

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD  
DE INGENIERA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**“PROTECCIÓN CON AJUSTES DE LOS RELÉS  
PARA OBTENER ALTA CONFIABILIDAD EN  
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA”**

**RESOLUCIÓN RECTORAL N° 949-2019-R DEL 27/09/2019.  
PERIODO DE EJECUSIÓN: 27/09/2019 – 30/09/2020**

**JESÚS HUBER MURILLO MANRIQUE**

**CALLAO - 2020**

**PERÚ**



**A mis padres Anita y Zenobio por qué sin su apoyo y ejemplo no hubiese llegado concluir con mis metas.**

## **AGRADECIMIENTO**

**De manera muy especial agradezco al Ing. Víctor Ortega Polo por su disposición, consejos y apoyo en la elaboración de este trabajo.**

**A la empresa HMINGS S.R.L. por su apoyo económico y la información brindada.**

**A mis colegas y demás profesionales que me brindaron su incondicional ayuda para que este trabajo llegue a concluirse.**

# INDICE

|   |    |
|---|----|
| INDICE .....  | 5  |
| LISTA DE TABLAS .....   | 8  |
| LISTA DE FIGURAS.....   | 9  |
| RESUMEN .....   | 11 |
| I.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....  | 13 |
| 1.1. ANTECEDENTES TÉCNICOS Y DATOS VINCULADOS A LA INVESTIGACIÓN .....          | 14 |
| 1.2. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....                       | 14 |
| 1.3. CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL RELÉ 50 Y 51 .....                       | 14 |
| 1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....   | 15 |
| General .....   | 15 |
| Específicos.....  | 15 |
| 1.5. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....   | 15 |
| 1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA PRINCIPAL .....                                 | 16 |
| Específicos .....   | 16 |
| 1.7. LIMITACIONES Y FACILIDADES.....  | 19 |
| II.- MARCO TEÓRICO .....  | 21 |
| 2.1. BASES TEÓRICAS.....  | 21 |
| 2.2. ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....                            | 21 |
| 2.2.1. Procedimiento de coordinación .....                                      | 21 |
| 2.2.2. Principios de tiempo / calificación actual .....                         | 23 |
| 2.2.3. Discriminación por tiempo.....   | 23 |
| 2.2.4. Discriminación por corriente .....                                       | 25 |
| 2.2.5. Discriminación por tiempo y corriente.....                               | 28 |
| 2.3. PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRECARGAS Y CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO. ....     | 30 |
| 2.4. CARÁCTERÍSTICAS DE LAS SOBRECORRIENTES Y CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO..... | 31 |
| 2.4.1. Sobre intensidad de fase retardada en el tiempo (51).....                | 32 |
| 2.4.2. Sobreintensidad de fase instantánea (50) .....                           | 33 |
| 2.4.3. Sobre corriente de falla a tierra retardada en el tiempo..               | 33 |
| 2.4.4. Funciones de sobre intensidad fase y tierra .....                        | 34 |
| 2.4.5. Sobrecorriente de falla a tierra instantánea (50N).....                  | 36 |
| 2.4.6. Función de arranque (50/50N) .....                                       | 37 |
| 2.4.7. Umbrales de tiempo constante.....  | 37 |
| 2.4.8. Umbrales de tiempo inverso (curvas de tiempo inverso)                    | 37 |
| 2.4.9. Temporización de reinicialización.....                                   | 38 |
| 2.4.10. Temporización de reinicialización ajustable.....                        | 38 |
| 2.5. SELECTIVIDAD ENTRE PROTECCIONES .....                                      | 40 |
| III.- HIPÓTESIS Y VARIABLES.....  | 48 |
| 3.1. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....  | 48 |
| 3.1.1. Hipótesis principal .....  | 48 |
| 3.1.2. Hipótesis secundarias.....   | 48 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.2.   | FORMULACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....   | 48 |
| 3.3.   | METODOLOGÍA PARA LA CONTRASTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....  | 49 |
| 3.4.   | ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES Y MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS PRINCIPALES PARA ASÍ SER UTILIZADOS EN LA COORDINACIÓN AMPERIMÉTRICA Y CRONOMÉTRICA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS. .... | 49 |
| IV.-   | DISEÑO METODOLÓGICO .....   | 51 |
| 4.1.   | ANÁLISIS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....   | 51 |
| 4.1.1. | Tipo y diseño de la investigación.....  | 51 |
| 4.1.2. | Método de la investigación.....   | 51 |
| 4.1.3. | Lugar de estudio y periodo desarrollado.....  | 52 |
| 4.2.   | CRITERIOS DE LOS AJUSTES DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN .....  | 53 |
| 4.2.1. | TABLERO DE TRASFERENCIA AUTOMÁTICA .....  | 58 |
| 4.2.2. | DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELÉCTRICO .....   | 59 |
| 4.2.3. | SELECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....  | 60 |
| 4.2.4. | GRUPO ELECTRÓGENO.....  | 60 |
| 4.2.5. | ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.....  | 61 |
| 4.2.6. | COMPENSACIÓN REACTIVA EN BAJA TENSIÓN.....  | 63 |
| 4.3.   | ESTUDIO DE LA COORDINACIÓN DE LA PROTECCIÓN .....   | 64 |
| 4.3.1. | AJUSTES DE LA PROTECCIÓN EN BAJA TENSIÓN .....  | 67 |
| 4.3.2. | Ajustes de las corrientes en ITM1 – TTA – ITM2.....   | 69 |
| 4.3.3. | Ajustes de las corrientes en ITM4 – TTC – ITM3.....   | 70 |
| 4.3.4. | Ajustes de las corrientes en ITM2 – ITMB.....   | 72 |
| 4.3.5. | Ajustes de las corrientes en ITM2 – ITMB.....   | 73 |
| 4.3.6. | Ajustes de las corrientes en ITM2 – ITMB.....   | 74 |
| 4.3.7. | En media tensión.....   | 76 |
| 4.3.8. | Ajustes de las corrientes en ITM2 – ITMB.....   | 77 |
| 4.3.9. | Diagrama unifilar en media tensión .....  | 79 |
| V.-    | RESULTADOS .....  | 81 |
| 5.1.   | FUNCIONES DE CONTROL DEL 50/51 .....  | 81 |
| 5.2.   | CARACTERÍSTICAS DE MEDICIÓN DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.....  | 81 |
| 5.3.   | CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL RELÉ 50/51 .....  | 81 |
| 5.4.   | MAYOR ESTABILIDAD EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS .....  | 82 |
| 5.5.   | EN LA APLICACIÓN INDUSTRIAL .....   | 82 |
| VI.-   | DISCUSIÓN.....  | 83 |
| 6.1.   | CONTRASTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE LOS RESULTADOS ....   | 84 |
| 6.2.   | CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON OTROS ESTUDIOS SIMILARES.....   | 84 |
| 6.3.   | RESPONSABILIDAD ÉTICA DE ACUERDO A LOS REGLAMENTOS VIGENTES .....   | 85 |
| VII.-  | CONCLUSIONES.....   | 86 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| VIII.- RECOMENDACIONES .....          | 88 |
| IX.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 90 |
| X.- ANEXOS .....                      | 93 |



## LISTA DE TABLAS

- Tabla N° 2.1.- Modelos de protección disponibles.
- Tabla N° 2.2.- Protección de sobre intensidad de fase.
- Tabla N° 2.3.- Protección de sobre intensidad de tierra.
- Tabla N° 2.4.- Características del tiempo inverso disponibles.
- Tabla N° 2.5.- Características de funciones integradas.
- Tabla N° 3.1.- Operacionalización de las variables.
- Tabla N° 4.1.- Elaboración del cuadro general de cargas.
- Tabla N° 4.2.- Elaboración de las cargas no críticas.
- Tabla N° 4.3.- Elaboración del cuadro de cargas críticas.
- Tabla N° 4.4.- Cables alimentadores e interruptores termomagnéticos
- Tabla N° 4.5.- Configuración de los cables alimentadores.
- Tabla N° 4.6.- Potencia equivalente del CCM.
- Tabla N° 4.7.- Elaboración del sistema binario vía algebra de BOYLE.
- Tabla N° 4.8.- Características del grupo electrógeno.
- Tabla N° 4.9.- Sistema radial con discriminación de tiempo.
- Tabla N° 4.10.- Reporte de estudio de la corriente de corto circuito.
- Tabla N° 4.11.- Compensación reactiva de las cargas no críticas.
- Tabla N° 4.12.- Compensación reactiva de las cargas críticas.
- Tabla N° 4.13.- Características de los interruptores de potencia.
- Tabla N° 4.14.- Características de transformador e ITM.
- Tabla N° 4.15.- Características de transformador de corriente.
- Tabla N° 6.1.- Datos típicos de los relés de sobrecorriente



## **LISTA DE FIGURAS**

- Figura N° 1.1.- Interruptores de potencia utilizados
- Figura N° 2.1.- Sistema radial con discriminación de tiempo.
- Figura N° 2.2.- Sistema radial con discriminación de tiempo.
- Figura N° 2.3.- Características del relé para diferentes configuraciones.
- Figura N° 2.4.- Características de la corriente de fase vs tiempo
- Figura N° 2.5.- Lógica de los umbrales fase fases.
- Figura N° 2.6.- Curvas de corriente vs tempo inverso corto.
- Figura N° 2.7.- Curvas de corriente vs tempo inverso normal.
- Figura N° 2.8.- Curvas de corriente vs tempo muy inverso.
- Figura N° 2.9.- Curvas de corriente vs tempo extremadamente inverso.
- Figura N° 2.10.- Curvas de corriente vs tempo largo inverso.
- Figura N° 2.11.- Terminales ubicados en la parte posterior del relé.
- Figura N° 2.12.- Diagrama típico de aplicación de los relés.
- Figura N° 4.1.- Diagrama unifilar del sistema eléctrico.
- Figura N° 4.2.- Transformador de potencia en baño de aceite.
- Figura N° 4.3.- Grupo electrógeno de potencia marca Cummis.
- Figura N° 4.4.- Características de los relés de tiempo definido.
- Figura N° 4.5.- Coordinación de la protección entre la zona de baja tensión correspondiente al sector del concesionario.
- Figura N° 4.6.- Coordinación de la protección entre la zona de baja tensión correspondiente al sector de la zona de emergencia.
- Figura N° 4.7.- Curvas del sistema eléctrico concesionario LDS – TG01
- Figura N° 4.8.- Curvas del sistema eléctrico Emergencia - TG02
- Figura N° 4.9.- Curvas del sistema eléctrico Emergencia - ITM2 – TIE
- Figura 4.10.- Curvas del sistema eléctrico ITM02 - TG01
- Figura 4.11.- Curvas del sistema eléctrico ITM03 - TG02
- Figura 4.12.- Curvas del sistema eléctrico ITM01 – R21
- Figura 4.13.- Diagrama unifilar del sistema de media tensión.
- Figura N° 11.1.- Tiempo vs Corriente moderadamente inverso.
- Figura N° 11.2.- Tiempo vs Corriente normalmente inverso.
- Figura N° 11.3.- Tiempo vs Corriente muy inverso.

Figura N° 11.4.- Tiempo vs Corriente extremadamente inverso.

