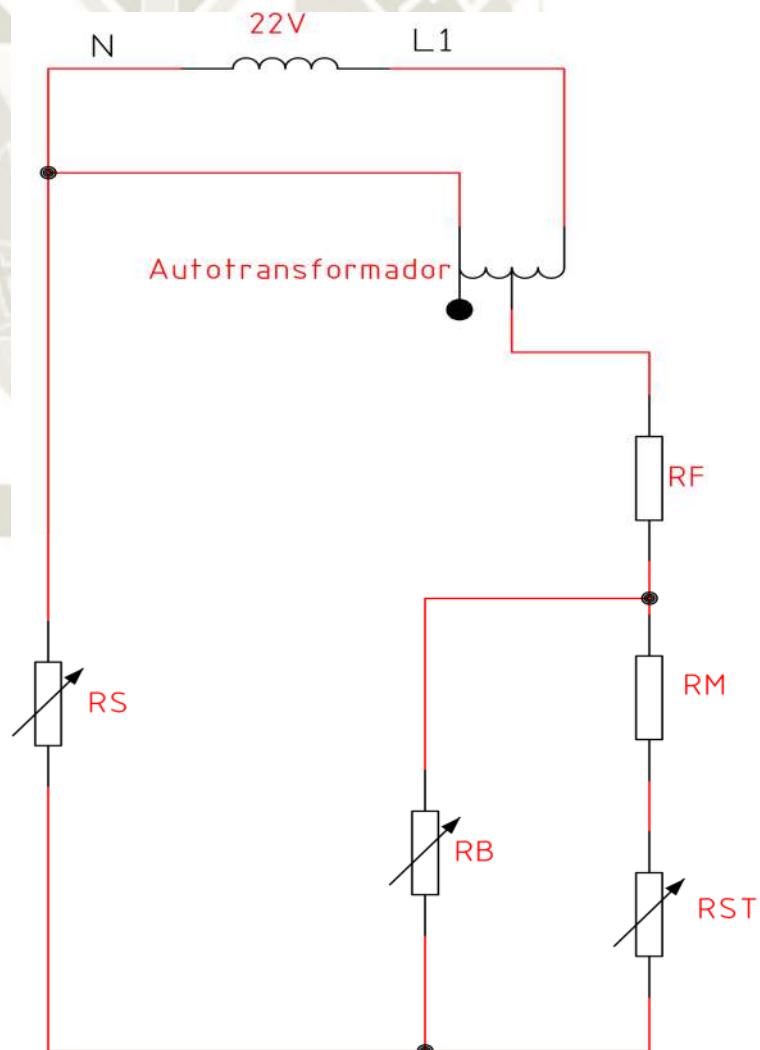
RS	RB	RF	RM	RST	IF1	VB
20Ω	5Ω	2.5Ω	750Ω	250Ω	35mA	24V
				10kΩ	3mA	2.5V

Fuente: propia

- Podemos notar que para una resistencia de emplazamiento (RST) de  $250\Omega$  la persona sí está en riesgo eléctrico porque recibe  $35\text{mA}$ , aunque la tensión de contacto sea menor que  $50\text{V}$ , no es muy fuerte la corriente de falla porque el cable de protección de falla es de  $5\Omega$ .
- Para el caso de RST de  $10\text{K}\Omega$  la persona no está en riesgo eléctrico porque la corriente de falla es menor de  $30\text{mA}$  y la tensión de contacto menor a  $50\text{V}$ , para esta condición tenemos que  $I_{F1}=3\text{mA}$  y  $V_B=2.5\text{V}$ .

c) Circuito de falla 2.

**Figura 4.9** Circuito de falla 2



Fuente: propia

- d) Considerando la falla sólo en el lado “B” del secundario del autotransformador (falla 2) para los siguientes valores de resistencia.

**Tabla 4.8 Mediciones de voltajes y corrientes cuando la falla se produce en el lado B del secundario del autotransformador**

RS	RB	RF	RM	RST	IF1	VB
20Ω	5Ω	2.5Ω	750Ω	250Ω	14.4mA	11.14V
				10KΩ	1.2mA	1.04V

Fuente: propia

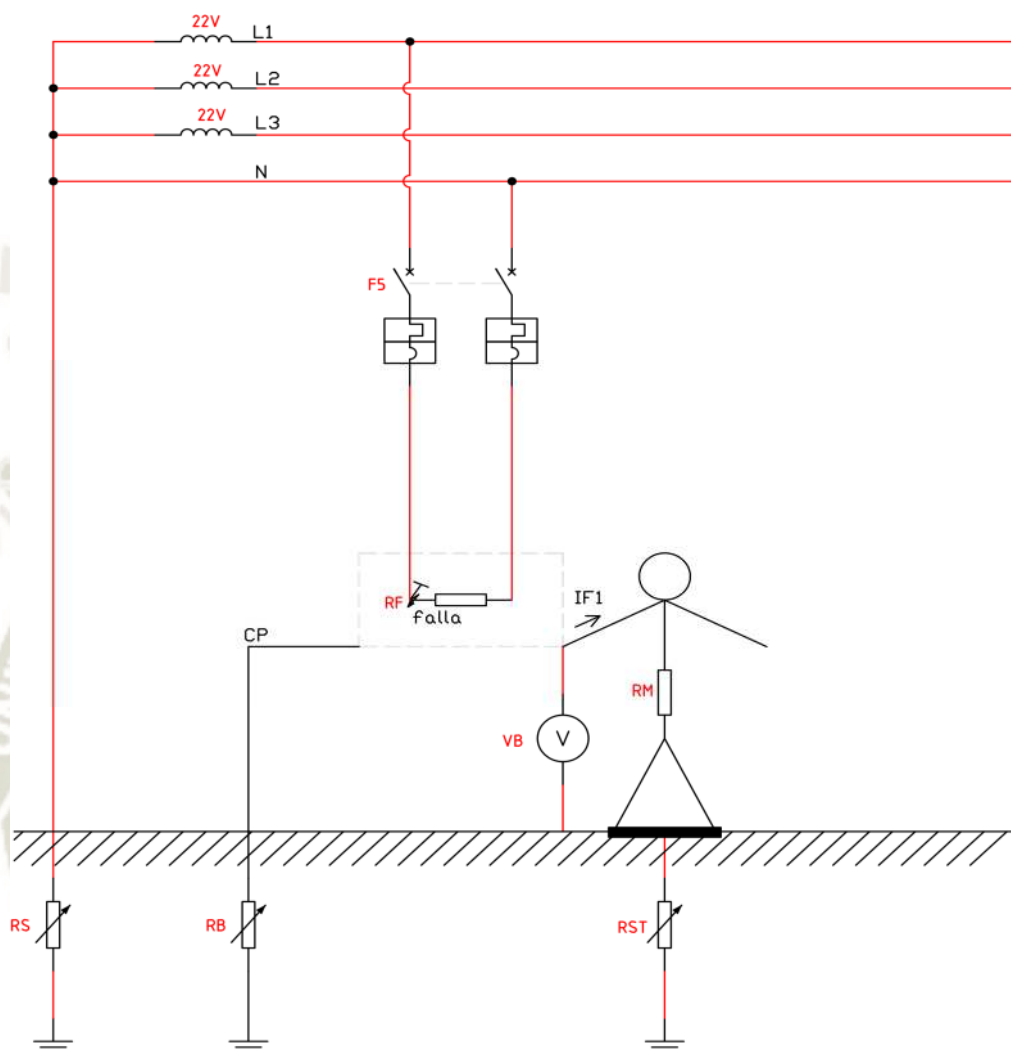
- Podemos observar que para ambos valores de resistencia de emplazamiento la persona no se encuentra en riesgo eléctrico, pero si hay corriente de falla por la persona lo cual provocará dolor, pero podrá apartarse de la falla en el caso de una RST de 250Ω.
- En el caso de una RST de 10KΩ(1.2mA) la persona sentirá cosquilleo por la corriente eléctrica, siendo esta menor de un riesgo eléctrico.
- Haciendo la comparación entre la falla 1 y la falla 2 nos damos cuenta que en la falla 1 la persona se encuentra en mayor riesgo eléctrico, porque tenemos una conexión directa de primario a secundario en el autotransformador para la línea.
- El autotransformador no cumple con la función de aislamiento porque hay circuito cerrado por lo tanto no existe el aislamiento de primario a secundario.

**Observaciones:**

Se usa el autotransformador cuando el voltaje primario-secundario no es muy diferente, máximo una tensión debe ser el doble de la otra para que sea seguro y económico.

4.2.1.3.5. Carga desenergizada y aislada

Figura 4.10 Sistema TT con carga desenergizada y aislada



Fuente: propia

- a) Considerando los siguientes valores de resistencia y también los dos estados de F5.

Tabla 4.9 Mediciones de corrientes y voltajes para cargas desenergizadas y aisladas

RS	RB	RST	RM	RF	F5	IF1	VB	VL
20Ω	20Ω	250Ω	1500Ω	2.5Ω	On	55.8mA	85.2V	210V
					Off	0	0	0

Fuente: propia

- Podemos observar que cuando F5 está cerrado el circuito está energizado por lo tanto la persona se encuentra en riesgo eléctrico.
- El interruptor F5 de 2 polos (2P) para cargas monofásicas cumple con la función de aislamiento porque al abrir los 2 polos no hay ninguna conexión eléctrica entre la red y la carga.

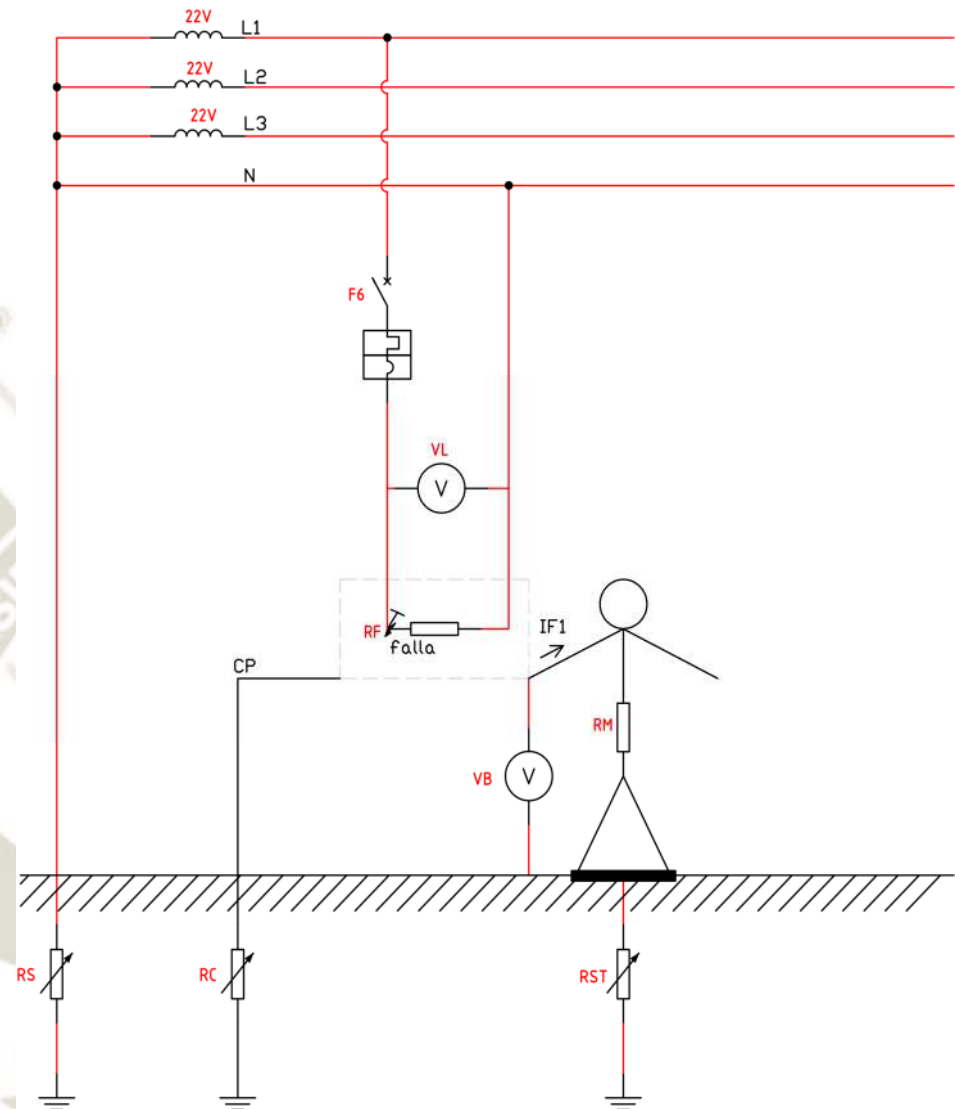
**Observaciones:**

Para que una carga monofásica este totalmente desenergizada y aislada la protección eléctrica debe realizarse en ambos polos.

**4.2.1.3.6. Carga desenergizada y no aislada**

**Caso a:**

*Figura 4.11 Sistema TT con carga desenergizada pero no aislada caso a*



Fuente: propia

- a) Considerando los siguientes valores de resistencia y también los dos estados de F6.