### Lista de Abreviaturas

ANSI American national standard IEEE Institute of electrictric and electrónics engineers

IEC [International Electrotechnical Commission](#)

NEMA National Electrical Manufacturers Association

IP Índice de protección mecánica

BVQI Berau Veritas Quality Institute

### Número de Dispositivo según Normas del IEEE

| Código IEEE  | Nomenclarua                       | Descripcion general de la función   |
|--|-----------------------------------|---|
| 50.  | Relé Sobre intensidad Instantánea | Relé que funciona instantáneamente con un valor excesivo de intensidad o con un régimen excesivo de subida de intensidad, indicando una falla en el aparato o en el circuito protegido. |
| 51.  | Relé de Tiempo - Sobreintensidad  | Relé con característica de tiempo tanto definido como inverso que funciona cuando la intensidad en un circuito ca excede el valor predeterminado.                                       |
| 52.  | Interruptor ac                    | Dispositivo que se usa para cerrar e interrumpir un circuito de potencia ca bajo condiciones normales o para interrumpir este circuito bajo falla o en condiciones de emergencia.       |
| El Número de Dispositivo Estándar IEEE para dispositivos de potencia está respaldado por documentos del IEEE, IEEE Standard Electrical |                                   |   |
| Power System Device Function Numbers and Contact Designations, # C37.2-1996, ISBN 0-7381-0732-8  |                                   |   |



## RESUMEN

Dado el nivel económico de nuestro país, las empresas industriales actualmente tienen sistemas eléctricos de potencia industriales y comerciales atendidos elementos de accionamiento convencionales los mismos que carecen de los estudios de coordinación de la protección y por ende no han sido ajustados a los requerimientos de sus cargas.

En el presente trabajo utilizamos equipos modernos que han sido construidos con los actuales avances tecnológicos, los mismos que son imprescindibles en los sistemas eléctricos industriales seguros tales como lo hacen las empresas fabriles y minerías dado su alta confiabilidad.

El presente trabajo inicialmente modela el sistema eléctrico, basado en resistencias e inductancias y sobre este modelo se aplica el estudio de la coordinación de las protecciones logrando márgenes aceptables de corriente, tensión y frecuencia nominales.

Los conceptos antes mencionados se han aplicado en las instalaciones de la empresa RST INGENEIRORS S.A.C. ubicados en la zona industrial Macropolis del distrito de Lurín Departamento y provincia de Lima.

Los relés utilizados se hallan dentro de las funciones recomendadas por la IEEE Std C37. 2 1996, los mismos que integrados con las demás funciones según las necesidades de las máquinas a ser gobernadas y protegidas.

Para lograr los resultados descritos anteriormente se operan con sistemas de comunicación modernos totalmente automatizados manteniendo una alta autonomía, seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico.

Palabras clave: Relé de protección, automatización, confiabilidad de sistemas eléctricos y estudio de la coordinación de la protección.



## ABSTRACT

Given the economic level of our country, industrial companies currently have industrial and commercial power electrical systems attended by conventional drive elements, which lack protection coordination studies and therefore have not been adjusted to the requirements of their loads.

In this work we use modern equipment that has been built with current technological advances, the same ones that are essential in safe industrial electrical systems such as manufacturing companies and mining companies, given their high reliability.

The present work initially models the electrical system, based on resistors and inductances, and on this model the study of the coordination of protections is applied, achieving acceptable margins of nominal current, voltage and frequency.

The aforementioned concepts have been applied in the facilities of the company RST INGENEIRORS S.A.C. located in the Macropolis industrial zone of the district of Lurin Department and province of Lima.

The relays used are within the functions recommended by IEEE Std C37. 2 1996, the same ones that are integrated with the other functions according to the needs of the machines to be controlled and protected.

To achieve the results described above, fully automated modern communication systems are operated while maintaining high autonomy, safety and reliability of the electrical system.

Keywords: Protection relay, automation, reliability of electrical systems and study of protection coordination.



## I.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente trabajo de investigación se desarrollan los conceptos básicos, análisis, diseño e implementación del estudio de las coordinaciones de protección eléctrica tomando el desarrollo del proyecto industrial RST INGENIEROS S.A.C., para de esta manera poder optimizar su operatividad en:

- ✓ Mediante la implementación de los tableros de transferencia automáticos.
- ✓ La utilización de las funciones 51/50 (relés de sobrecorriente temporizada y corriente de corto circuito instantáneo respectivamente).
- ✓ Uso de las curvas de los relés de sobre corriente según las normas IEC e IEEE desarrolladas en el marco teórico.
- ✓ Elaboración de un tablero con última tecnología con cargas críticas y cargas no críticas unidad a través del interruptor TIE (interruptor de enlace).
- ✓ Así mismo se ha elaborado la compensación reactiva a ambos tipos de carga.
- ✓ Se han realizado los estudios que me han permitido hacer la selectividad amperimétrica y cronométrica del sistema eléctrico.

Con este estudio de coordinación de la protección del sistema eléctrico sea dotado a la empresa propietaria un sistema eléctrico con fuente principal y de emergencia en trabajo totalmente automático para lo cual se ha utilizado las funciones (50) y (51), protección de corriente homopolar (51N) y (50N).

Por las razones indicadas anteriormente y para optimizar la operatividad de las protecciones de los sistemas eléctricos de potencia, es que se ha previsto en nuestro trabajo la implementación de los relés 50 y 51 ya que son equipos modernos conectados a una red de control y protección los cuales evitarán que por cualquier motivo se establezca una mala operación.



### **1.1. Antecedentes técnicos y datos vinculados a la Investigación**

Las funciones 50 y 51 a ser instalados en los paneles de control, protección y mando, basado en un microprocesador, diseñado para aplicaciones tanto en normas IEC e IEEE. Sólo se requiere un transformador de corriente como sensor de corriente del circuito trifásico. La intensidad secundaria de estos transformadores es de 5 A las mismas que están totalmente integradas en cada equipo.

Es principalmente aplicado en circuitos de distribución de Media y Baja Tensión. Así mismo monitorea los parámetros de corriente de los alimentadores principales y derivados del sistema.

Los ingenieros de los sistemas de protección son los responsables de la programación y ajustes adecuados de todas las funciones de protección antes descritas.

### **1.2. Importancia y justificación de la investigación**

Los relés 50 y 51 está constituido por: tres entradas de medición de intensidad, contactos secos normalmente abiertos y cerrados para las órdenes de salida de los circuitos que tienen desempeño erróneo.

En base al firmware cargado en la memoria flash del sistema informático y las configuraciones ingresadas manualmente por el cliente a través del panel frontal o a través del puerto USB usando el programa de protección los relés 50 y 51 observa las entradas, configura las salidas y guarda datos para que los recupere el usuario.

### **1.3. Características de protección del relé 50 y 51**

Son las siguientes:

- ✓ Sobrecarga de fase temporizada.
- ✓ Sobrecarga de corriente homopolar.



- ✓ Sobrecarga instantánea (corriente de corto circuito).
- ✓ Elementos adicionales de alarmas.

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

##### **General:**

Realizar el estudio de la coordinación de la protección y hacer los ajustes de los relés para que el sistema eléctrico pueda operar con una confiabilidad adecuada

##### **Específicos**

1. Hacer la coordinación de la protección para elaborar la tabla de valoraciones a los cuales deben ser coordinados los relés de tal manera que me permitan optimizar la operatividad de los sistemas eléctricos.
  
2. Ajustar los parámetros eléctricos principales y derivados de los relés, utilizando la tabla de valoraciones, de tal forma que nos permita optimizar la operatividad de los sistemas eléctricos.

#### **1.5. Alcance de la investigación**

Con las protecciones dadas por las funciones IEC e IEEE 50 y 51 se realizan los ajustes de las protecciones logrando la optimización en la operatividad pudiéndose visualizar los valores mediante una pantalla externa.

Con las funciones antes indicadas se logra la selectividad amperimétrica y cronométrica. Las certificaciones tienen su sistema de calidad certificado de acuerdo con los requerimientos industriales e internacionales.



## 1.6. Planteamiento del problema Principal:

¿Los sistemas eléctricos de potencia no cuentan con los estudios de coordinación de la protección con ajustes de sus relés del sistema eléctrico motivo por el cual la confiabilidad no es la adecuada?

### Específicos

1. ¿Dado el alto nivel de perturbaciones, en el sistema eléctrico, es necesario realizar los estudios de coordinación de la protección y de ésta manera optimizan la operatividad del sistema eléctrico?
2. ¿Dado que la calidad de energía es necesario realizar los ajustes de los relés conociendo los niveles de armónicos existentes?

Los sistemas eléctricos de potencia e industriales actuales manejan tecnología punta en la fabricación, operación, protección, control y medición de los circuitos eléctricos los mismos que son aplicados a las industrias, textiles, manufactureras y mineras y para cumplir con este tipo de trabajo es que se utilizan las funciones 50/51 50N/51 el cual realiza todas éstas funciones.

Para su mejor entendimiento es que presentamos una relación de aplicaciones industriales de los relés se sobre corriente:

- En celdas de media tensión comandando los interruptores de potencia motorizados para trabajo en automático.
- Relés de protección de los sistemas eléctricos.
- Tableros de transferencia automática.
- Como parte de un sistema típico de protecciones.
- Para su operatividad son necesarios los sistemas de accionamiento con coordinación total.



Como podemos notar en la descripción general de los relés antes mencionados no son muy utilizados debido a que los costos más o menos son elevados y el cliente no aplica una plena integración de su sistema eléctrico y/o su integración es parcial dentro de la topología de su circuitería.

En la figura N° 1.1 se muestran los equipos utilizados en el desarrollo del estudio de coordinación de la protección de nuestro tema, en él se puede visualizar claramente el papel que desempeñan los relés 50/51, diseñados para atender los procesos automatizados e integrados con cargas críticas y no críticas con fuentes normales y emergencia.

EntelliGuard L es una nueva línea de Interruptores Automáticos en Aire desarrollado como producto Global conforme a los estándares IEC. Disponible en 3 y 4 polos, con rangos desde 400A hasta 4.000A en 2 tamaños con un poder de corte de 50 y 65 kA.

El diseño ofrece una única combinación de corriente de alta de falla con regulación, interrupción por falla cortas de tiempo y selectividad.

El dispositivo incluye una nueva unidad de protección que otorga al interruptor la seguridad protegerse a sí mismo y a su medio ambiente. Estos Interruptores fueron diseñados para soportar múltiples disparos de corriente de falla y ser usados en redes de corriente alterna con voltajes de hasta 690V.

Para más detalle se presenta la identificación del producto:

1. Indicador de accesorio instalado
2. Unidad de protección
3. Maneta de carga Manual
4. Botones ON / OFF
5. Indicador de posición ON / OFF
6. Indicador de listo para cerrar.
7. Indicador de mecanismo de carga



8. Contador de operaciones.
9. Bloque de llave.
10. Indicador de posición mecánica
11. Bloqueo de Extracción
12. Sistema de Extracción
13. Número de Catálogo

En los sistemas eléctricos industriales se utilizan, en su mayoría de veces, equipos de estado sólido para darle mayor confiabilidad y por ende mejorar su operatividad dentro de los márgenes permisibles.

Estos equipos integran circuitos con fuentes de energía de baja (220, 380 y 440 voltios) y media tensión (2250, 3600, 5600, 7500, 1000, 12500 y 15000 voltios) ambas a una frecuencia de 50 y 60 Hz.

Dado que los transformadores de tensión y corriente se hallan instalados en los gabinetes de media tensión es necesario llevar estas señales al transductor a través de diversos sistemas de borneras, los cables utilizados deben ser apantallados para evitar interferencias, es así como se alimenta el relé multifunción FP5000.

Figura N° 1.1.- Interruptores de potencia utilizados



Fuente: General Electric



En la figura N° 1.1 se puede ver la flexibilidad de este equipo a ser integrado con otras marcas en los sistemas de protección y control para lo cual se utilizan los relés descritos anteriormente.

Para el manejo de las señales, de tensión y corriente los cuales son dirigidos a los puntos de control y mando centralizado ubicados estratégicamente en algún lugar especial de la empresa y/o sistema eléctrico a ser controlado.

Finalmente podemos afirmar que la mejor opción para medir, controlar y proteger los circuitos eléctricos es utilizando los relés 50/51 y sus accesorios de medición y control.

Estos interruptores de potencia incluyen una unidad de Protección electrónica avanzada el mismo que contiene:

Disparador electrónico avanzado: Pantalla principal con las siguientes opciones:

Ajustes: Permite ajustar los valores y configurar todos los parámetros

Medida: Se muestran los valores de medición completos

Estado: Posición del interruptor automático y de la unidad de protección

Avisos: Historial de los disparos en el que se muestra el motivo del disparo y el nivel y acceso a la función Capturada de forma de onda.

Sistema de ajuste por cursores

Opción de Reset manual o automática

### **1.7. Limitaciones y facilidades**

El costo de implementación de un nuevo sistema es siempre un reto que muchas empresas tienen dificultades para poder realizarlo dado el alto costo del equipamiento e infraestructura, pero esto se verá compensado con una producción continua, confiable y altos beneficios económicos para la empresa.

Se realizarán los estudios de pre factibilidad del proyecto para demostrar que el costo del mismo no es obstáculo o



impedimento, se harán los cálculos de pérdidas económicas por falta de producción (falta de energía eléctrica, demora en la reposición de la misma) y se comparará con el costo de implementación del sistema.



## **II.- MARCO TEÓRICO**

Dado el costo del equipamiento, en nuestro país, la mayor parte de las empresas no cuentan con relés que pueden medir, proteger y controlar los circuitos de sus instalaciones, tendiendo equipos de protección desactualizados y con menor eficiencia ante una posible falla. En su mayoría tenemos medidores multifunción que miden y analizan los parámetros principales y derivados sin una protección funcional.

### **2.1. BASES TEÓRICAS**

El tema principal a tratar en el presente trabajo es la protección de máquinas eléctricas, equipos, transformadores y cables alimentadores de energía eléctrica, por lo que se estudiarán las funciones 50/51 referentes a las sobrecargas a producirse en los circuitos eléctricos diversos.

Para entender mejor el principio de funcionamiento de los relés de sobre corriente, es necesario realizar un estudio de la coordinación de las protecciones a nivel de media y baja tensión.

Los ajustes del sistema de protección son calculados considerando el escenario de máxima demanda y son verificados para diferentes escenarios de operación y contingencia.

Dado el análisis de los estudios realizados se concluye que los relés de sobrecorriente (50) y (51) son muy importantes porque nos permite dimensionar, seleccionar, instalar y realizar los ajustes necesarios para optimizar los trabajos de protección, medición, monitoreo, control y comunicación de los sistemas eléctricos de potencia.

### **2.2. ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

#### **2.2.1. Procedimiento de coordinación**



La aplicación correcta del relé de sobrecorriente requiere el conocimiento de la corriente de falla que puede fluir en cada parte de la red. Dado que las pruebas a gran escala son normalmente impracticables, se debe utilizar el análisis del sistema.

Los datos requeridos para un estudio de configuración de relé son:

- i. Un diagrama unifilar del sistema de energía involucrado, mostrando el tipo y la calificación de la protección dispositivos y sus transformadores de corriente asociados.
- ii. Las impedancias en ohmios, en porcentaje o por unidad, de todos los transformadores de potencia, máquinas eléctricas y circuitos alimentadores.
- iii. Los valores máximos y mínimos de cortocircuito corrientes que se espera que fluyan a través de cada dispositivo de protección.
- iv. La corriente de carga máxima a través de los dispositivos de protección.
- v. Los requisitos actuales de arranque de motores y los tiempos de arranque / bloqueo del rotor / bloqueo de motores de inducción.
- vi. La entrada del transformador, resistencia térmica y características de daño térmico.
- vii. Curvas de disminución que muestran la tasa de descomposición de la corriente de falla suministrada por los generadores eléctricos.
- viii. Curvas de rendimiento de los transformadores de corriente.

La configuración del relé se determina primero para proporcionar los tiempos de operación más cortos en los niveles máximos de falla y luego se verifica para ver si la operación también será satisfactoria con la corriente de falla mínima esperada. Siempre es aconsejable trazar las curvas de los relés y otros dispositivos de



protección, como fusibles, que deben operar en serie, en una escala común. Por lo general, es más conveniente usar una escala correspondiente a la corriente esperada en la base de tensión más baja, o usar la base de tensión predominante.

Las alternativas son una base MVA común o una escala de corriente separada para cada tensión del sistema.

Las reglas básicas para la correcta coordinación del relé generalmente pueden ser declaradas de la siguiente manera:

- a. Siempre que sea posible, utilice relés con la misma característica de funcionamiento en serie y entre sí.
- b. Asegúrese de que el relé más alejado de la fuente tenga una configuración de corriente igual o menor que los relés detrás de él, es decir, que la corriente primaria requerida para operar el relé en el frente siempre sea igual o menor que la corriente primaria requerida para operar el relé detrás de él.

### **2.2.2. Principios de tiempo / calificación actual**

Entre los diversos métodos posibles utilizados para lograr la correcta coordinación del relé se encuentran aquellos que usan tiempo o sobrecorriente, o una combinación de ambos. El objetivo común de los tres métodos es dar una discriminación correcta.

Es decir, cada uno debe aislar solo la sección defectuosa de la red del sistema de energía, dejando el resto del sistema intacto.

### **2.2.3. Discriminación por tiempo**

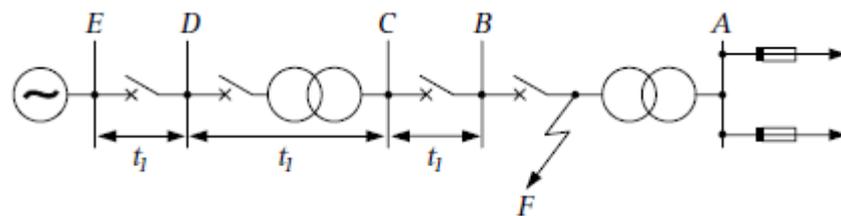
En este método, se asigna un ajuste de tiempo apropiado a cada uno de los relés que controlan los interruptores automáticos en un sistema de alimentación para garantizar que el interruptor más



cercano a la falla se abra primero.

En la figura 1.1 se muestra un sistema de distribución radial simple para ilustrar el principio.

Figura N° 2.1. Sistema radial con discriminación de tiempo.



Fuente: Phase Relays. W.K Sonnemann, Transactions A.I.E.E.  
1950.

Se proporciona la protección contra sobrecorriente en B, C, D y E, es decir, en el extremo de alimentación de cada sección del sistema de alimentación. Cada unidad de protección comprende un relé de sobrecorriente de retardo de tiempo definido en el cual la operación del elemento sensible a la corriente simplemente inicia el elemento de retardo de tiempo.

Siempre que la configuración del elemento actual esté por debajo del valor de la corriente de falla, este elemento no juega ningún papel en el logro de la discriminación. Por esta razón, el relé a veces se describe como un "relé de retardo independiente de tiempo definido", ya que su tiempo de funcionamiento es para fines prácticos, independientemente del nivel de sobrecorriente.

Es el elemento de retraso de tiempo, por lo tanto, es el que proporciona los medios de discriminación. El relé en B se configura con el menor retraso de tiempo posible para permitir que el relé se apertura por una falla F o en A en el lado secundario del



transformador.

Una vez que ha expirado el tiempo de retraso, el contacto de salida del relé se cierra para disparar el disyuntor. El relé en C tiene una configuración de retardo de tiempo igual a  $t_1$  segundos, y de manera similar para los relés en D y E.

Si ocurre una falla en F, el relé en B funcionará en  $t$  segundos y la operación posterior del interruptor automático en B eliminará la falla antes de que los relés en C, D y E tengan tiempo de operar.

El intervalo de tiempo  $t_1$  entre cada ajuste de tiempo de relé debe ser lo suficientemente largo como para garantizar que los relés aguas arriba no funcionen antes de que el disyuntor en la ubicación de la falla se haya disparado y borrado la falla.

La principal desventaja de este método de discriminación es que el tiempo de eliminación de fallas más largo ocurre para fallas en la sección más cercana a la fuente de energía, donde el nivel de falla (MVA) es más alto.

#### 2.2.4. Discriminación por corriente

La discriminación por corriente se basa en el hecho de que la corriente de falla varía con la posición de la falla debido a la diferencia en los valores de impedancia entre la fuente y la falla. Por lo tanto, típicamente, los relés que controlan los diversos interruptores automáticos están configurados para funcionar a valores de corriente adecuadamente reducidos de modo que solo el relé más cercano a la falla dispare su interruptor. La figura 1.2 ilustra el método. Para una falla en F1, se da la corriente de cortocircuito del sistema por:

$$I = \frac{6350}{Z_S + Z_{L1}} A$$

Donde  $Z_s$  = impedancia de fuente



$$= \frac{11^2}{250} = 0.485 \Omega$$

ZL1 = impedancia del cable entre C y B  
= 0.24  $\Omega$

Por lo tanto:

$$I = \frac{11}{\sqrt{3} \times 0.725} = 8800 A$$

Por lo tanto, un relé que controla el disyuntor en C y está configurado para funcionar a una corriente de falla de 8800A en teoría protegería toda la sección del cable entre C y B. Sin embargo, hay dos puntos prácticos importantes que afectan este método de coordinación:

- a. No es práctico distinguir entre una falla en F1 y una falla en F2, ya que la distancia entre estos puntos puede ser de solo unos pocos metros, lo que corresponde a un cambio en la corriente de falla de aproximadamente 0.1%.
- b. En la práctica, habría variaciones en el nivel de falla de la fuente, típicamente de 250MVA a 130MVA. En este nivel de falla más bajo, la corriente de falla no excedería 6800A, incluso para una falla de cable cercana a C. Un relé configurado a 8800A no protegería ninguna parte de la sección del cable en cuestión.

Por lo tanto, la discriminación por corriente no es una propuesta práctica para la clasificación correcta entre los interruptores automáticos en C y B. Sin embargo, el problema cambia apreciablemente cuando hay una impedancia significativa entre los dos interruptores automáticos en cuestión. Considere la clasificación requerida entre los interruptores automáticos en C y A en la Figura 1.2. Suponiendo una falla en F4, la corriente de cortocircuito viene dada por:

$$I = \frac{6350}{Z_S + Z_{L1}} A$$



Donde:

$Z_s$  (impedancia de fuente) =  $0.485 \Omega$

$Z_{L1}$  (impedancia del cable entre C y B) =  $0.24 \Omega$

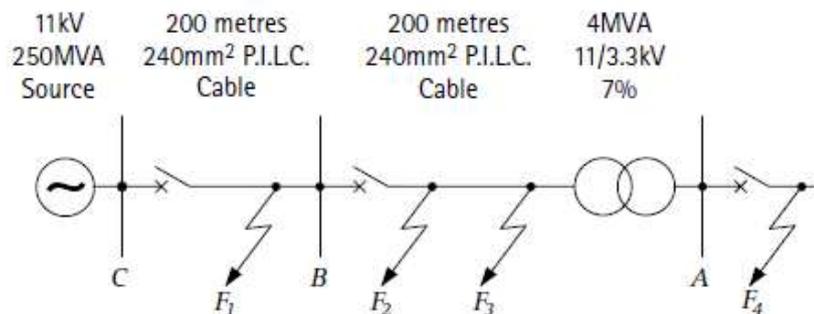
$Z_{L2}$  (impedancia del cable entre B y 4 MVA transformador) =  $0.04 \Omega$

$Z_T$  (impedancia del transformador) =  $0.07 \left( \frac{11^2}{4} \right) = 2.12 \Omega$

Por lo tanto

$$I = \frac{11}{\sqrt{3} \times 2.885} = 2200 \text{ A}$$

Figura N° 2.2.- Sistema radial con discriminación de tiempo.



Fuente: Phase Relays. W.K Sonnemann, Transactions A.I.E.E. 1950.