**Tabla 4.10 Mediciones de corrientes y voltajes para cargas desenergizadas y no aisladas caso a**

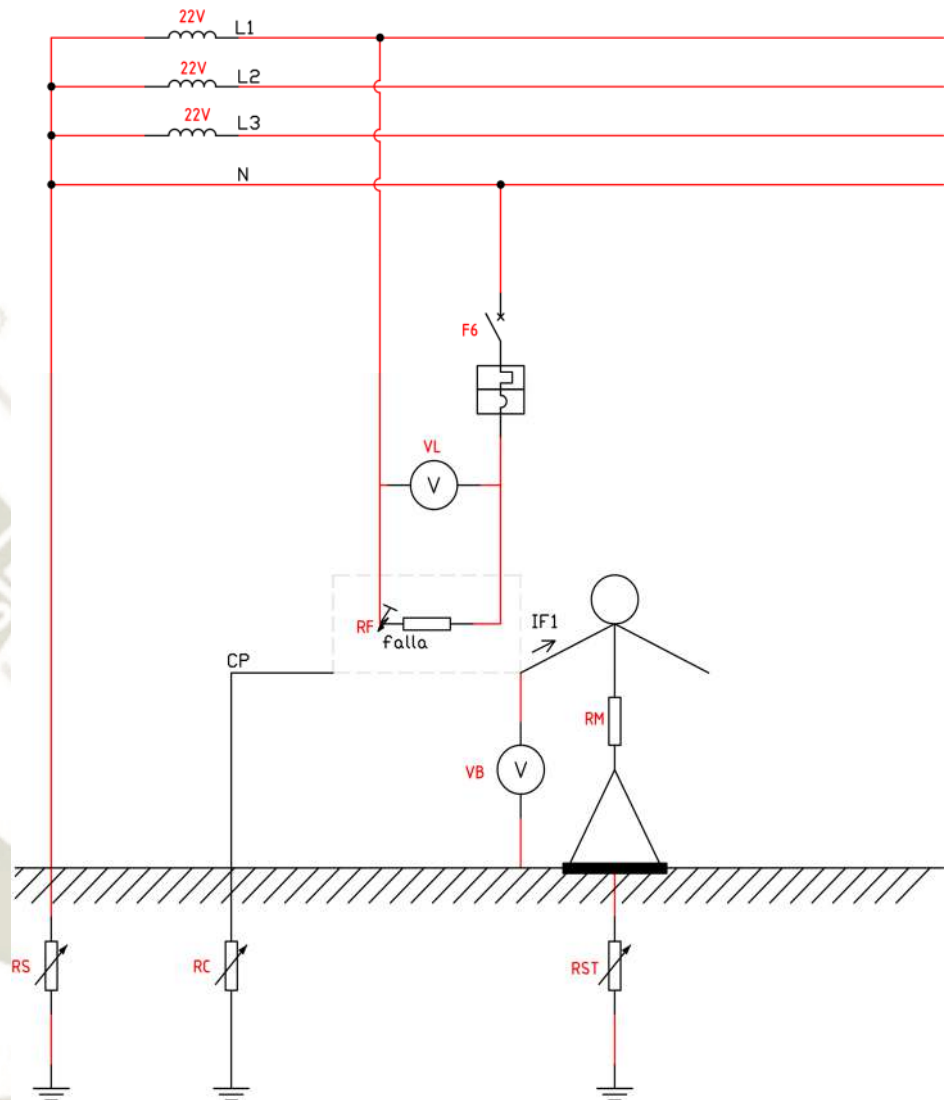
RS	RC	RST	RM	RF	F6	IF1	VB	VL
20 $\Omega$	20 $\Omega$	250 $\Omega$	1500 $\Omega$	2.5 $\Omega$	On	55mA	84V	212V
					Off	0	0	0

Fuente: propia

- Cuando F6 está cerrado el circuito está energizado por ende la persona se encuentra en riesgo eléctrico.
- Al abrir el interruptor F6 se desenergiza la carga, aparentemente cumple con la función de aislamiento porque no hay voltaje ni corriente de falla.

**Caso b:**

**Figura 4.12** Sistema TT con carga desenergizada pero no aislada  
caso b



Fuente: propia

- a) Considerando los siguientes valores de resistencia y también los dos estados de F6.

**Tabla 4.11 Mediciones de corrientes y voltajes para cargas desenergizadas y no aisladas caso b**

RS	RC	RST	RM	RF	F6	IF1	VB	VL
20 $\Omega$	20 $\Omega$	250 $\Omega$	1500 $\Omega$	2.5 $\Omega$	On	54mA	83V	209V
					Off	54mA	84V	0

Fuente: propia

- Podemos notar que en las 2 posiciones de F6 (abierto-cerrado) la persona se encuentra en riesgo eléctrico.
- Al abrir el interruptor F6 la carga se desenergiza pero no está aislado de la red porque sólo se ha abierto una línea, la otra sigue conectada a la red por la tanto hay peligro.

**Caso b1:**

- a) Para el mismo circuito del caso b, pero ahora desconectando el cable de protección (CP) tenemos:

**Tabla 4.12 Mediciones de corrientes y voltajes para cargas desenergizadas y no aisladas caso b1**

RS	RC	RST	RM	RF	F6	IF1	VB	VL
20 $\Omega$	20 $\Omega$	250 $\Omega$	1500 $\Omega$	2.5 $\Omega$	On	119mA	181V	213V
					Off	119mA	180V	0

Fuente: propia

- Haciendo una comparación de los casos b y b1 (con y sin cable de protección) nos damos cuenta que cuando se trabaja sin cable de protección hay mayor riesgo eléctrico porque no hay ruta de ayuda hacia la persona como es el cable de protección.

**Observaciones:**

Tener cuidado cuando se usa llaves monopolares, hay que tener precaución en su instalación para que abra o cierra la línea más no el neutro. Un ejemplo típico es el interruptor de las lámparas de las casas.

#### 4.2.2. SISTEMA DE DISTRIBUCION IT

##### 4.2.2.1. Objetivo General

Analizar los diferentes tipos de fallas o problemas que se pueden presentar en el sistema de distribución IT, así como la verificación de la respuesta del sistema frente a un fallo eléctrico.

##### 4.2.2.2. Objetivos Específicos

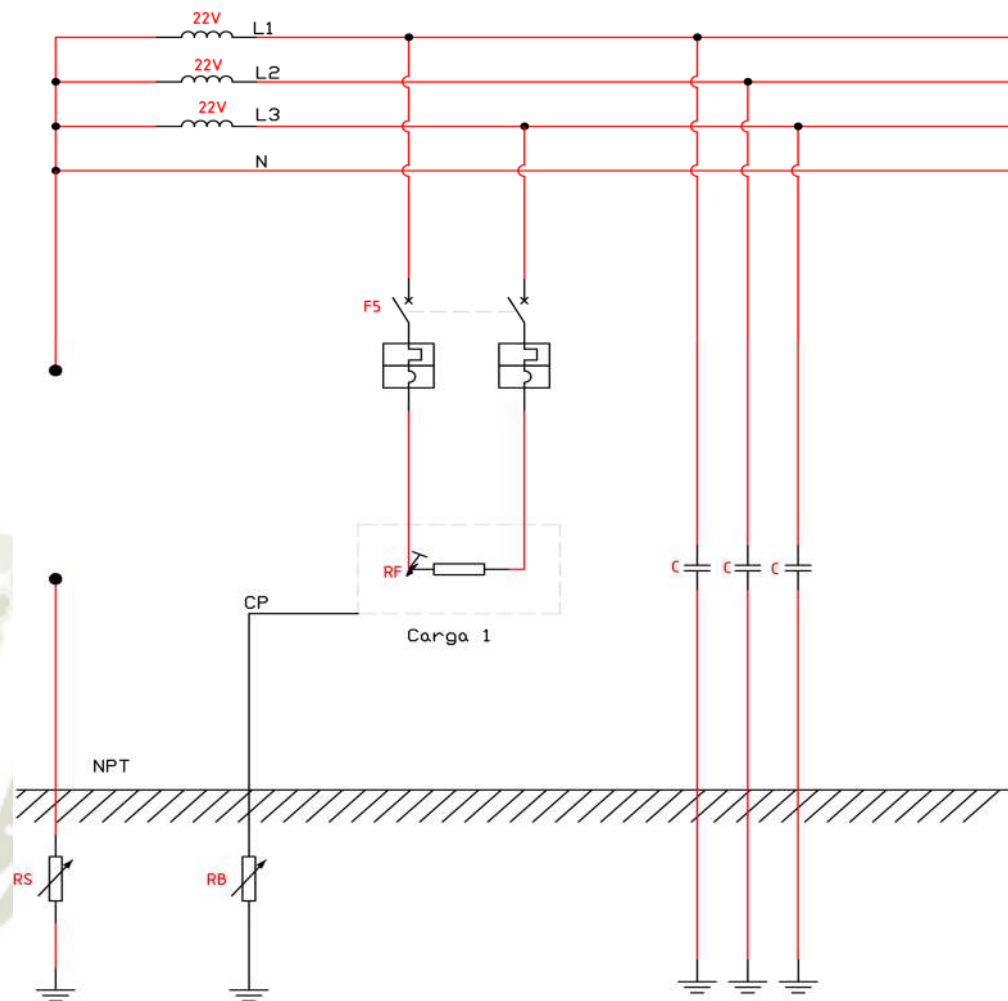
- Observar el comportamiento del efecto capacitivo en el sistema IT.
- Determinar el comportamiento del sistema IT ante la primera falla.
- Determinar el comportamiento del sistema IT ante la segunda falla.

##### 4.2.2.3. Procedimiento

**Importante:** El ensayo se realizará a 22V por ende las corrientes serán 1/10 de la verdadera, para llenar tablas de datos, multiplicar por 10 los valores de voltaje y corriente medidos por los instrumentos.

##### 4.2.2.3.1. Efecto capacitivo del sistema de distribución IT

**Figura 4.13** Efecto capacitivo



Fuente: propia

**Nota:** Observemos que el neutro está asilado de tierra y que la única vinculación entre las líneas y tierra es el efecto capacitivo.

a) Considerando carga 1 sin falla.

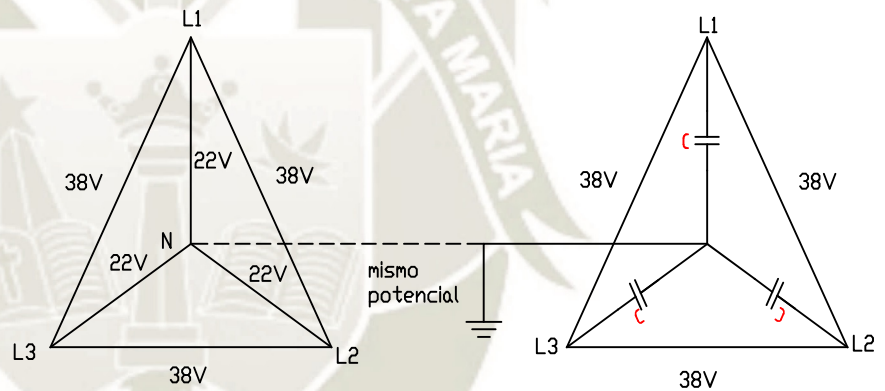
**Tabla 4.13 Mediciones de voltajes considerando carga 1 sin falla**

VOLTAJES		VOLTAJES	
VL1-N	22V	VL1-tierra	22V
VL2-N	22V	VL2-tierra	22V
VL3-N	22V	VL3-tierra	22V
		VN-tierra	0V

Fuente: propia

Tenemos el siguiente triángulo de voltajes:

**Figura 4.14 Triángulo de voltajes sin falla en carga 1**



Fuente: propia

b) Considerando falla de  $R_F=2.5\Omega$  y  $R_B=5\Omega$

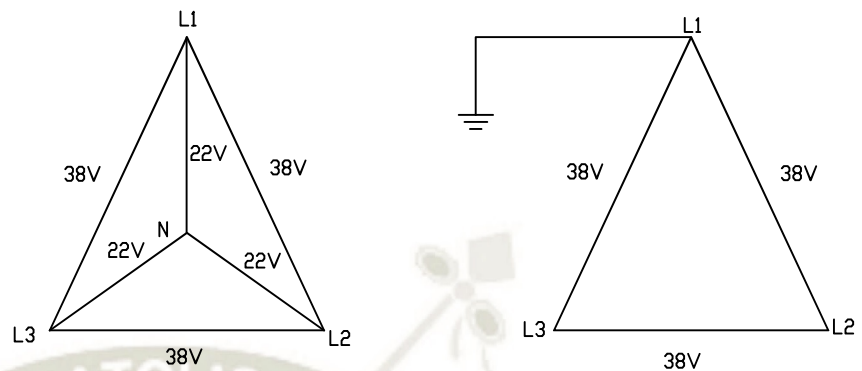
**Tabla 4.14 Mediciones de voltajes considerando falla en la carga 1**

VOLTAJES		VOLTAJES	
VL1-N	22V	VL1-tierra	0V
VL2-N	22V	VL2-tierra	38V
VL3-N	22V	VL3-tierra	38V
		VN-tierra	22V

Fuente: propia

Tenemos el siguiente triángulo de voltajes:

**Figura 4.15 Triángulo de voltajes con falla en carga 1**



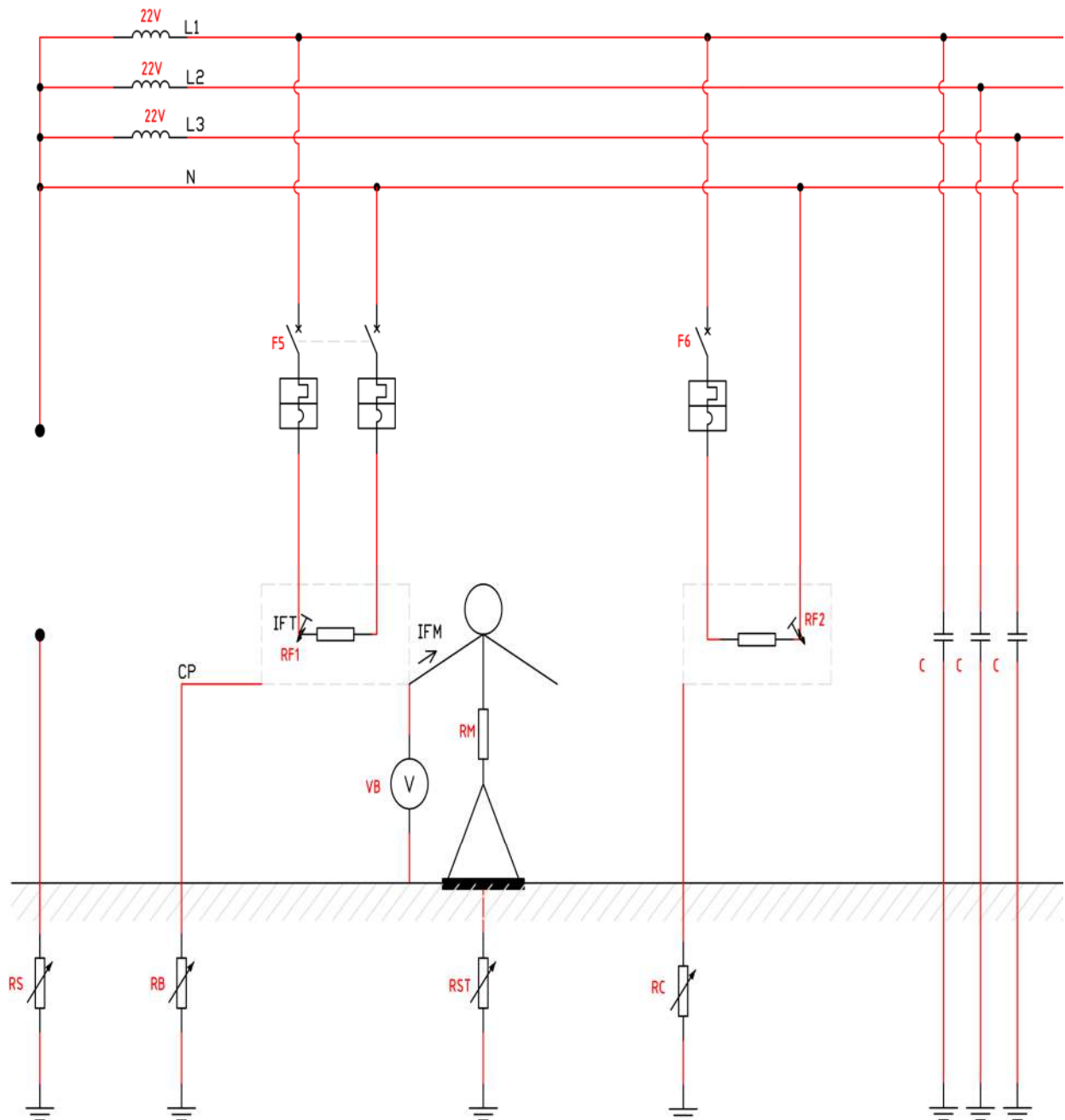
Fuente: propia

**Observaciones respecto a los dos casos anteriores:**

Por efecto capacitivo neutro y tierra están vinculados al mismo potencial antes de la falla, Después de la primera falla L1 se aterriza por lo tanto debe haber un equipo que de alarma de tener una línea a tierra para programar futuros mantenimientos.

**4.2.2.3.2. 1era y 2da falla en sistema de distribución IT**

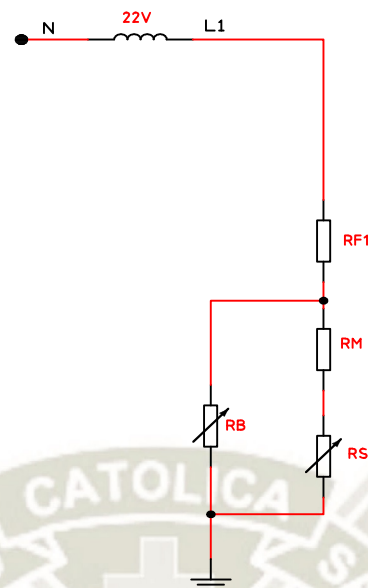
Figura 4.16 1era y 2da falla en sistemas IT



Fuente: propia

- a) 1era falla sólo considerando  $RF1$ , persona toca masa con los siguientes valores de resistencia:  $R_M=750\Omega$ ,  $R_{ST}=250\Omega$ ,  $RF1=2.5\Omega$  y  $R_B=5\Omega$ .
- b) Circuito de falla

**Figura 4.17** circuito de falla considerando RF1



Fuente: propia

**Tabla 4.15** Mediciones de voltajes y corrientes considerando 1era falla

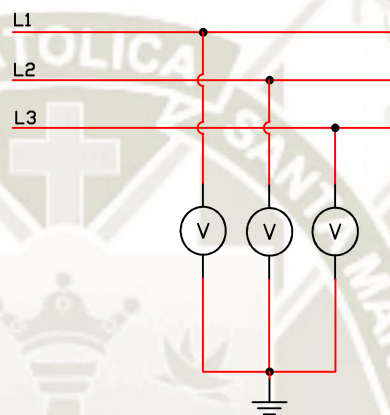
VB	0V
IFM	0A
VL1-tierra	0V
VL2-tierra	38V
VL3-tierra	38V
VN-tierra	22V

Fuente: propia

- Nos damos cuenta que la persona no se encuentra en riesgo eléctrico por qué no hay circuito cerrado, el circuito de falla está abierto por lo tanto no hay flujo de corriente.
- El potencial de tierra tiene el mismo potencial que el de la línea 1.

- El potencial que tiene tierra sólo afecta a las personas que interactúan con equipos alimentados por la subestación donde la carga tiene falla L1 a tierra, los equipos que estén conectados a otra subestación no se ven afectados.
- Podemos usar el método de los tres voltímetros para detectar si una línea hace tierra en una primera falla.

**Figura 4.18 Método de los tres voltímetros**



Fuente: propia

- No es recomendable utilizar interruptor diferencial en un sistema IT por qué se produciría el disparo del dispositivo y esto no puede suceder.

**Observaciones respecto a la primera falla:**

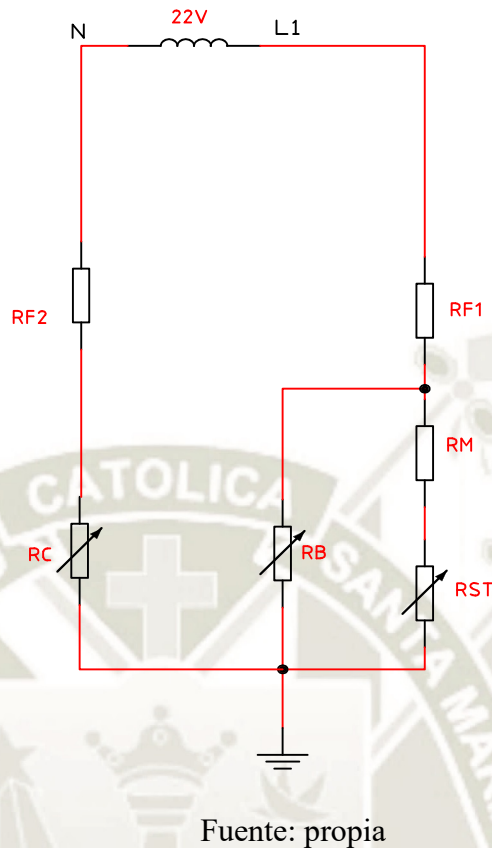
Ante una primera falla no se produce riesgo eléctrico para las personas, pero debe haber un equipo que de alarma de tener una línea a tierra para programar un futuro mantenimiento.

c) 2da falla considerando RF1 y RF2

RF1	RB	RM	RST	RF2	RC
2.5Ω	5Ω	750Ω	250Ω	2.5Ω	5Ω

d) Circuito de falla

**Figura 4.19** Circuito de falla considerando RF1 y RF2



**Tabla 4.16** Mediciones de voltajes y corrientes cosnsiderando 1era y 2da falla

VB	75V
IFT	13A.
IFM	99mA.
VN-tierra	0V
VL1-tierra	0V
VL2-tierra	38V
VL3-tierra	38V

Fuente: propia

- La persona está en riesgo eléctrico por qué hay circuito cerrado.

- La corriente de falla total hará disparar la protección termomagnética F5, el disparo de la protección termomagnética F5 demorará bastante por tener una capacidad de 10A.
- La protección que debe utilizarse en un sistema IT es el CPA (controlador permanente de aislamiento) para evitar que se produzca la segunda falla.
- Las aplicaciones del sistema IT pueden ser en hospitales, aeropuertos, salas de control, instalaciones de calefacción y refrigeración entre otros.

**Observaciones respecto a la segunda falla:**

Se debe evitar que se produzca la segunda falla por que la persona estaría en riesgo eléctrico para lo cual se debe contar con un CPA (controlador permanente de aislamiento).

**4.2.3. SISTEMA DE DISTRIBUCION TN-S**

**4.2.3.1. Objetivo general**

Analizar los diferentes tipos de fallas o problemas que se pueden presentar en el sistema de distribución TN-S, así como la verificación de la respuesta del sistema frente a un fallo eléctrico.

**4.2.3.2. Objetivo específico**

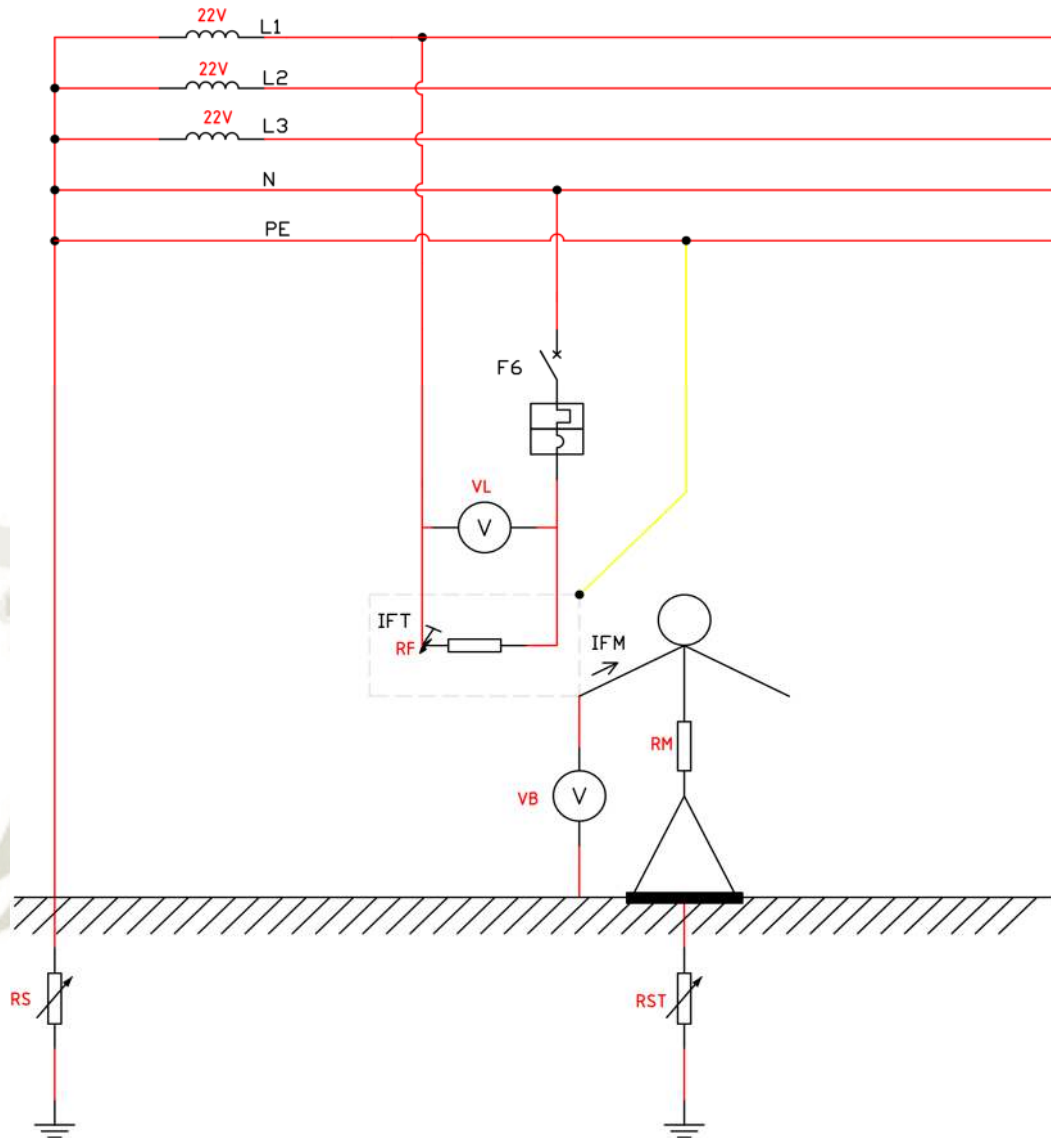
- Determinar el funcionamiento del sistema TN-S.
- Determinar los pros y contras del sistema TN-S.