Por esta razón, un relé que controla el disyuntor en B y configurado para funcionar a una corriente de 2200 A más un margen de seguridad no funcionaría por una falla en F4 y, por lo tanto, discriminaría con el relé en A. Suponiendo un margen de seguridad del 20% para permitir errores de relé y un 10% adicional para variaciones en los valores de impedancia del sistema, es razonable elegir una configuración de relé de  $1.3 \times 2200\text{A}$ , es decir 2860A, para el relé en B. Ahora, suponiendo una falla en F3, en el final del cable de 11kV que alimenta el transformador de 4MVA, la corriente de cortocircuito viene dada por:

$$I = \frac{11}{\sqrt{3} \times (Z_s + Z_{L1} + Z_{L2})}$$



Por lo tanto, suponiendo un nivel de falla de fuente de 250MVA:

$$I = \frac{11}{\sqrt{3} \times (0.485 + 0.24 + 0.04)} = 8300 \text{ A}$$

Alternativamente, suponiendo un nivel de falla de fuente de 130MVA:

$$I = \frac{11}{\sqrt{3} \times (0.93 + 0.214 + 0.04)} = 5250 \text{ A}$$

En otras palabras, para cualquier valor del nivel de fuente, el relé en B funcionaría correctamente para fallas en cualquier parte del cable de 11kV que alimenta el transformador.

### 2.2.5. Discriminación por tiempo y corriente

Cada uno de los dos métodos descritos hasta ahora tiene una desventaja fundamental. En el caso de la discriminación por tiempo solo, la desventaja se debe al hecho de que las fallas más graves se eliminan en el tiempo de funcionamiento más largo. Por otro lado, la discriminación por corriente solo puede aplicarse cuando existe una impedancia apreciable entre los dos interruptores automáticos en cuestión.

Debido a las limitaciones impuestas por el uso independiente del tiempo o la coordinación actual, la característica del relé de sobrecorriente de tiempo inverso ha evolucionado. Con esta característica, el tiempo de operación es inversamente proporcional

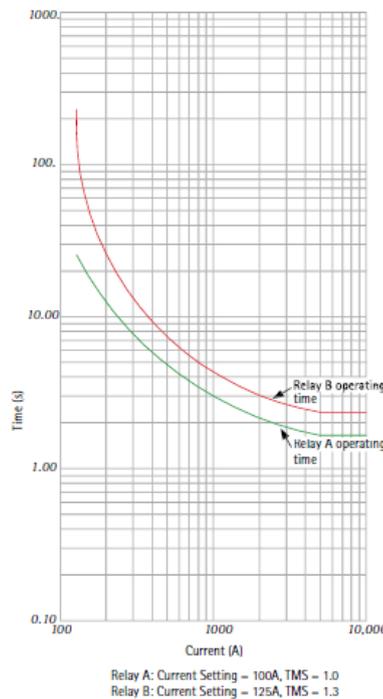
al nivel de corriente de falla y la característica real es función de los ajustes de "tiempo" y "corriente". Para una gran variación en la corriente de falla entre los dos extremos del alimentador, los relés más cercanos a la fuente pueden lograr tiempos de operación más rápidos, donde el nivel de falla es el más alto. Las desventajas de calificar por tiempo o corriente solo se superan.

La selección de las características del relé de sobrecorriente



generalmente comienza con la selección de la característica correcta que se utilizará para cada relé, seguido de la elección de la configuración de corriente del relé. Finalmente, se determinan los márgenes de calificación y, por lo tanto, la configuración de tiempo de los relés. A menudo se requiere un procedimiento iterativo para resolver conflictos, y puede implicar el uso de características no óptimas en las configuraciones de clasificación actuales o temporales.

Figura N° 2.3. Características del relé para diferentes configuraciones



Fuente: Relays. W.K Sonnemann, Transactions A.I.E.E. 1950.

Para que un sistema eléctrico de potencia tenga una operación óptima es necesario realizar los siguientes estudios:

- Estudios de coordinación de la protección.
- Estudio de flujo de carga.
- Cálculo de corto circuito.
- Ajustes de los relés componentes del sistema eléctrico
- Recomendaciones finales



La protección de sobrecorriente (50) y (51) para los componentes eléctricos de la red eléctrica asociada deberá ser ajustada con tiempo de operación por debajo de los tiempos críticos de despeje de fallas y la capacidad de corriente de cortocircuito de cada equipo.

La coordinación entre los diversos elementos de protección de sobrecorriente se ha realizado mediante la definición de sus ajustes, tanto de corriente como de tiempo, de modo tal que se obtenga la mejor selectividad posible. Para los ajustes mencionados se procedió con la siguiente metodología:

La corriente de arranque de la protección sobrecorriente de tierra debe ser como máximo el 40% de la corriente de carga, y a la vez el ajuste debe permitir detectar fallas a tierra con resistencias de falla de 50 ohm dentro de su zona de protección. Asimismo, la función de sobrecorriente 50/51, es implementada en el generador para proteger el devanado de armadura contra sobrecargas y sobrecorriente. La sobrecarga permitida para las unidades de generación está definida en la norma IEEE Std C37.102-1995 el cual se considera como referencia.

### **2.3. PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRECARGAS Y CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.**

Gracias a la medición de corrientes de fase y tierra mediante transformadores de corriente (CT), el relé de protección de corriente IPR-A puede realizar funciones de protección de acuerdo con las normas ANSI, IEC.

Gracias también a las indicaciones en las entradas digitales, el dispositivo puede informar, por ejemplo, sobre el estado del disyuntor o seccionador al que está acoplado, operar en las salidas y desactivar algunas funciones.



En los sistemas eléctricos de potencia la protección contra el exceso de corriente siempre ha sido el primer sistema de protección en evolucionar. A partir de este principio básico, se ha desarrollado el sistema de control de las sobrecorriente graduales, clasificados en tres niveles:

Protección contra las corrientes de corto circuito. Para lo cual se utilizan relés Standard Inverse (SI), Very Inverse (VI), Extremely Inverse (EI) o definite Time (DT), con discriminación de corriente y tiempo.

Protección contra las corrientes de corto circuito. - Para lo cual se utilizan relés definite Time (DT) con discriminación de corriente y tiempo instantáneo.

En consecuencia, podemos afirmar, que la resulta importante controlar este tipo de corrientes con los relés 50, 51 y 50N/51N.

#### **2.4. CARÁCTERÍSTICAS DE LAS SOBRECORRIENTES Y CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO**

Los modelos de las funciones de sobre corriente de fases y tierra actualmente implementados han sido concebidos con el fin de suministrar una funcionalidad más amplia en términos de protección, medida, automatismo, control y mando para todas las redes eléctricas de MT. Estos relés pueden utilizarse en redes industriales, redes de distribución, así como protección complementaria de AT y MAT. La especificidad de estos relés permite responder a los diferentes casos de aplicación: llegada de energía, abonado de MT, cable subterráneo y línea aérea.

Las funciones de protección fase y tierra comparten una información instantánea y temporizada:

La primera puede utilizarse en esquemas de bloqueo lógico a fin de optimizar la funcionalidad de los esquemas de protección reduciendo el tiempo de disparo.



La segunda puede ser de tipo constante o de tipo inverso (según sea necesario el especialista hace la elección CEI, AUSI/IEE y C0).

Esta gran variedad de tiempos de disparo permite adaptar fácilmente estos relés a un esquema de protección existente, cualquiera, que sean los relés ya instalados. También pueden interactuar entre ellos y los demás.

En consecuencia, podemos afirmar, que la resulta muy importante controlar este tipo de sobre corrientes con los relés 50, 51 y 50N/51N.

#### **2.4.1. SOBRE INTENSIDAD DE FASE RETARDADA EN EL TIEMPO (51)**

Los relés proporcionan entradas de corriente trifásica y cuentan con tres etapas independientes y disponibles.

Para la primera etapa, el usuario puede seleccionar entre 11 formas diferentes de curvas (IEEE/ANSI, IEC.). Para cada modelo de curva, se puede configurar una amplia selección de 60 valores TMS diferentes para optimizar la detección y acortar el tiempo de disparo para la coordinación con fusibles, motores, alimentadores, transformado-res y otros dispositivos.

Para la segunda y tercera etapas tienen configuraciones independientes con un disparo de tiempo definido y ajustable.

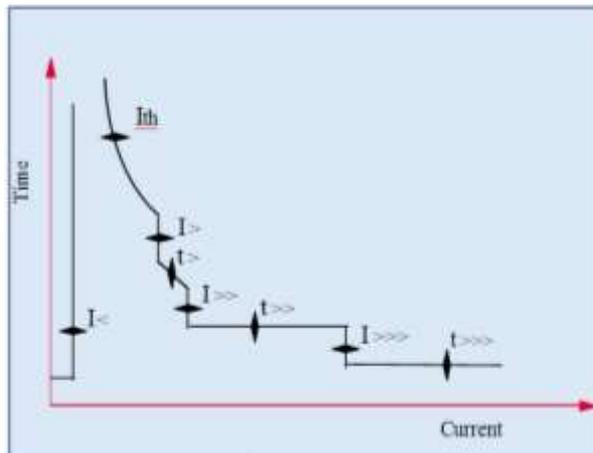
Los retrasos de tiempo son programables de 0 a 150 s, proporcionando así la máxima selectividad.

El rango de corriente de fase es ajustable, en forma independientemente, para cada etapa de 0.1 a 40 veces la corriente de fase nominal.

Todas las configuraciones de sobre corriente de fase son completamente programables utilizando las HMI del panel frontal, la conexión frontal del software de configuración o un sistema de control de comunicación remoto.



Figura N° 2.4.- Características de la corriente de fase vs tiempo



Fuente: IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection and coordination of industrial and commercial Power System

#### 2.4.2. SOBREINTENSIDAD DE FASE INSTANTÁNEA (50)

Todos los relés tienen información de sobre corriente instantánea de fase separada para cada etapa seleccionada. Los viajes instantáneos de fase (sin retraso de tiempo programado) están disponibles en menos de 30 ms.

Cada disparo instantáneo es completamente asignable a cualquier salida dedicada de los relés el cual se visualizan en el panel frontal.

#### 2.4.3. SOBRE CORRIENTE DE FALLA A TIERRA RETARDADA EN EL TIEMPO

La detección de falla a tierra es idéntica a la sobre corriente de fase con retardo de tiempo, luego se pueden seleccionar también las tres etapas independientes de falla a tierra.

El usuario puede seleccionar cualquiera de las 11 familias de curvas y valores TMS para la primera etapa.

El rango de corriente de tierra es ajustable para cada etapa de 0.002 a 40 veces la corriente de tierra nominal para permitir la máxima sensibilidad para la detección de falla a tierra.



La entrada de la corriente de tierra generalmente es generada por un CT de tierra dedicado, pero también puede derivarse de la conexión residual de los CT de 3 líneas.

Tabla N° 2.1.- Modelos de protección disponibles.

| <b>FUNCIONES DE PROTECCIÓN</b>      | <b>ANSI/IEC/IEEE</b> |
|-------------------------------------|----------------------|
| Single phase or Earth overcurrent   | 50/51 or             |
|                                     | 50N/51N              |
| Three phase and Earth overcurrent   | 50/51 and            |
|                                     | 50N/51N              |
| Thermal overload (True RMS)         | 49                   |
| Undercurrent                        | 37                   |
| Negative phase sequence overcurrent | 46                   |
| Output relay latching               | 86                   |
| Circuit breaker failure detection   | 50BF                 |
| Autoreclose (4 shots)               | 79                   |

Fuente: IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection.

#### 2.4.4. FUNCIONES DE SOBRE INTENSIDAD FASE Y TIERRA

Cada entrada de la intensidad de fases y tierra dispone de tres umbrales independientes temporizados.

Los ajustes de fases vienen dados por:  $I_{>}/t_{I>}$ ;  $I_{>>}/t_{I>>}$  y  $I_{>>>}/t_{I>>>}$ .

Estos ajustes afectan a las tres fases de la misma forma.

Los elementos de falta a tierra poseen ajustes similares, pero independientes de los ajustes de fase. Estos están indicados así:  $I_{o>}/t_{I_{o>}}$ ;  $I_{o>>}/t_{I_{o>>}}$ ;  $I_{o>>>}/t_{I_{o>>>}}$ .