**4.2.3.3. Procedimiento**

**Importante:** El ensayo se realizará a 22V por ende las corrientes serán 1/10 de la verdadera, para llenar tablas de datos, multiplicar por 10 los valores de voltaje y corriente medidos por los instrumentos.

**4.2.3.3.1. Sistema TN-S con protección monopolar**

Figura 4.20 Sistema TN-S con protección monopolar



Fuente: propia

- a) Considerando los siguientes valores de resistencias y “F6 abierto”

RS	RF	RM	RST
14Ω	20Ω	750Ω	250Ω

Nota:  $RS=14\Omega$  se obtiene al poner en paralelo las resistencias de  $20\Omega$  y  $47\Omega$ .

b) Considerando interruptor termomagnético monopolar F6 cerrado

**Tabla 4.17 Mediciones de corrientes y voltajes con F6 cerrado**

VL	210V
VB	7V
IFT	10A.
IFM	4.5mA.

Fuente: propia

- Podemos ver que la persona no se encuentra en riesgo eléctrico por qué la corriente de falla por la persona es menor a 30mA.

c) Considerando interruptor termomagnético monopolar F6 abierto

**Tabla 4.18 Mediciones de voltajes y corrientes con F6 abierto**

VL	0V
VB	6V
IFT	10A.
IFM	1mA.

Fuente: propia

- Podemos ver que la persona no se encuentra en riesgo eléctrico por que la corriente de falla por la persona es menor a 30mA.
- Siempre tiene que utilizarse llaves bipolares y no monopulares porque existe el riesgo de sólo abrir el neutro.
- Este sistema requiere de tomacorrientes especiales sólo con la clavija de tierra.

#### Observaciones respecto al sistema TN-S

En el sistema TN-S podemos instalar interruptor diferencial para la protección de la persona.

#### 4.2.4. SISTEMA DE DISTRIBUCION TN-C

##### 4.2.4.1. Objetivo general

Analizar los diferentes tipos de fallas o problemas que se pueden presentar en el sistema de distribución TN-C, así como la verificación de la respuesta del sistema frente a un fallo eléctrico.

##### 4.2.4.2. Objetivo específico

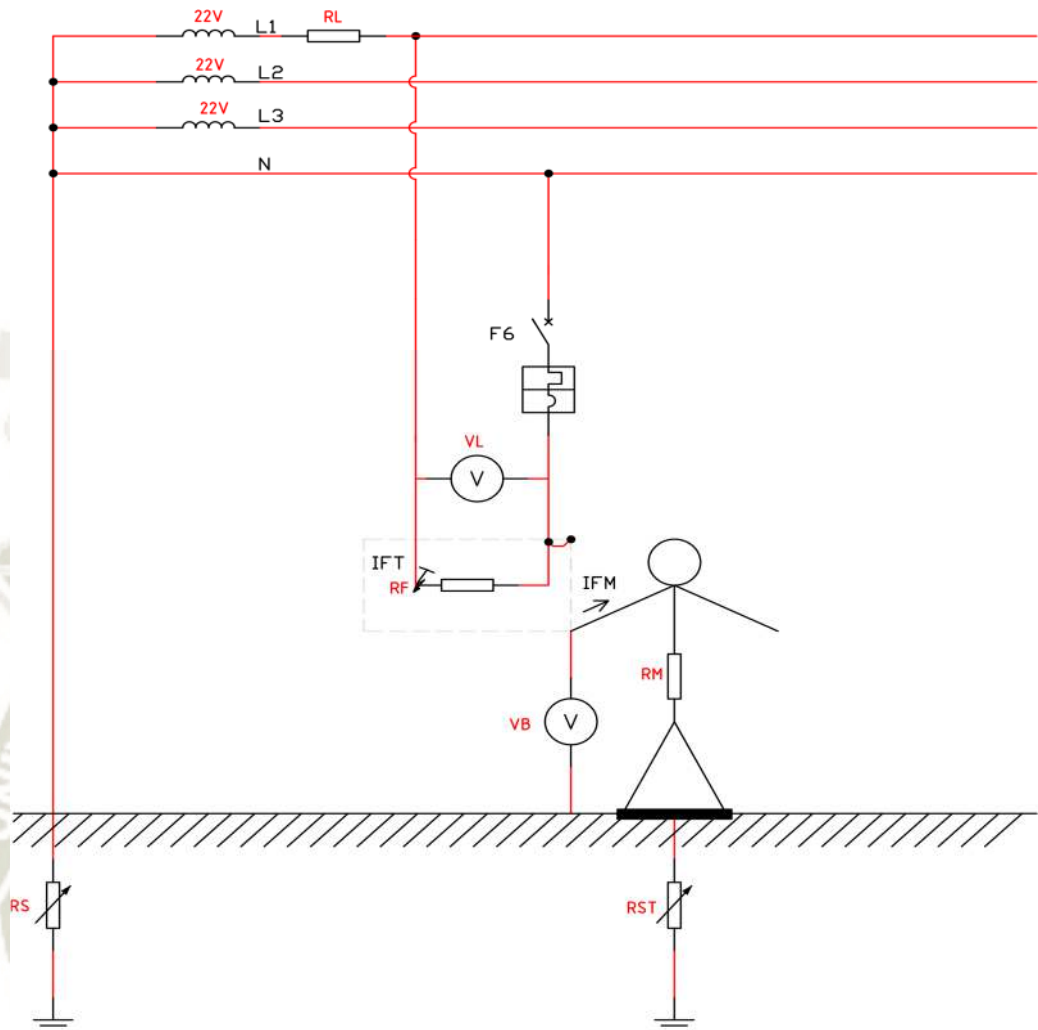
- Determinar el funcionamiento del sistema TN-C.
- Determinar los pros y contras del sistema TN-C.

##### 4.2.4.3. Procedimiento

**Importante:** El ensayo se realizará a 22V por ende las corrientes serán 1/10 de la verdadera, para llenar tablas de datos, multiplicar por 10 los valores de voltaje y corriente medidos por los instrumentos.

##### 4.2.4.3.1. Sistema TN-C con protección monopolar

Figura 4.21 Sistema TN-C con protección monopolar



Fuente: propia

- a) Considerando los siguientes valores de resistencias y “F6 abierto”

RS	RF	RM	RST
14Ω	20Ω	750Ω	250Ω

Nota:  $R_S=14\Omega$  se obtiene al poner en paralelo las resistencias de  $20\Omega$  y  $47\Omega$ .

- b) Considerando interruptor termomagnetico monopolar F6 cerrado

**Tabla 4.19 Mediciones de corrientes y voltajes con F6 cerrado**

VL	210V
VB	2.56V
IFT	10A.
IFM	3.5mA.

Fuente: propia

- Podemos ver que la persona no se encuentra en riesgo eléctrico por qué la corriente de falla por la persona es menor a 30mA.
- d) Considerando interruptor termomagnético monopolar F6 abierto

**Tabla 4.20 Mediciones de voltajes y corrientes con F6 abierto**

VL	0V
VB	156V
IFT	0.18A.
IFM	204mA.

Fuente: propia

- Podemos observar que la persona se encuentra en peligro de riesgo eléctrico por que la corriente que circula por ella es alta.
- En el sistema TN-C se requiere de tomacorrientes y enchufes especiales para evitar el problema de colocar línea a masa.

**Observaciones respecto al sistema TN-S**

- Con protecciones monopolares tenemos que colocarlo en la línea y no en el neutro.

- Debemos verificar que en una protección monopolar esta esté cortando la línea más no el neutro.
- En el sistema TN-C trabajando con protección bipolar no se puede instalar interruptor diferencial para protección de las personas por qué este no funcionaría, ya que no mediría la diferencia de corrientes ante la falla.

#### 4.2.5. TENSION DE PASO

##### 4.2.5.1. Objetivo general

Analizar las tensiones de paso que se pueden presentar cuando una corriente eléctrica descarga a través del suelo y el riesgo eléctrico que este conlleva.

##### 4.2.5.2. Objetivo específico

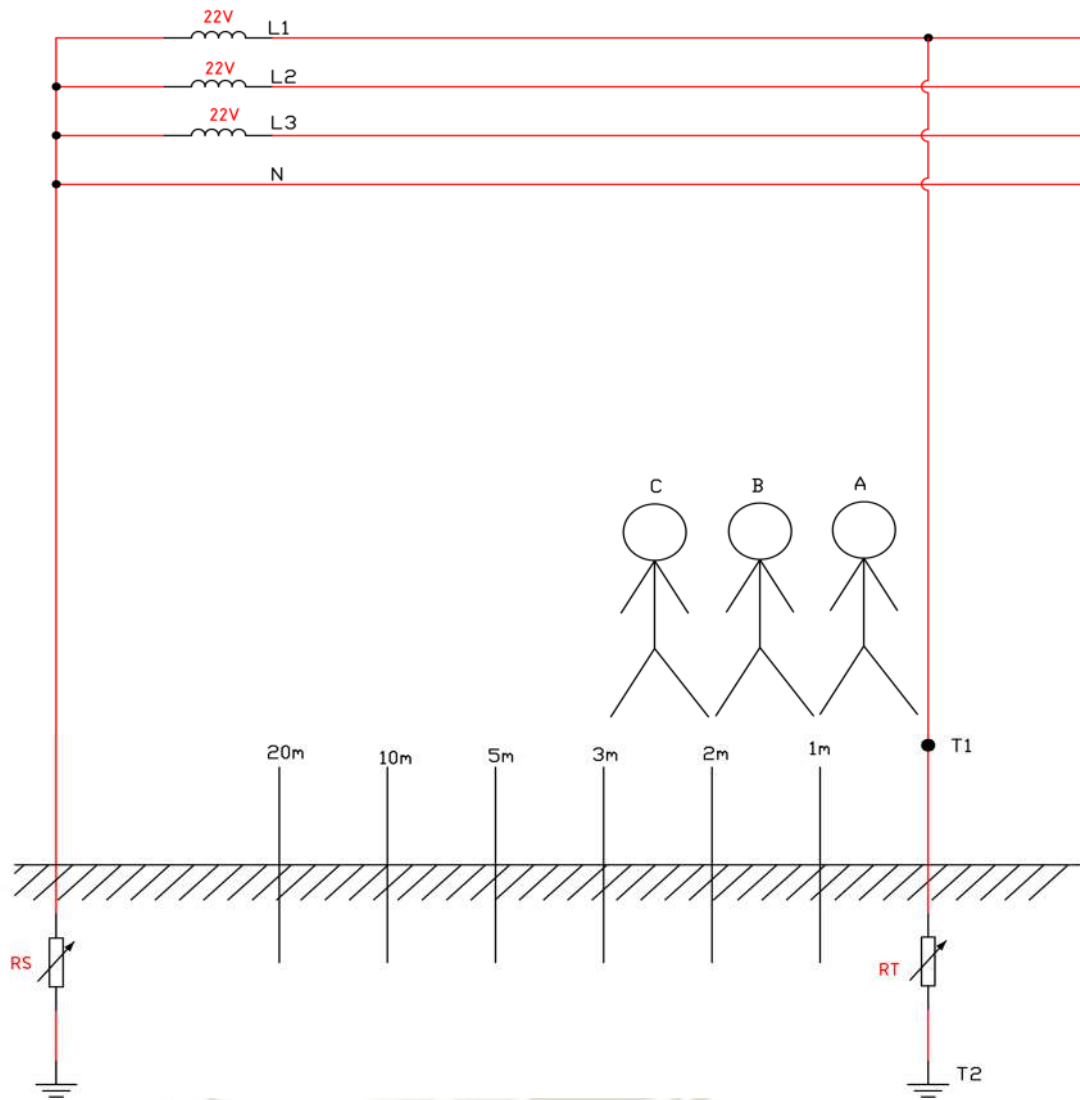
- Determinar cómo se forma el “cono de tensión” alrededor de una puesta a tierra ante una falla eléctrica.
- Determinar en qué circunstancias una persona está en riesgo eléctrico por “tensión de paso” en una instalación eléctrica.