La siguiente figura ilustra la lógica asociada a todos los umbrales de sobre intensidad fase.

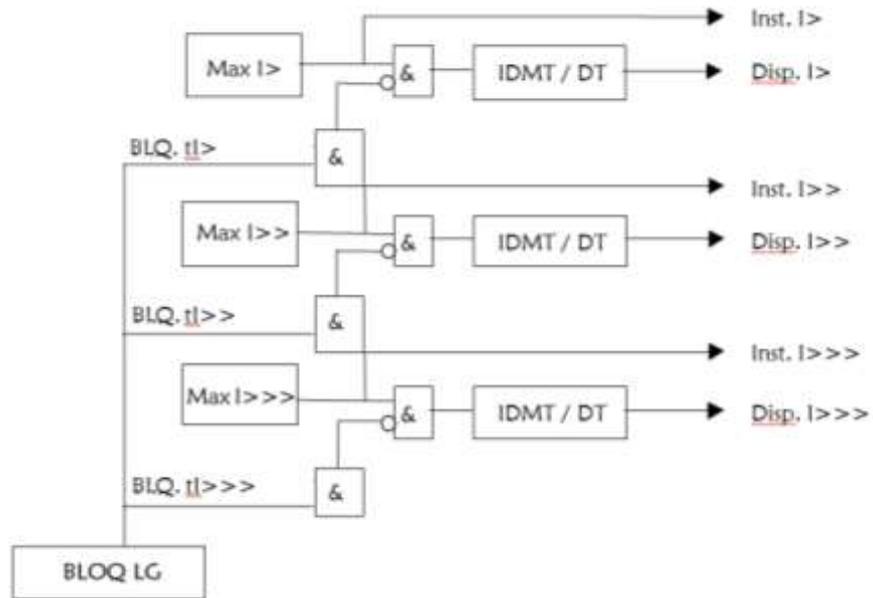
$$\text{Max } I_{>} = [I_{A>}] \text{ o } [I_{B>}] \text{ o } [I_{C>}]$$

$$\text{Max } I_{>>} = [I_{A>>}] \text{ o } [I_{B>>}] \text{ o } [I_{C>>}]$$

$$\text{Max } I_{>>>} = [I_{A>>>}] \text{ o } [I_{B>>>}] \text{ o } [I_{C>>>}]$$



Figura N° 2.5.- Lógica de los umbrales fase fases I>, I>> e I>>>



Fuente: IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection.

El esquema que ilustra la lógica asociada a todos los umbrales de falta a tierra es idéntico a la descrita anteriormente.

Los umbrales I>/tI>, I>>/tI>> e I>>>/tI>>> son reemplazados respectivamente por I0>/tI0>, I0>>/tI0>> e I0>>>/tI0>>>.

Tabla N° 2.2.- Protección de sobre intensidad de fase.

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Intensidad                         | Sólo fundamental                          |
| Rango de intensidad de fase        | 0.1 a 40 x In, pasos de 0.01 In           |
| Umbrales                           | 3 umbrales independientes (I>, I>>, I>>>) |
|                                    | I> 0.1 a 25 In                            |
|                                    | I>> 0.5 a 40 In                           |
|                                    | I>>> 0.5 a 40 In                          |
| Tiempo de operación                | < 30 ms                                   |
| Tiempo de recaída                  | 30 ms                                     |
| Temporización                      | (tI>, tI>>, tI>>>)                        |
| Tiempo constante                   | 0 ms a 150s, pasos de 10 ms               |
| Uormal Inversa (CEI)               | Inversa corto                             |
|                                    | Normal inverso                            |
|                                    | Muy inversa                               |
|                                    | Extremadamente Inversa                    |
|                                    | Inversa larga                             |
| Coeficiente TMS                    | 0.025 a 1.5, pasos de 0.025               |
| Tiempo de reset (sólo P121)        | fijo a 50ms para tiempo inverso           |
| Coef. para tiempo de reset(RTMS)   | 0.025 a 3.2, pasos de 0.025               |
| Para tiempo según Curvas CEI o RI: | 0.04 a 100s, pasos de 0.01s               |

Fuente: IEEE Std C37.2-1996 SEPS



Tabla N° 2.3.- Protección de sobre intensidad de tierra.

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Intensidad                         | Sólo fundamental   |
| Rango de intensidad de fase        | 0.01 a 8 x I <sub>on</sub> , pasos de 0.0005 I <sub>on</sub>                                       |
|                                    | 0.1 a 40 x I <sub>on</sub> , pasos de 0.0005 I <sub>on</sub>                                       |
| Umbrales                           | 3 umbrales independientes (I <sub>&gt;</sub> , I <sub>&gt;&gt;</sub> , I <sub>&gt;&gt;&gt;</sub> ) |
| Rango 0.01 a 8 x I <sub>on</sub>   | I <sub>o&gt;</sub> 0.01 a 1 I <sub>on</sub>  |
|                                    | I <sub>&gt;&gt;</sub> 0.01 a 8 I <sub>on</sub>   |
|                                    | I <sub>&gt;&gt;&gt;</sub> 0.01 a 8 I <sub>on</sub>   |
| Rango 0.1 a 40 x I <sub>on</sub>   | I <sub>o&gt;</sub> 0.1 a 25 I <sub>on</sub>  |
|                                    | I <sub>&gt;&gt;</sub> 0.5 a 40 I <sub>on</sub>   |
|                                    | I <sub>&gt;&gt;&gt;</sub> 0.5 a 40 I <sub>on</sub>   |
| Tiempo de operación                | < 30 ms  |
| Tiempo de recaída                  | 30 ms  |
| Temporización                      | (t <sub>lo&gt;</sub> , t <sub>lo&gt;&gt;</sub> , t <sub>lo&gt;&gt;&gt;</sub> )                     |
| Tiempo constante                   | 0 ms a 150s, pasos de 10 ms  |
| Uormal Inversa (CEI)               | Inversa corto  |
|                                    | Normal inverso   |
|                                    | Muy inversa  |
|                                    | Extremadamente Inversa   |
|                                    | Inversa larga  |
| Coeficiente TMS                    | 0.025 a 1.5, pasos de 0.025  |
| Tiempo de reset (sólo P121)        | fijo a 50ms para tiempo inverso  |
| Coef. para tiempo de reset(RTMS)   | 0.025 a 3.2, pasos de 0.025  |
| Para tiempo según Curvas CEI o RI: | 0.04 a 100s, pasos de 0.01s  |

Fuente: IEEE Std C37.2-1996 Standard Electrical Power System

#### 2.4.5. SOBRECORRIENTE DE FALLA A TIERRA INSTANTÁNEA (50N)

Todas las etapas instantáneas de falla a tierra están totalmente disponibles. Al igual que con la función de falla de fase instantánea, las etapas de tierra instantáneas están disponibles en menos de 30 ms. Estas indicaciones se pueden asignar a cualquier salida y/o LED en el panel frontal del relé mediante el cual se visualiza.

Tabla N° 2.4.- Características del tiempo inverso disponibles.

|  |                                   |   |
|--|-----------------------------------|---|
| Tipo de temporización asociada al primer umbral de fase (tierra) |                                   |   |
|  | Temporización de reinicialización |   |
| TIPO TIEMPO = CST  | 0 ms                              | 0 ms  |
| TIPO TIEMPO = IUV IEC o RI                                       | 10 ms                             | Tiempo constante ajustable de 40 ms a 100s  |
| TIPO TIEMPO = IUV IEEE o CO                                      | 10 ms                             | Tiempo constante ajustable de 40 ms a 100s O<br>Tiempo Inverso (I curvas IEEE a elegir) |

Fuente: IEEE Std C37.2-1996 Standard Electrical Power System



#### 2.4.6. FUNCIÓN DE ARRANQUE (50/50N)

En el momento que un umbral fase (tierra) ha sido rebasado, se activa la salida instantánea asociada a ese umbral. Esta salida indica que la protección ha detectado una falta fase (tierra) y que se ha iniciado la temporización asociada a ese umbral.

Esta temporización puede bloquearse indirectamente, por la entrada lógica asociada a ese umbral. Si el bloqueo se produce por un contacto de salida de un relé aguas abajo, la activación sólo se bloqueará si el relé más próximo a la falta puede eliminar la misma. Este principio se conoce con el nombre « Bloqueo lógico », o también « Bloqueo t ».

#### 2.4.7. UMBRALES DE TIEMPO CONSTANTE

Los tres umbrales de fase (tierra) pueden seleccionarse con una característica de tiempo independiente. El tiempo de activación es igual al tiempo de ajuste de la temporización, más la duración de activación del contacto de salida (del orden de 20 a 30 ms para una intensidad superior o igual a 2 veces el umbral) y el tiempo necesario para detectar el estado de sobre intensidad (máximo 20 ms a 50 Hz).

#### 2.4.8. UMBRALES DE TIEMPO INVERSO (CURVAS DE TIEMPO INVERSO)

El primer umbral de fase (tierra) puede seleccionarse con una característica de tiempo inverso. La duración de la activación se calcula con precisión por una fórmula matemática. Los coeficientes correspondientes a la característica seleccionada deben integrarse en esta fórmula.

Existen en total once características de tiempo inverso disponibles.

La fórmula matemática común para las diez primeras curvas es:

$$t = T \times \left( \frac{K}{(I/I_N)^n - 1} + L \right)$$

Donde



t = tiempo de disparo

$K$  = coeficiente

$I$  = valor de intensidad medido

$I_s$  = valor de umbral ajustado

$\square$  = coeficiente

$L$  = coeficiente AUSI/IEEE (cero para las curvas CEI)

$T$  = multiplicador de tiempo (TMS) comprendido entre 0,021 y 1, 1

#### **2.4.9. TEMPORIZACIÓN DE REINICIALIZACIÓN**

El primer umbral de fase  $I > tI >$  ( $I_o > tI_o >$  para tierra) dispone de una temporización de reinicialización. La duración fijada para esta última determina el tiempo durante el cual la intensidad puede permanecer inferior al 95% del umbral de fase (tierra) antes de que la temporización asociada al umbral de fase se reinicialice.

Nota: existe una excepción a esta regla cuando la protección dispara. En efecto, en esta situación, las temporizaciones  $tI > tI_o >$  se reinician inmediatamente.

El valor de esta temporización de reset depende de la temporización asociada al primer umbral de fase (tierra).

#### **2.4.10. TEMPORIZACIÓN DE REINICIALIZACIÓN AJUSTABLE.**

El primer umbral de fase  $[I > tI >]$ , ( $[I_o > tI_o >]$  para tierra), cuando se ha elegido temporización a tiempo inverso, dispone de una temporización de reinicialización tRESET de tiempo constante o tiempo inverso (sólo característica AUSI/IEEE).

Esta característica es muy útil para algunas aplicaciones, por ejemplo cuando el relé está asociado a un relé de sobre intensidad de tipo electromecánico situado aguas arriba.

Cuando el tiempo de reinicialización de un relé de sobre intensidad es instantáneo, el relé se reinicializa repetidamente y no es capaz



de disparar mientras la falta no sea permanente. Utilizando la temporización de reinicialización, el relé es capaz de integrar conjuntos de intensidades de falta, lo que permite reducir los tiempos de despeje de la falta.