##### 4.2.5.3. Procedimiento

**Importante:** Recordar que estamos trabajando a una escala 1/10 ( $V_F=22V$ ) y que los datos en tablas de voltaje y corriente debe ser multiplicado por 10 para tener datos reales.

##### 4.2.5.3.1. Implementando el siguiente circuito con $R_S=14\Omega$ (Poner en paralelo $20\Omega$ con $47\Omega$ ) y $R_T=40\Omega$ .

**Figura 4.22** Circuito con  $RS=14\Omega$  y  $RT=40\Omega$



Fuente: propia

a) Midiendo los siguientes voltajes:

**Tabla 4.21** Mediciones de voltajes a diferentes distancias

VT1- T2	VT1- 1m	VT1- 2m	VT1- 3m	VT1- 5m	VT1- 10m	VT1- 20m
100V	49V	76.4V	89.4V	94.9V	99.8V	101.2V

Fuente: propia

b) Calculando los siguientes voltajes para realizar el cono de tensión:

VA=100-49	51V
VB=100-76.4	23.6V
VC=100-89.4	10.6V
VD=100-94.9	5.1V
VE=100-99.8	0.2V
VF=100-100	0V

c) Graficando el cono de tensión con los siguientes datos:

Tensión	Distancia
51V	1m
23.6V	2m
10.6V	3m
5.1V	5m
0.2V	10m
0V	20m

**Figura 4.23** Cono de tensión



Fuente: propia

d) Calculando tensión de paso:

Vpaso "A"	$100-51=49V$
Vpaso "B"	$51-23.6=27.4V$
Vpaso "C"	$23.6-10.6=13V$

- La persona no se encuentra en riesgo eléctrico ya que los voltajes de paso son menores a 50V, aunque se debe tener cuidado con el voltaje de paso en "A" por qué su valor está cercano a los 50V.
- $V_{T1}-V_{T2}=V_{T1} \rightarrow$  tierra de referencia ( $>20m$ ) normalmente.

#### Observaciones respecto a la tensión de paso

- A menor resistencia del pozo a tierra de protección el cono de tensión se angosta con lo cual disminuye la tensión de paso, disminuyendo el riesgo eléctrico para la persona.
- Este problema de la tensión de paso es más fuerte en sistemas de media y alta tensión.



# CAPÍTULO V

## COSTOS

## 5. COSTOS

### 5.1. DEFINICIONES

La palabra costo representa el dinero o el equivalente que se entrega a alguien para adquirir bienes y generar un beneficio futuro. Haciendo un flujo de caja, los bienes, se ubican dentro de los activos. Los gastos, a su vez, se definen como los desembolsos de dinero que pueden expresarse en términos monetarios que generan un beneficio y tienen como característica verse reflejado en el estado de resultado.

Los costos de producción y/o de servicios son distribuciones de recursos económicos incurridos y aplicados en la operación de un proceso, fabricación de un producto o en la prestación de un servicio, con la finalidad de generar ingresos o beneficios en el futuro. Representan la base para el costo de los productos o servicios, el proceso de planeación y control, la evaluación del desempeño y la toma de decisiones gerenciales. A medida que se utilizan estos servicios, los costos, se convierten en gastos. Los gastos, vienen a ser los costos que han producido un beneficio y que han expirado, por ellos lo que se consideran costos del periodo y se llevan al estado de resultado en el periodo en que se incurren. Estos gastos son aplicados en el momento en que se venden los artículos, es decir se asocian directamente en la etapa de ventas.

Los costos se agregan a los inventarios de materiales, productos en proceso y productos terminados. Son catalogados como activos en el balance general y son llevados al estado de resultados a medida que los productos elaborados sean vendidos (Ccamague Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

#### 5.1.1. ELEMENTOS DE UN PRODUCTO.

Los elementos del costo de cualquier producto o sus componentes, son los materiales directos, la mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación; esta clasificación suministra la información necesaria para la medición del ingreso y la fijación del precio del producto (Ccamague Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

## 5.2. Materiales:

Los materiales son los principales recursos que se usan en la etapa de producción; estos se transforman en bienes terminados cuando pasan por un proceso de manufactura (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

Pueden identificarse los siguientes tipos:

- Directos: Son todos aquellos que pueden identificarse en la fabricación de un producto terminado, fácilmente se asocian con éste y representan el principal costo de materiales en la elaboración de un producto.
- Indirectos: Son los que están involucrados en la elaboración de un producto, pero tienen una relevancia relativa frente a los directos.
- Costos Indirectos Varios: estos no pueden ubicarse ni en los materiales indirectos ni en la mano de obra indirecta; las depreciaciones, seguros, el consumo de energía eléctrica, agua, arriendos, impuestos, suministros de mantenimientos, son algunos ejemplos (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

También se debe tomar en cuenta:

- Costos de mantenimiento: son los correspondientes a mantener los inventarios a lo largo del tiempo. Por lo tanto, estos incluyen también los que se deben a la obsolescencia de los materiales, almacenamiento, seguros, contratación de personal adicional en caso se necesite y el pago de intereses.
- Costos de preparación: son los costes correspondientes a la preparación de una máquina o proceso para elaborar un pedido. Incluyen el tiempo y el trabajo necesarios para limpiar y cambiar herramientas o instrumentos (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

## 5.3. Mano de obra:

Es el esfuerzo físico o mental empleados para la elaboración de un producto.

- Directa: Es aquella directamente involucrada en la fabricación de un producto terminado, con facilidad se asocia a la elaboración del producto y su costo se ve reflejado en el precio en mayor cuantía.

- Indirecta: Es aquella que no tiene un costo significativo en el momento de la producción del producto, es necesario un mayor análisis para darse cuenta la manera en que se involucra en la elaboración (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

### **5.3.1. Costos indirectos de fabricación (CIF):**

Los costos indirectos de fabricación son aquellos costos que debe cubrir una fábrica para la manufactura de un producto, aparte de los materiales y la mano de obra directa (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

## **5.4. COSTOS UNITARIOS**

El costo unitario es el gasto total que incurre una compañía por producir, almacenar y vender una unidad de un producto o servicio en particular. Es un sinónimo del costo de mercancía vendida y del costo de ventas (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

**Tabla 5.1 Costos unitarios de equipos y componentes de módulo**

ITEM	CAN/UND	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	2 und	Tableros metálicos de 50x40cm	120.00	240.00
2	1 und	Tablero metálico de 50x60cm	165.00	165.00
3	1 und	Transformador trifásico 380-220/380-38V de 340VA	300.00	300.00
4	1 und	Transformador de aislamiento monofásico 220/220V de 110VA	120.00	120.00
5	1 und	Autotransformador de 220/110V de 50VA	80.00	80.00
6	2 und	Interruptores termomagnéticos de 3x10A	53.00	106.00
7	1 und	Interruptor termomagnético de 2x10A	35.00	35.00
8	1 und	Interruptor termomagnético de 1x2A	35.00	35.00
9	1 und	Interruptor diferencial 4x25A-I $\Delta$ n=30mA	85.00	85.00
10	1 und	Interruptor diferencial 2x25A-I $\Delta$ n=30mA	50.00	50.00
11	1 und	Interruptor de levas 1-0-2	36.00	36.00
12	1 und	Interruptor conmutador voltimétrico	36.00	36.00
13	1 und	Voltímetro de tablero de 0 a 500VAC	120.00	120.00
14	133 und	Terminales banana hembra de 4mm	1.00	133.00
15	20 und	Interruptores de codillo pequeños	1.50	30.00
16	68 und	Resistencias de potencia de diferentes valores	1.00	68.00
17	2 und	Placas universales de circuito impreso	2.50	5.00
18	4 und	Regletas de borneras de 20A	5.00	20.00
19	3 und	Porta fusibles para tablero	3.50	10.50
20	12 und	Patitas de jebe	2.00	24.00
21	6 und	Asas de metal	2.00	12.00
22	3 und	Calcomanías con el dibujo pictórico de los módulos	8.00	24.00
23	50 und	Metros de cable NPT número AWG 18	0.80	40.00
24	3 und	Cajas de paso 10x10cm	5.00	15.00
25	1 und	Ferretería varios	30.00	30.00
			<b>SUB TOTAL</b>	<b>1819.50</b>
			<b>(USD)</b>	

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 5.2 Costo total de módulo didáctico*

Equipos y componentes de módulo.	1819.50
Mano de obra de montaje, instalación y pruebas de módulo.	840.00
<b>TOTAL</b>	<b>2659.50</b>
<b>(USD)</b>	

Fuente: Elaboración propia



## CONCLUSIONES

### PRIMERA

El diseño, la fabricación y la implementación del módulo didáctico de análisis de fallas en sistemas de distribución TT, IT y TN cumple con los requerimientos necesarios para la capacitación de los estudiantes de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica.

### SEGUNDA

Se diseñaron y ejecutaron guías de laboratorio para el uso correcto del módulo didáctico permitiendo tomar registro de datos para realizar un análisis detallado de fallas eléctricas en sistemas de distribución TT, IT, TN.

### TERCERA

Con el diseño y ejecución de nuestro módulo didáctico estamos aportando en la implementación de los laboratorios de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica.

## RECOMENDACIONES

1. Trabajar con seguridad, orden y seriedad al momento de realizar las experiencias de laboratorio con el módulo didáctico.
2. Antes de energizar el módulo didáctico revisar que todos los interruptores automáticos estén abiertos y también comprobar el estado de los fusibles.
3. Para iniciar usar el módulo didáctico revisar a detalle los procedimientos e indicaciones que están establecidos en las guías de laboratorio propuestos.
4. Para realizar las mediciones eléctricas en nuestro módulo didáctico se recomienda emplear instrumentos de medición de verdadero valor eficaz (TRMS), para obtener mediciones más precisas.
5. Previos conocimientos sobre protecciones eléctricas para el uso correcto y seguro del módulo didáctico.

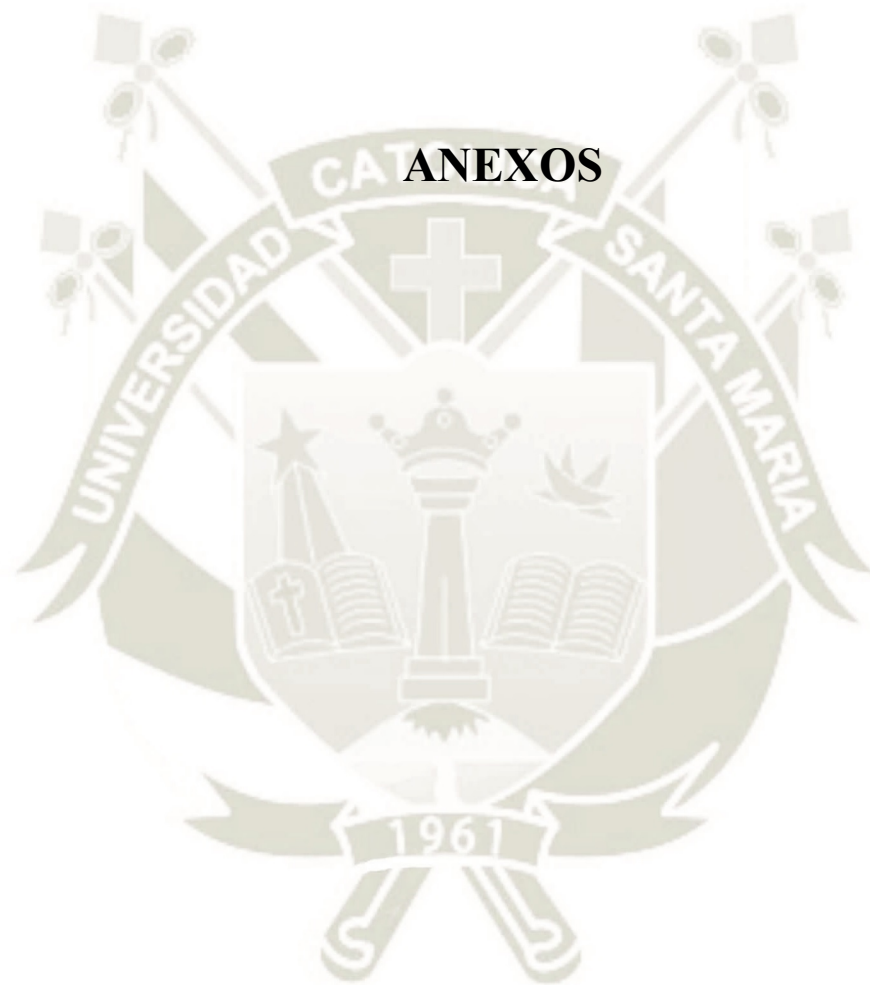
## REFERENCIA

- Alvarado, R. (2011). Interruptores termomagnéticos. *Electro Industria*.
- Areatecnologia.com. (s.f.). *El interruptor magnetotérmico*. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/magnetotermico.html>
- Bender. (s.f.). Obtenido de Sistema IT: Sistemas aislados de tierra para máxima disponibilidad: <https://www.bender-latinamerica.com/informacion-tecnica/tecnologia/sistema-it>
- Bender. (s.f.). Obtenido de Bender Latin America: <https://www.bender-latinamerica.com/productos/vigilancia-de-aislamiento-resumen>
- Bender. (s.f.). *Aspectos técnicos. Vigilantes de aislamiento ISOMETER Localización de fallos de aislamiento Soluciones de comunicación Bender. Seguridad Eléctrica*. Obtenido de <https://docplayer.es/5763013-Aspectos-tecnicos-vigilantes-de-aislamiento-isometer-localizacion-de-fallos-de-aislamiento-soluciones-de-comunicacion-bender-seguridad-electrica.html>
- Bhag, G., & Hüseyin, H. (2003). *Máquinas eléctricas y transformadores. Tercera edición*. Mexico: Servicios Editoriales Gráficos, S.A. .
- Bustamante Cuenca, J. (2011). *Evaluación y diagnóstico de la malla de puesta a tierra de la subestación obrapía con niveles de tensión de 69kv y 13.8kv perteneciente a la E.E.R.S.S.A, para cumplir con los parámetros establecidos por la norma IEEE Std 80-2000* . Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1102/16/UPS-CT002093.pdf>
- Chapman, S. C. (2000). *Máquinas eléctricas* . S.A.: Ed. M. Graw - Hill.
- Company bender. (s.f.). *¿Qué importancia tiene el esquema de conexión en una instalación?* Obtenido de <https://www.bender-latinamerica.com/informacion-tecnica/tecnologia/sistema-it>

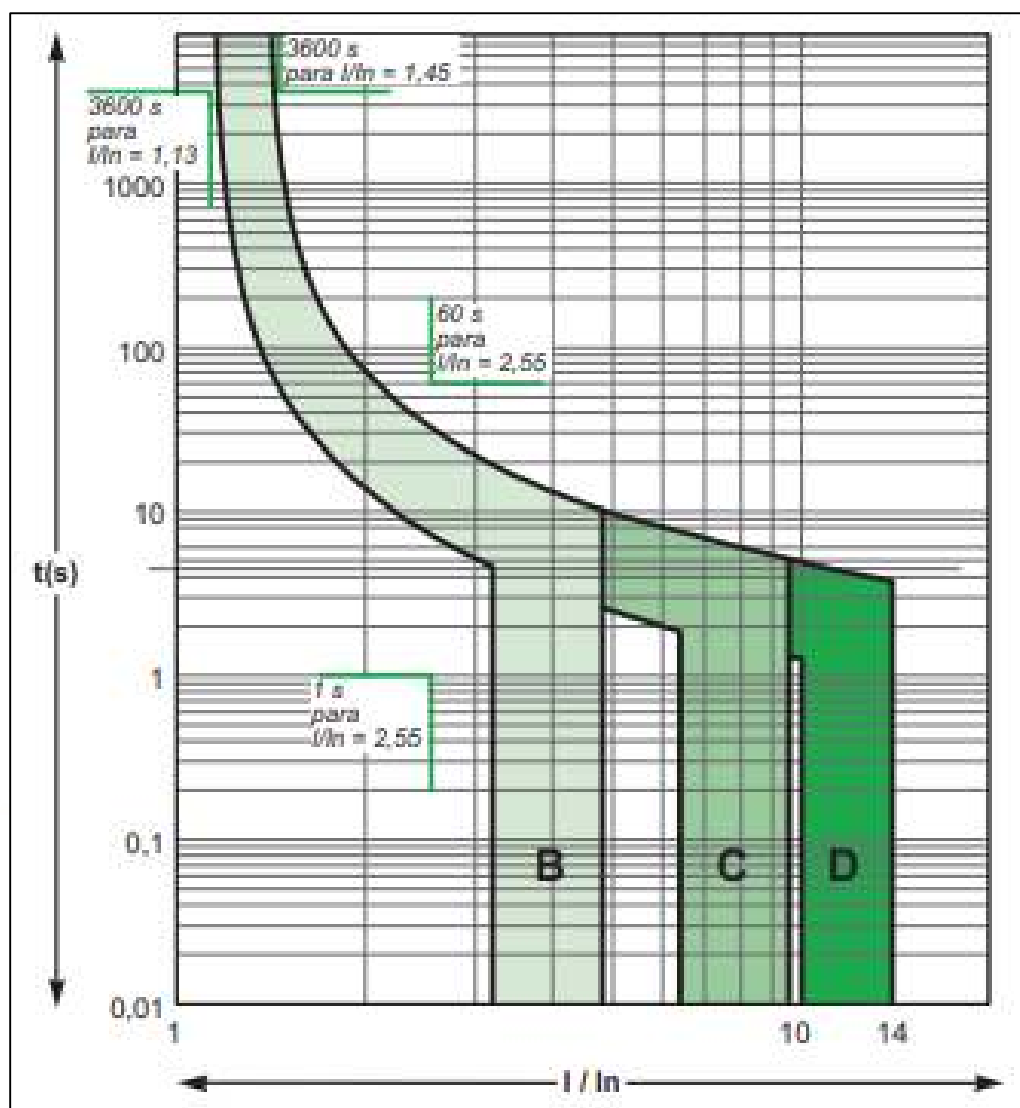
- Duche Zabala, E. (2013). *Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora el alisal para sistemas de telecomunicaciones de movistar*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5724/1/UPS-GT000517.pdf>
- Fierros. (2016). *DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICOS: USO Y CARACTERÍSTICAS*. Obtenido de <https://fierros.com.co/ediciones/ediciones-2edicion15/ediciones-2dispositivos-de-proteccion-electricos-uso-y-caracteristicas/>
- Flores Figueroa, K. (2017). *tesis - UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO*. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4945/Flores\\_Figueroa\\_Kevin\\_Renzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4945/Flores_Figueroa_Kevin_Renzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- fotosdeelectricidad.es>2014/10>bloque-3. (s.f.). *Anexo 10. Criterios de elección de los esquemas TT, TN e IT*. Obtenido de <http://fotosdeelectricidad.es/wp-content/uploads/2014/10/BLOQUE-3.pdf>
- Frailé, J. (2003). *Máquina eléctricas. Quinta edición*. España, M.: Ed. Mc. Graw - Hill.
- Gómez Alva, V. R. (2003). Obtenido de Protección en baja tensión de sistemas eléctricos 380/220v frente a contactos eléctricos: [https://1library.co/document/download/qo56vd7y#=\\_](https://1library.co/document/download/qo56vd7y#=_)
- Gonzalez Jiménez, G. A. (2011). *Selección y dirección de protecciones para baja tensión*. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0766\\_EA.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0766_EA.pdf)
- Gregor, R. (2007). *Manual de sistema de puesta a tierra*. Obtenido de [http://www.gedisa.com.ve/recientes\\_aun/catalogos/electricos/libreria\\_gediweld/libreria/00%20MANUAL%20GEDIWELD%202007%20COMPLETO%20B.pdf](http://www.gedisa.com.ve/recientes_aun/catalogos/electricos/libreria_gediweld/libreria/00%20MANUAL%20GEDIWELD%202007%20COMPLETO%20B.pdf)
- Lacroix, b. (1991). *CT-172 Los esquemas de conexión a tierra en BT (regímenes de neutro)*. Obtenido de [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Cahier+Technique&p\\_File\\_Name=CT172-V3.pdf&p\\_Doc\\_Ref=CT-172-Z002](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Cahier+Technique&p_File_Name=CT172-V3.pdf&p_Doc_Ref=CT-172-Z002)

- Lastra Romero, R. (2019). *Universidad nacional de san agustin de arequipa*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9350/UPlarora.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lino Carpio, A. (2017). *Implementación de un Módulo Didáctico de Transformadores Trifásicos de 3KVA. para Conexiones Especiales*. Obtenido de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM\\_749cf0f537caaa054037b56a74e55076](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM_749cf0f537caaa054037b56a74e55076)
- López, F. A., & Viteri, M. G. (2010). Obtenido de Aplicación de fusibles e interruptores termomagnéticos: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/101296/D-CD90818.pdf>
- M.A.R.F. (2011). *El interruptor termomagnético*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/10203782/>
- Mamani, Z. (2019). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para el arranque electrónico de motores eléctricos de inducción por controlador lógico programable (PLC)*. Obtenido de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/9885>
- Potter, P. d. (2011). *Notas de aplicación de los transformadores de aislamiento-todo productividad*. Obtenido de <http://todoproductividad.blogspot.com/2013/03/notas-de-aplicacion-de-los.html>
- Qqueshuayllo Cancha, W. (2005). *Diseño y ejecución de una puesta a tierra de baja resistencia*. Obtenido de [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/qqueshuayllo\\_cw/qqueshuayllo\\_cw.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/qqueshuayllo_cw/qqueshuayllo_cw.pdf)
- Rengifo, L., & Alvarez, D. (2011). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI - Repositorio UTC*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1153/1/T-UTC-0811.pdf>
- Rojas Ordoñez, R. (2009). Obtenido de Protección en baja tensión discriminando entre defectos de instalación y perturbaciones eléctricas: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3567/Rojas%20Ordo%c3%b1ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

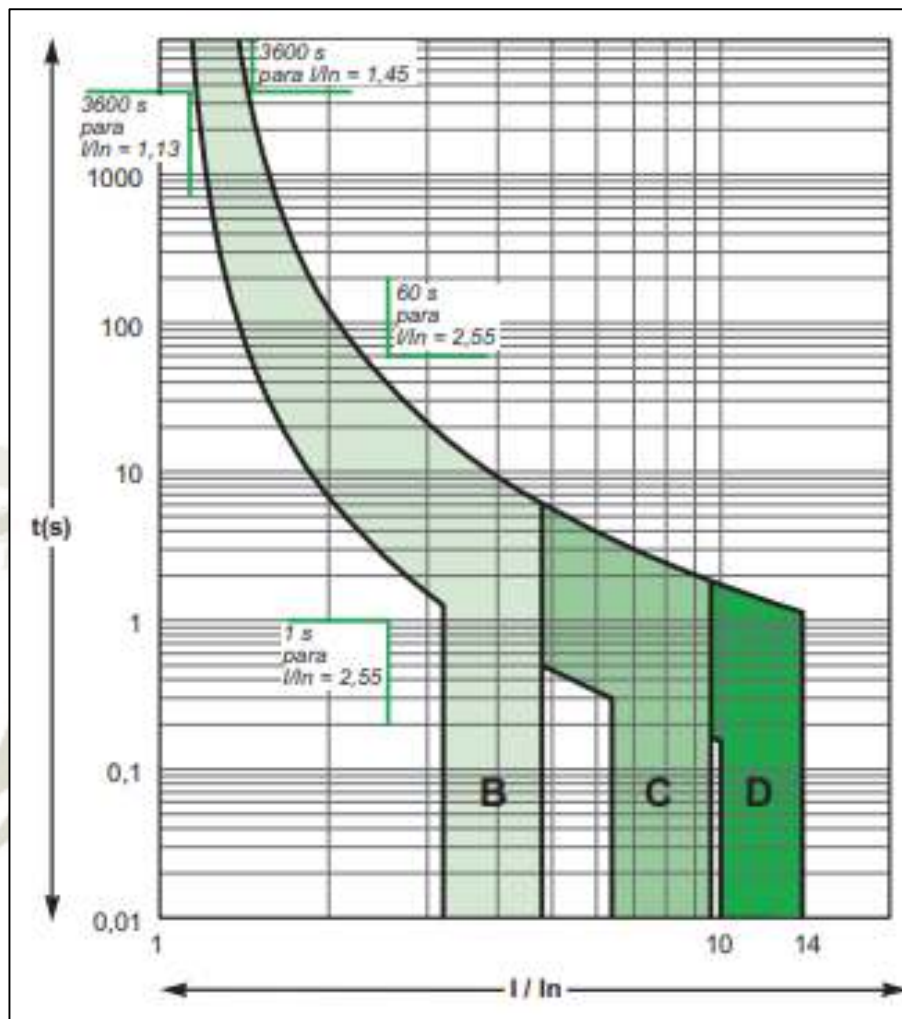
- Rojas, G. (2007). *manual de sistema de puesta a tierra*. Obtenido de [http://www.gedisa.com.ve/recientes\\_aun/catalogos/electricos/libreria\\_gediweld/libreria/00%20MANUAL%20GEDIWELD%202007%20COMPLETO%20B.pdf](http://www.gedisa.com.ve/recientes_aun/catalogos/electricos/libreria_gediweld/libreria/00%20MANUAL%20GEDIWELD%202007%20COMPLETO%20B.pdf)
- Schneider Electric. (2008). *Guía de diseño de instalaciones eléctricas - Eduscol*. Obtenido de <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/946/946-guia-instalaciones-electricas-2008-s.e.pdf>
- Uned. (2019). *MASTER DEGREE: Master Degree: Ingenieria de sistemas industriales*. Obtenido de [http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE6\\_1\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf)
- Vazquez Muñoz, E. (2016). *DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE UNA SUBESTACION ELECTRICA MEDIANTE DOS METODOLOGIAS.pdf*. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21003/DISE%C3%91O%20DEL%20SISTEMA%20DE%20PUESTA%20A%20TIERRA%20DE%20UNA%20SUBESTACION%20ELECTRICA%20MEDIANTE%20DOS%20METODOLOGIA%20S.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villa Garcia, M. (2010). *criterios de seguridad en la aplicacion de puesta a tierra en instalaciones electricas de edificios*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13670/1/D-43182.pdf>
- Villarruel, V., & Guevara, Y. (2014). *Repositorio digital universidad técnica del norte*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4116/1/05%20FECYT%202073%20TESIS.pdf>