La temporización de reinicialización (tRESET) puede ajustarse en los menús siguientes:

Si el usuario ha elegido un primer umbral de tiempo inverso de tipo IEC la temporización de tRESET es de tiempo constante y ajustable en los menús:

- para fase: protección [50/50]MAX I PH/ [51] tRESET
- para tierra: protección [50N/50N]MAX IT/[51] tRESET

Si el usuario ha elegido un primer umbral de tiempo inverso de tipo IEEE la temporización t RESET es de tiempo constante o tiempo inverso y ajustable en los menús:

- Protección fase: protección[50], [51] TIPO TEMPO RESET
- Protección tierra: protección/[50N], [51N] TIPO TEMPO RESET

Tabla N° 2.5.- Características de funciones integradas.

| Tipo de curva          | 3standard | Coeficiente K | Coeficiente | Coeficiente L |
|------------------------|-----------|---------------|-------------|---------------|
|                        |           |               | a           |               |
| Inversa corta          | Alstom    | 0.01          | 0.04        | 0             |
| Uormal inversa         | CEI       | 0.14          | 0.02        | 0             |
| Muy inversa            | CEI       | 13.1          | 1           | 0             |
| Extremadamente inversa | CEI       | 80            | 2           | 0             |
| Tiempo inverso largo   | Alstom    | 120           | 1           | 0             |
| Inversa corta          | C02       | 0.00342       | 0.02        | 0.00242       |
| Moderada inversa       | AUS/IEEE  | 0.0111        | 0.02        | 0.114         |
| Inversa                | C08       | 1.91          | 2           | 0.18          |
| Muy inversa            | AUS/IEEE  | 19.61         | 2           | 0.491         |
| Extremadamente inversa | AUS/IEEE  | 28.2          | 2           | 0.1211        |

Fuente: IEEE Std C37.2-1996 Standard Electrical Power System



Temporización tRESET de tiempo inverso:

La fórmula matemática común a las **I** curvas tRESET posibles es:

$$t = T \times \left( \frac{K}{1 - (I/I_s)^a} \right)$$

donde

t = tiempo de reset

K = coeficiente

I = valor de intensidad medido

I<sub>s</sub> = valor del umbral ajustado

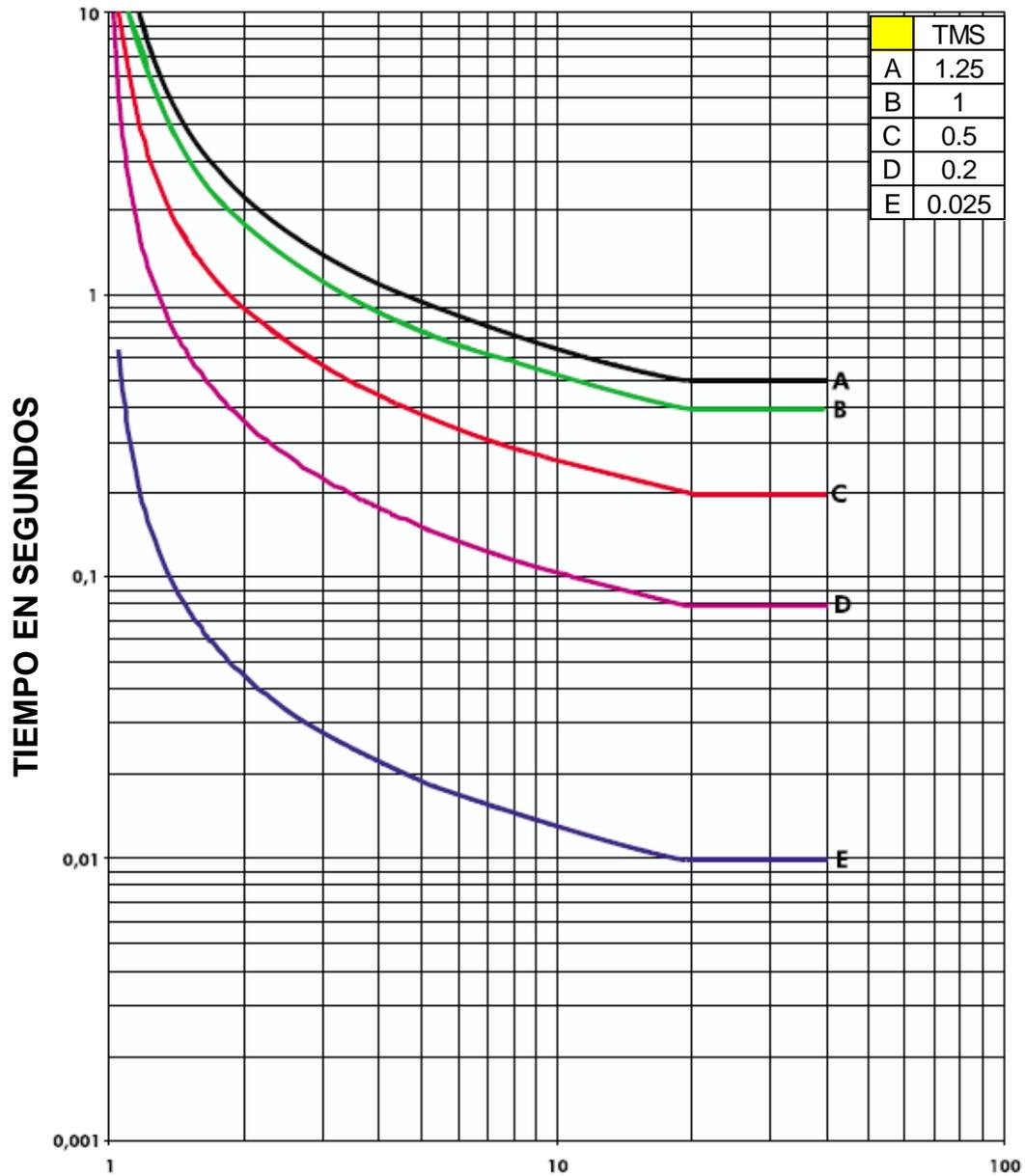
T = Multiplicador de tiempo (RTMS) comprendido entre 0,02I y 3,2

## 2.5. SELECTIVIDAD ENTRE PROTECCIONES

El principio de protección por curvas de tiempo inverso permite al relé más próximo a la falta, reaccionar más rápidamente que los relés aguas arriba más próximos a la fuente. No obstante, se trata de establecer una coordinación adecuada entre los relés. En efecto, si el relé más próximo a la falta no funciona, el relé aguas arriba dispara con un ligero retraso en relación al primer relé. La selectividad cronométrica se realiza sobre la base de un desvío de 400 ms. La duración de activación de los relés aumenta así progresivamente a cada nivel.



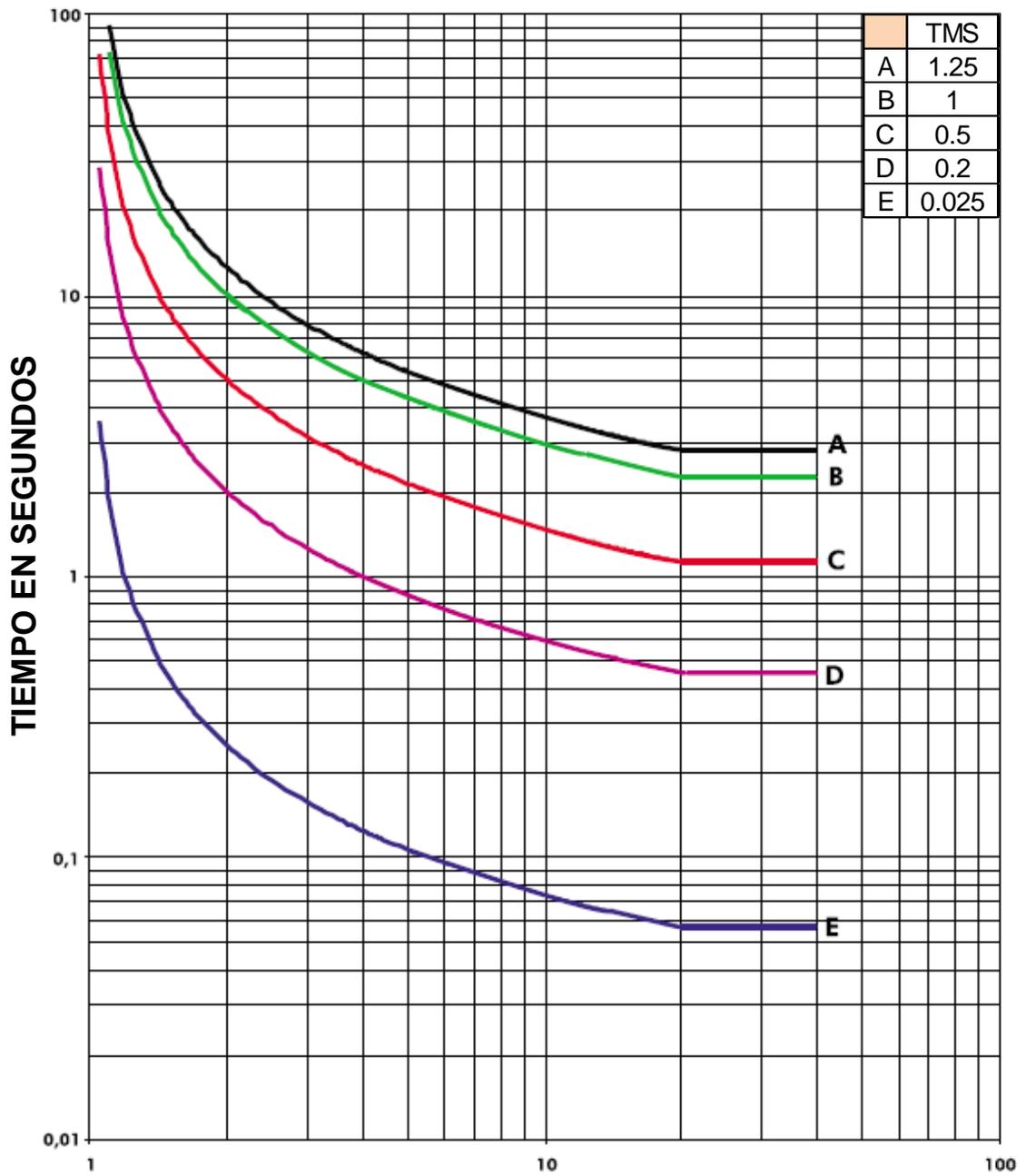
Figura N° 2.6.- Curvas de corriente vs tiempo inverso corto.



Fuente: IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection and coordination of industrial and commercial Power System