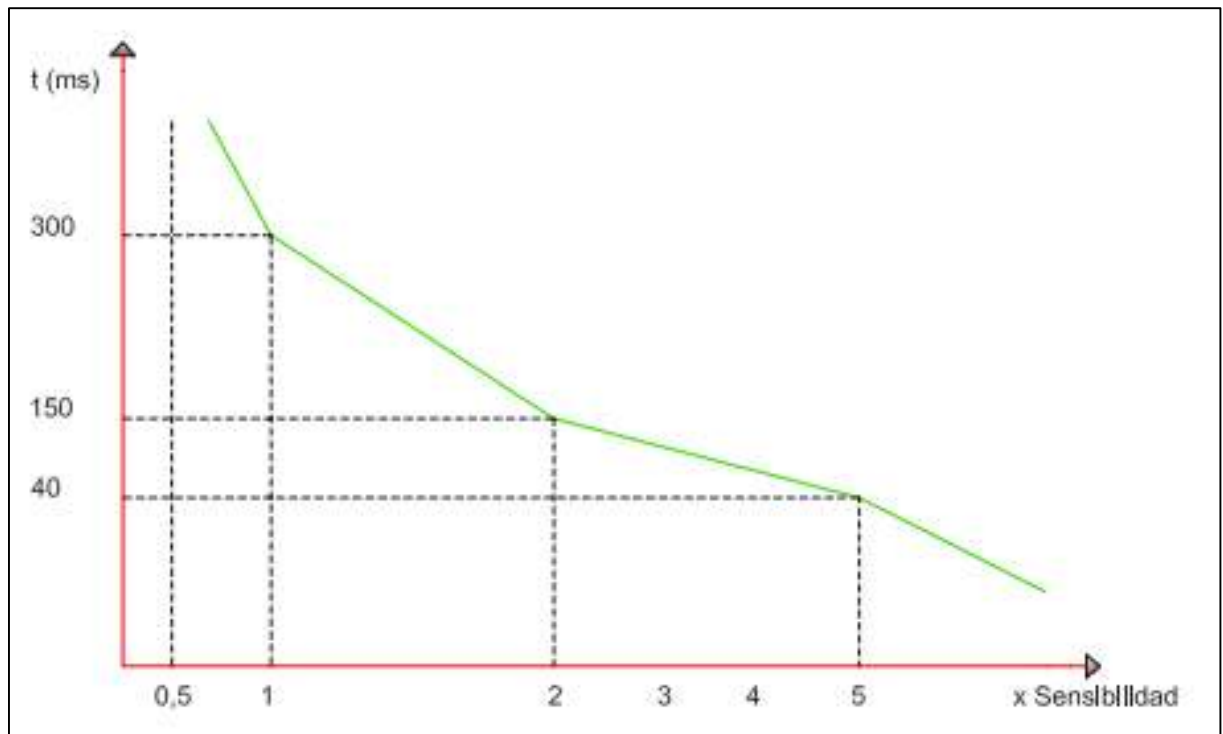
**ANEXO A: CURVA DE DISPARO B, C, D CALIBRE HASTA 4A INTERRUPTOR  
TERMOMAGNETICO SCHNEIDER ELECTRIC**



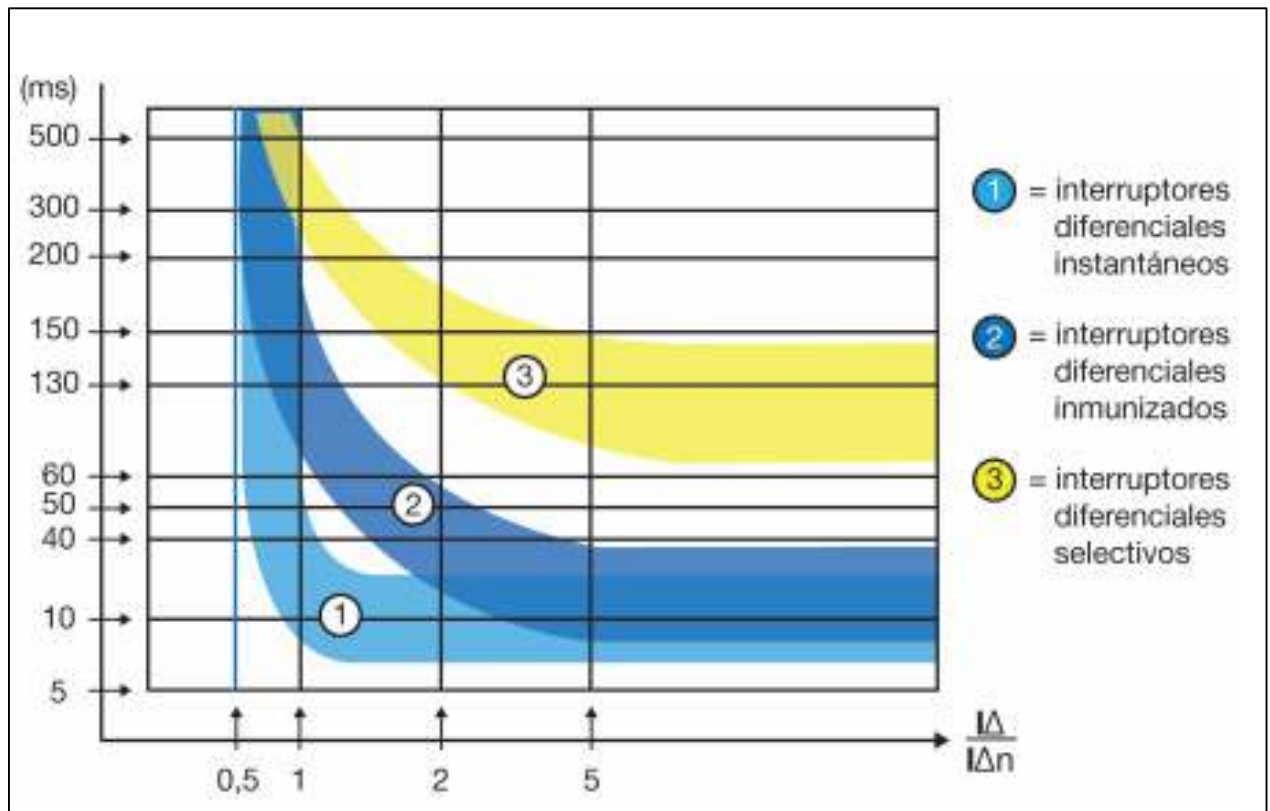
**ANEXO B: CURVA DE DISPARO B, C, D CALIBRES DE 6 A 63A  
INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO SCHNEIDER ELECTRIC**



### ANEXO C: CURVA DE DISPARO ( $I\Delta n/t$ ) DE INTERRUPTOR DIFERENCIAL

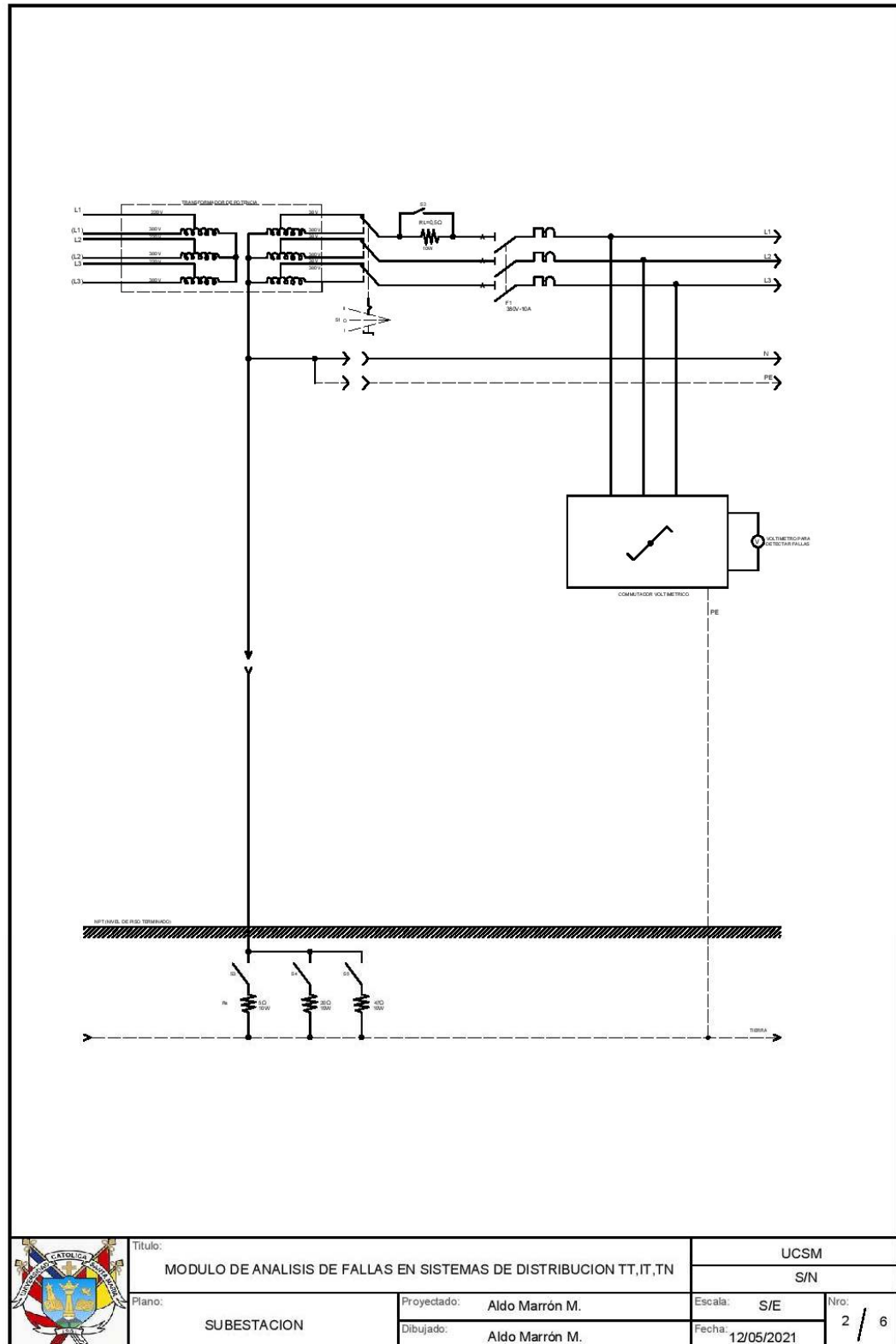


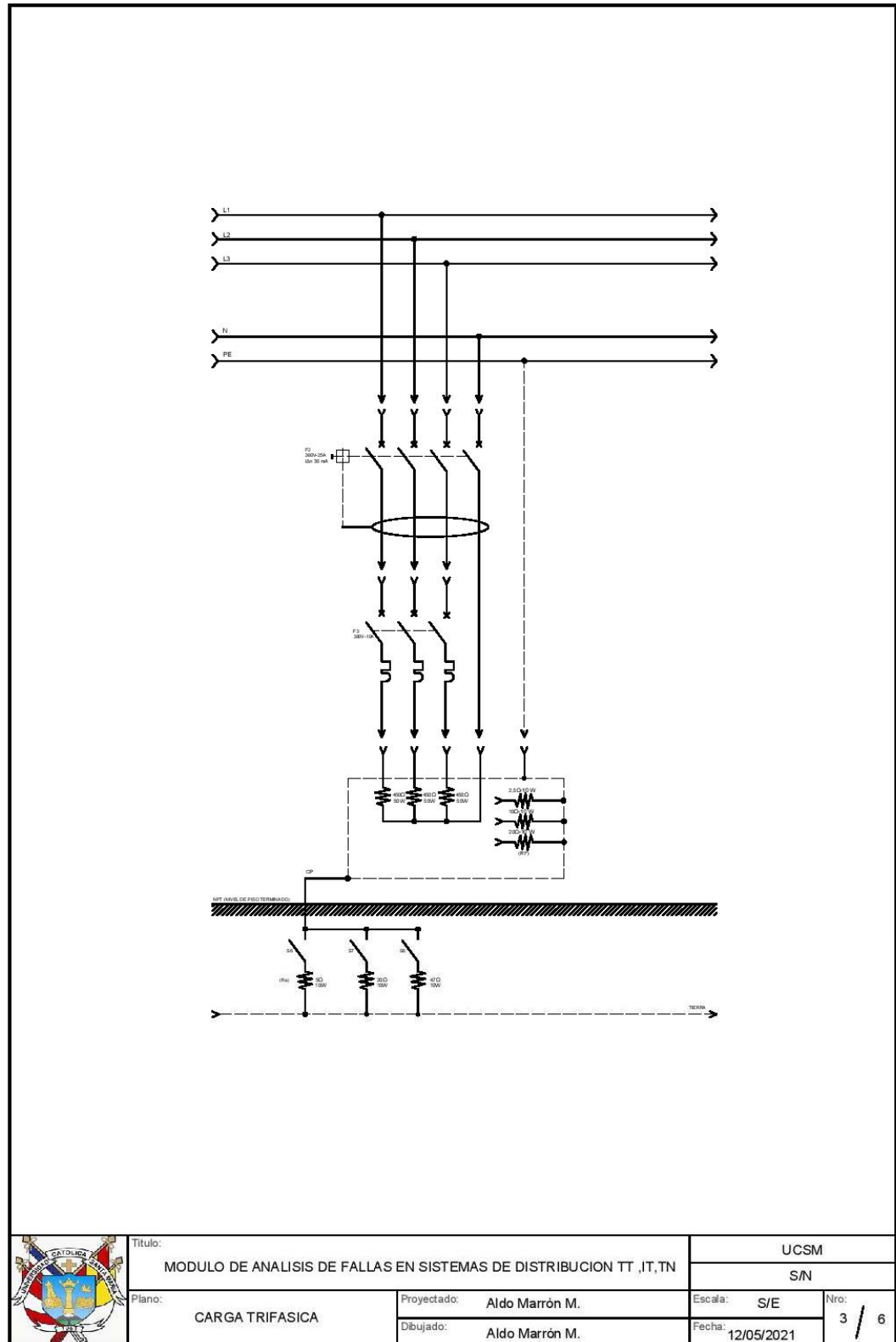
### ANEXO D: CURVAS DE DISPARO DIFERENCIAL

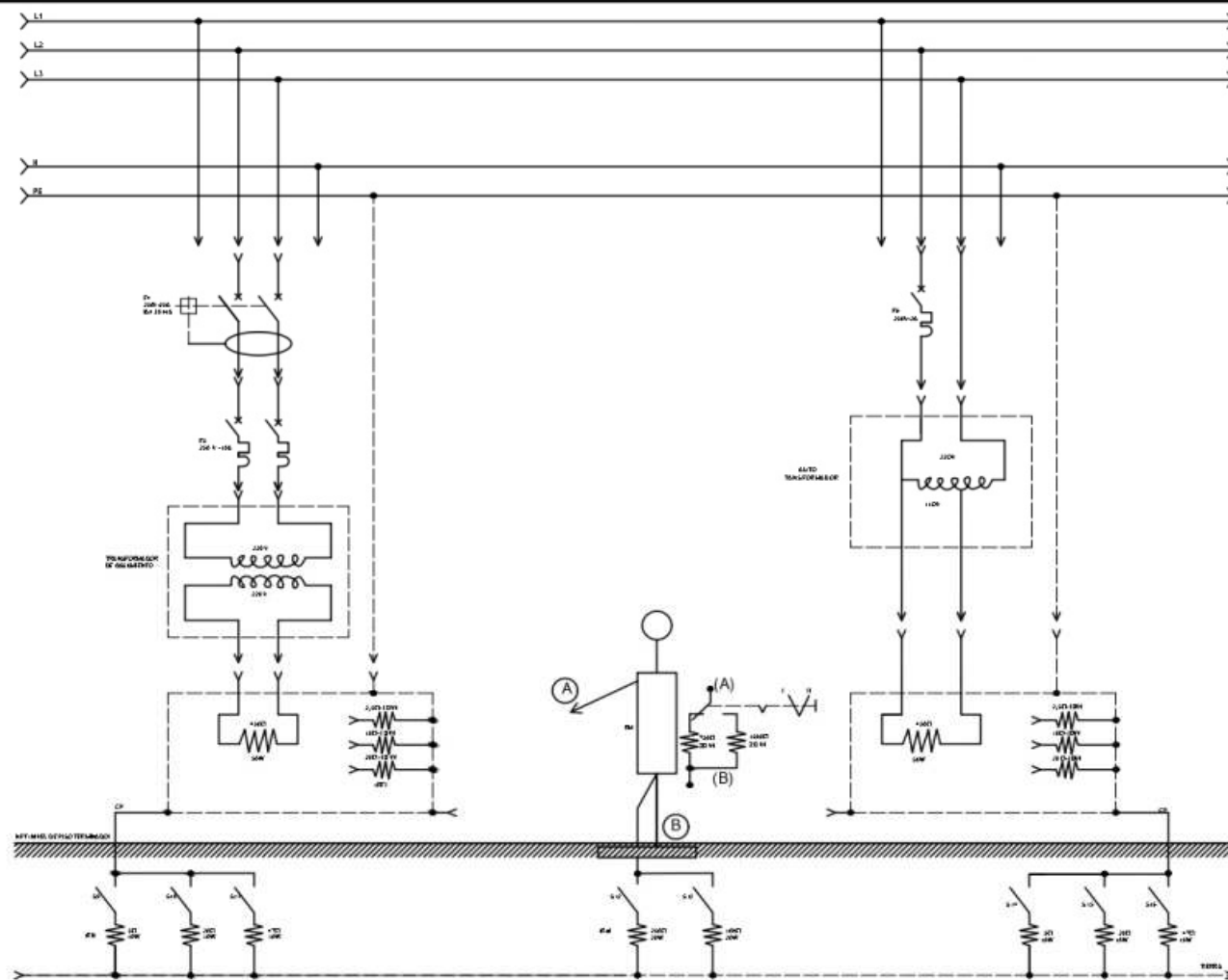




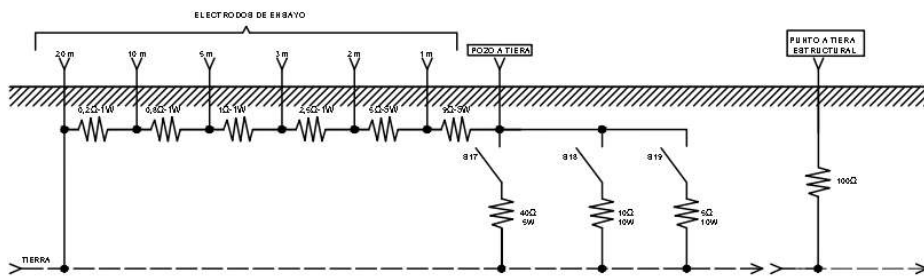
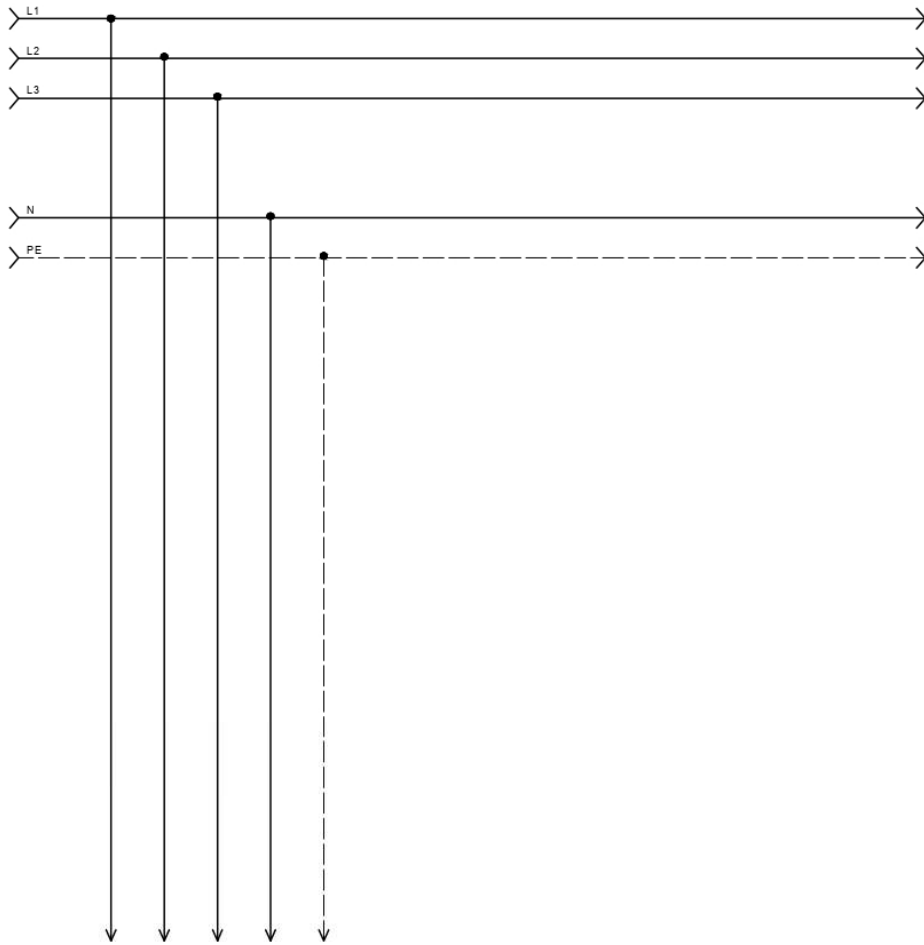




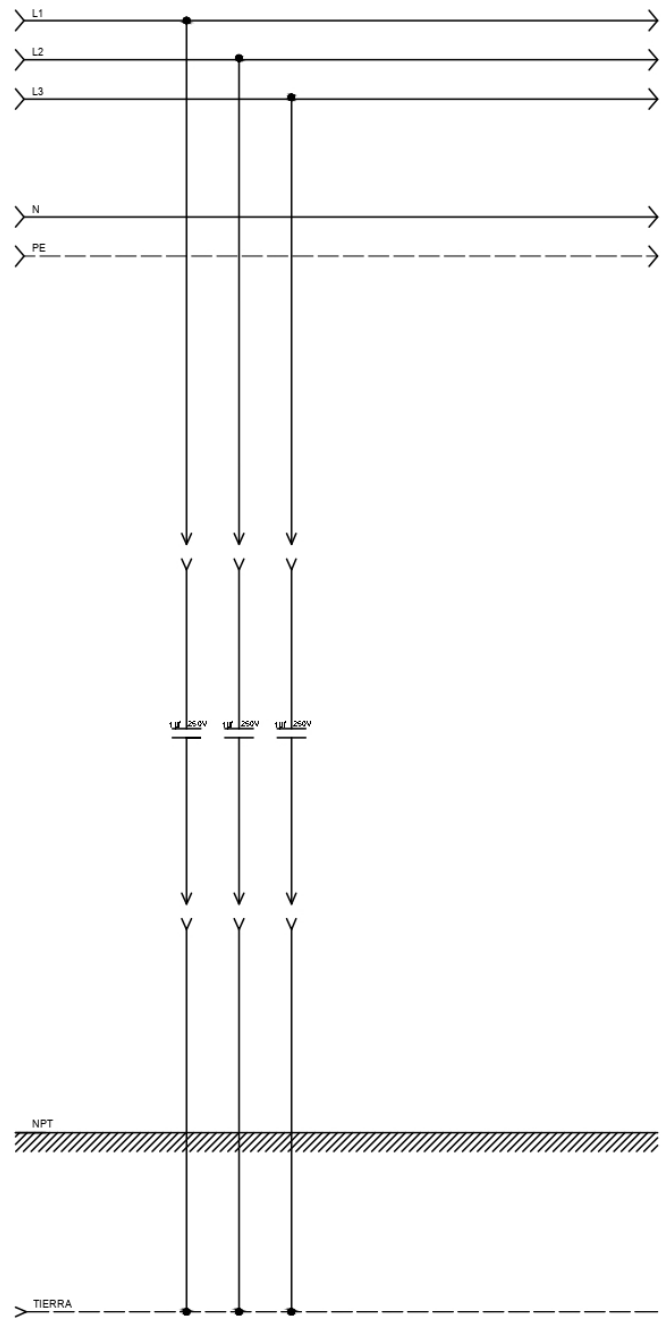




Título:	MÓDULO DE ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN TT, IT, TN		UCSM		
			S/N		
Plano:	CARGA MONOFÁSICA CON TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO Y AUTOTRANSFORMADOR	Proyectado:	Aldo Marrón M.	Escala:	S/E
		Dibujado:	Aldo Marrón M.	Fecha:	12/05/2021
				Nro:	4 / 6



Título: <b>MODULO DE ANALISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION TT ,IT ,TN</b>	UCSM		
	S/N		
Plano: <b>CONO DE TENSION TENSION DE PASO</b>	Proyectado: Aldo Marrón M.	Escala: S/E	Nro: 5 / 6
	Dibujado: Aldo Marrón M.	Fecha: 12/05/2021	



Titulo: <b>MODULO DE ANALISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION TT ,IT, TN</b>	UCSM		
	S/N		
Plano: <b>EFFECTO CAPACITIVO DE LINEA A TIERRA</b>	Proyectado: <b>Aldo Marrón M.</b>	Escala: <b>S/E</b>	Nro: <b>6 / 6</b>
	Dibujado: <b>Aldo Marrón M.</b>	Fecha: <b>12/05/2021</b>	