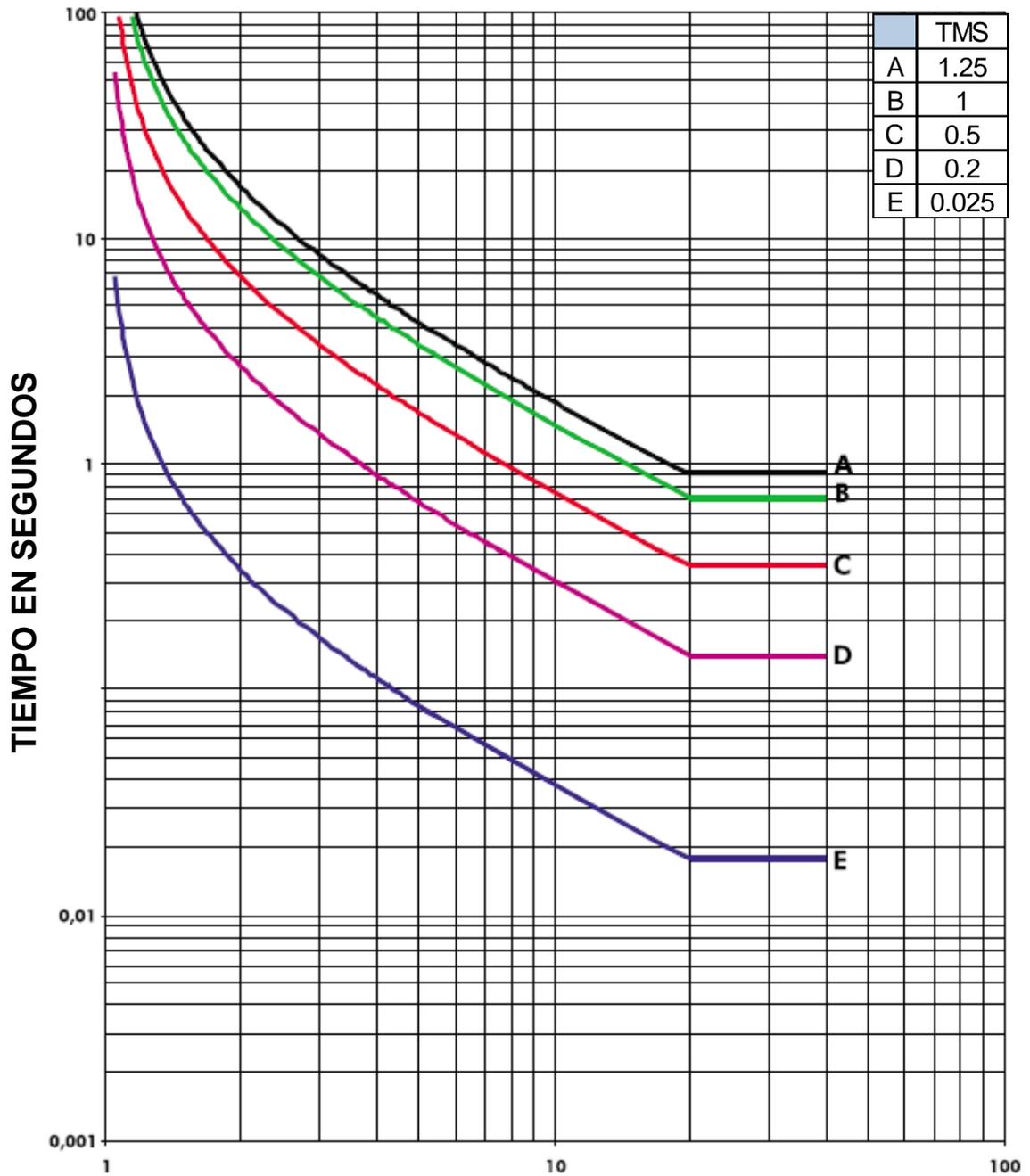
Figura N° 2.7.- Curvas de corriente vs tiempo inverso normal.



Fuente: IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection and coordination of industrial and commercial Power System



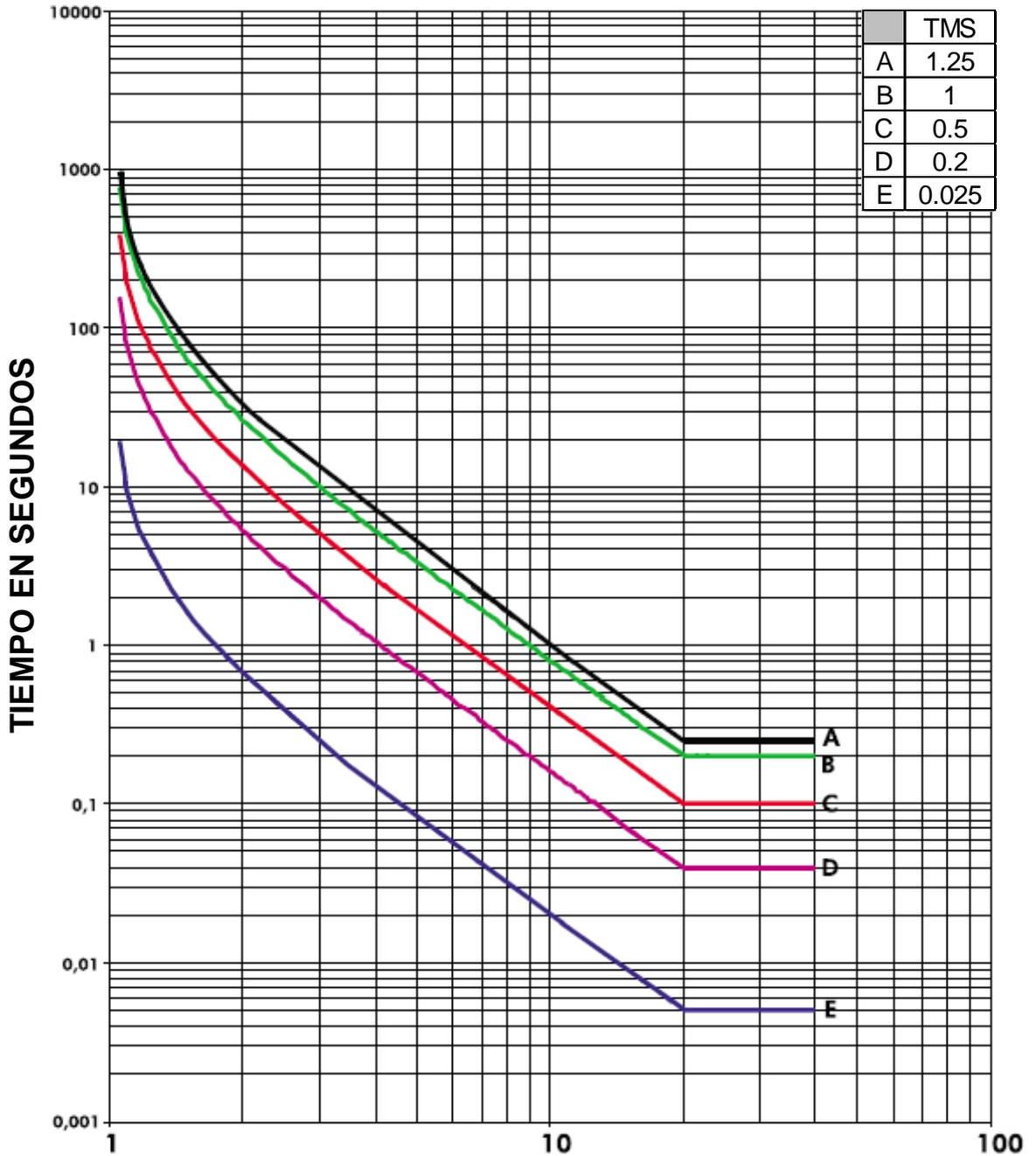
Figura N° 2.8.- Curvas de corriente vs tiempo muy inverso.



Fuente: IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection and coordination of industrial and commercial Power System



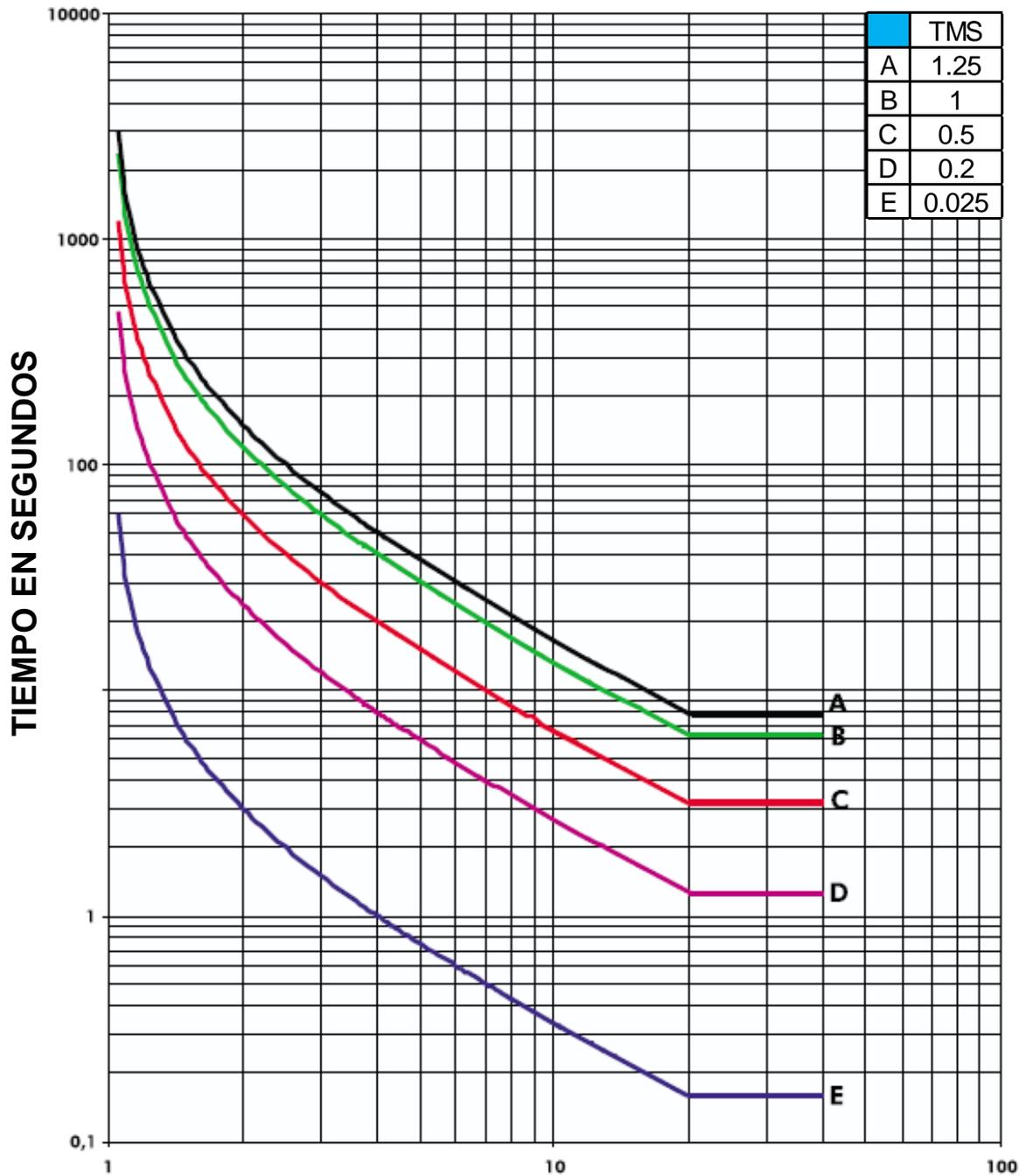
Figura N° 2.9.- Curvas de corriente vs tiempo extremadamente inverso.



Fuente: IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection and coordination of industrial and commercial Power System



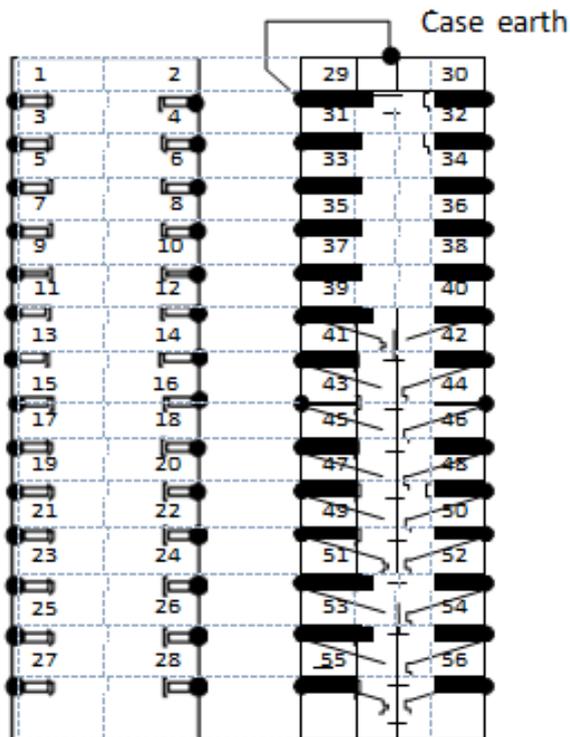
Figura N° 2.10.- Curvas de corriente vs tempo largo inverso.



Fuente: IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection and coordination of industrial and commercial Power System

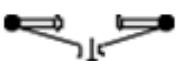


Figura N° 2.11.- Terminales ubicados en la parte posterior del relé.



Module terminal blocks  
viewed from rear  
 (with integral  
 case earth link)

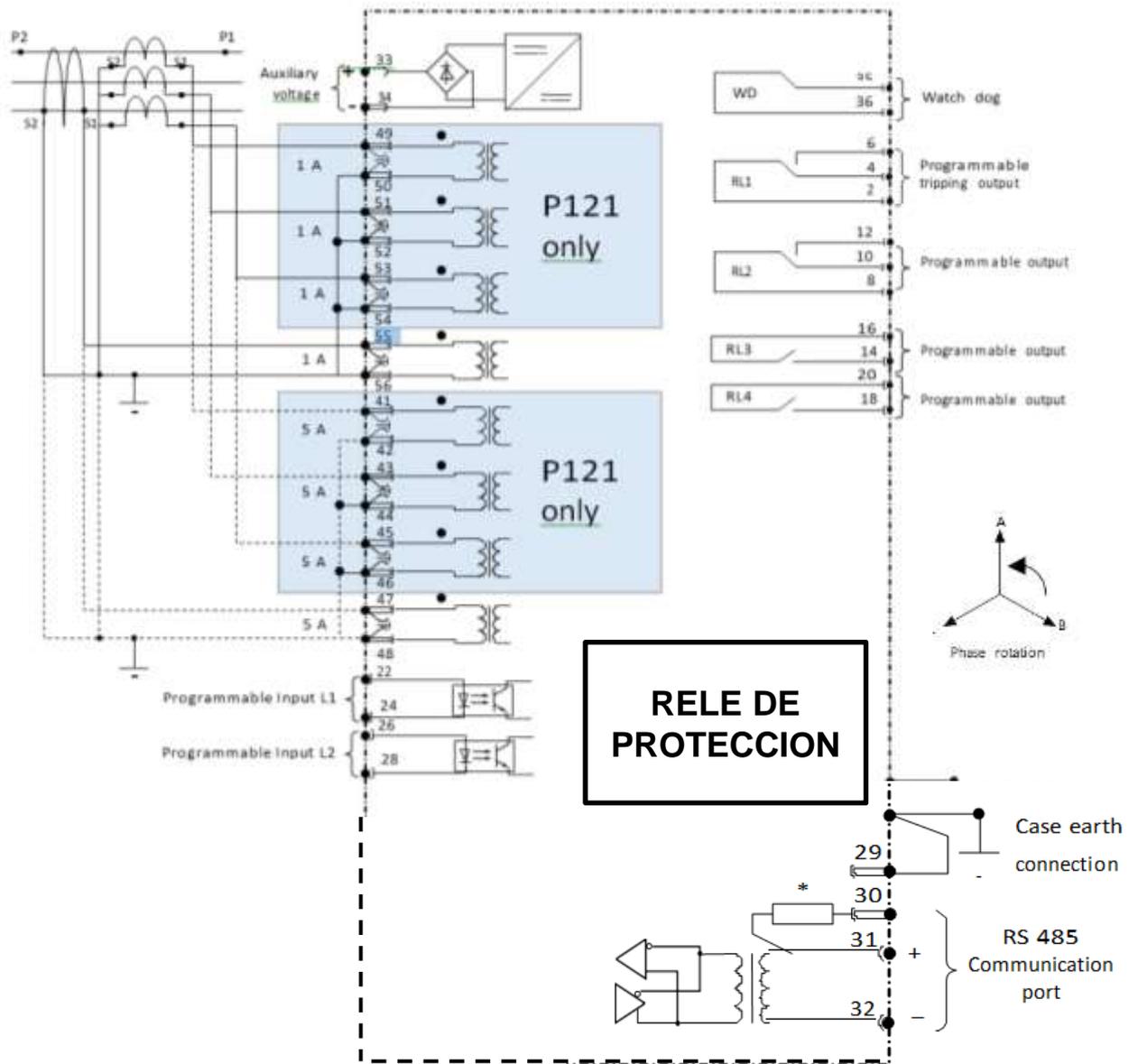
Notes :

- (1) (a)  CT shorting links make before (b) and (c) disconnect
- (b)  Short terminals break before (c)
- (c)  Long terminals
- (d)  Pins terminals (p c b type)

Fuente: IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection and coordination of industrial and commercial Power System



Figura N° 2.12.- Diagrama típico de aplicación de los relés



Fuente: IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection and coordination of industrial and commercial Power System



### III.- HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Formulación de la Hipótesis

##### 3.1.1. Hipótesis principal:

El estudio de coordinación de la protección permite hallar los niveles a los cuales deben ser regulados los relés de tal forma que el circuito coordine entre sí, de esta manera optimizarán la operatividad de los sistemas eléctricos.

##### 3.1.2. Hipótesis secundarias:

1. Los sistemas eléctricos de potencia deben disponer de una tabla de valoraciones (estudio de coordinación de las protecciones), que me permitan realizar los ajustes de los relés ya que va a permitir optimizar la operatividad del sistema eléctrico.

2. Dado el alto nivel de armónicos es necesario realizar los estudios de calidad de energía antes de hacer los ajustes de los relés.

Variable Dependiente:

Y1= Selectividad del sistema

Y2= Diseño y topología.

Variable independiente

X1= Determina la ejecución del estudio y análisis de la corriente de corto circuito.

X2 = Función IEEE 50 corriente de corto circuito instantáneo.

X3 = Función IEEE 51 sobre corriente temporizado.

#### 3.2. FORMULACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES



Definición operacional de la variable:

Una vez definidas las variables independientes y dependientes, es necesario operacionalizarlas para analizar las dimensiones y conceptualizarlo por medio de indicadores de tal forma que nos permita comprobar nuestra hipótesis.

| Tabla N° 3. 1.- OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES |   |  |                           |       |
|---|---|--|---------------------------|-------|
| VARIABLES   | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DIMENSIONES  | INDICADORES               | ITEMS |
| INDEPENDIENTES                                      | Para poder controlar los parámetros principales es necesario que los equipos sean compatibles   | Coordinación amperimétrica y cronométrica de sobrecorriente. | Estudio de corto circuito | X1    |
| Interruptores termomagnéticos y de potencia         |   |  | Funciones IEEE 50 y 51    | X2    |
| DEPENDIENTES  | Para tener una alta confiabilidad es necesario que los equipos tengan el mismo rango de ajustes | Capacidad de la red  | Selectividad              | Y1    |
| Confiabilidad del sistema eléctrico                 |   | Calidad de los servicios                                     | Diseño y Topología        | Y2    |

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Metodología para la contrastación y demostración de la hipótesis

Para contrastar y demostrar la hipótesis se tendrá como metodología de trabajo lo siguiente:

Realizar el estudio de la coordinación de la protección.

Realizar los ajustes de los relés para proteger en forma adecuada a los circuitos eléctricos.

### 3.4. Estudio y análisis de la coordinación de las protecciones y medición de los parámetros principales para así ser utilizados en la coordinación amperimétrica y cronométrica de los sistemas eléctricos.

Para contrastar y demostrar la hipótesis se tendrá como metodología de trabajo lo siguiente:



Modelamiento eléctrico del sistema de baja y media tensión.

Estudio profundo de las cargas involucradas en el circuito eléctrico.

El cálculo y análisis de las curvas bases del 50 y 51.

Diseño de los filtros adecuados para mejorar el nivel de energía.

Planificación de la operación en automático y manual del sistema eléctrico.



## IV.- DISEÑO METODOLÓGICO

Para el estudio se utilizarán los datos técnicos de los equipos proyectados y los ajustes de los relés del sistema del área de influencia. Los ajustes de los relés de protección se definirán teniendo en cuenta los criterios de ajustes definidos por las normas IEC, IEEE y ANSI.

### 4.1. ANALISIS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Los ajustes del sistema de protección son calculados considerando el escenario de máxima demanda los mismos que son verificados para diferentes escenarios de operación de los circuitos eléctricos.

#### 4.1.1. Tipo y diseño de la investigación.

El tipo de investigación es aplicativo experimental y de nivel explicativo, se recopila la mayor cantidad de información en lo referente a componentes del nuevo sistema, su funcionamiento, características, normas, estándares y se introduce la innovación del sistema en mención al sistema planteado, especialmente para el desarrollo de los estudios de confiabilidad, calidad y servicio total.

#### 4.1.2. Método de la investigación.

El diseño de la investigación es experimental se hace una evaluación antes y después de la implementación de un sistema de protección, sincronización y transferencia automática de las fuentes de energía teniéndose en cuenta que se dispone de dos tipos:

- Fuente principal.
- Fuente de emergencia.



La factibilidad del funcionamiento de un sistema de emergencia depende en gran medida de las decisiones tomadas durante el proceso del diseño, siendo la decisión más tediosa la selección correcta de los Grupos Electrógenos a trabajar.

¿El sistema a instalarse debe estar preparado para las interrupciones a corto plazo, de algunas horas o para las interrupciones a largo plazo que pueden durar días?

¿El servicio de energía eléctrica de la empresa proveedora es de alto grado de confianza?

¿Es posible obtener el registro de interrupciones imprevistas de energía que afectan a la Empresa Minera de los último tres años de servicio?

Los grupos electrógenos deben ser dimensionados en forma correcta para evitar futuras sobrecarga, que pueden dar lugar a una pobre calidad de la energía y dañar tanto al generador como a los equipos (cargas) conectadas a este.

Para determinar en forma correcta el tamaño de los generadores se debe desarrollar un listado crítico de las cargas y determinar el grado de la corriente continua de todo el equipo, se debe reconocer las características de funcionamiento de la red eléctrica bajo condiciones estables, los picos de carga, la altura respecto del nivel del mar, los rangos de temperatura ambiente, las variables climatológicas, si existen otros generadores ya conectados que sirvan o entreguen potencia a la carga instalada.

#### **4.1.3. Lugar de estudio y periodo desarrollado.**

El proyecto a desarrollarse se ubica en la zona Industrial



MACROPOLIS del distrito de Lurin.

#### 4.2. CRITERIOS DE LOS AJUSTES DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN

El sistema de protección tiene como objetivo proporcionar el rápido y selectivo despeje del componente eléctrico en falla, minimizando la interrupción y posibilitando la rápida reposición de suministros. Bajo este concepto, los sistemas de protección tienen los siguientes requerimientos:

**Confiabilidad:** Grado de seguridad de que la protección actuará correctamente.

**Selectividad:** Desconexión del componente en falla, con la mínima interrupción de suministros.

**Inmunidad:** a interferencias externas.

**Rapidez:** La protección deberá actuar lo más rápido posible con la finalidad de provocar el menor daño en los componentes fallados.

**Simplicidad:** Mínimo equipamiento y circuitos asociados para lograr los objetivos de la protección.

La protección del sistema eléctrico y de los equipos es muy importante, en vista que una falla en cualquiera de ellos puede dejar sin suministro un área entera, además de poner en riesgo la estabilidad del sistema de potencia.



Tabla N° 4.1.- Elaboración del cuadro general de cargas.

| CUADRO DE CARGAS 460V, 60HZ RST INGNIEROS S.A.C. |  |       |      |      |       |             |             |         |            |
|--|--|-------|------|------|-------|-------------|-------------|---------|------------|
| ITEM   | DESCRIPCION DE CARGAS                      | Putil | EF   | FP   | Pinst | FD          | MD          | CAL     |            |
|  |  | KW    |      |      | KW    |             | KW          |         |            |
| C1   | CENTRO COMPUTO                             | 35    | 1.00 | 0.79 | 35    | 1.00        | 35          | CRITICA |            |
|  | AIRE ACONDICIONADO.                        | 55    | 1.00 | 0.88 | 55    | 0.80        | 44          |         |            |
|  | TENSIÓN ESTABILIZADA                       | 25    | 1.00 | 0.87 | 25    | 1.00        | 25          |         |            |
|  | ALUMBR. Y TOMACORR.                        | 48    | 1.00 | 0.75 | 48    | 0.80        | 38          |         |            |
| C2   | SERV. AUXILIARES                           | 115   | 1.00 | 0.83 | 115   | 0.80        | 92          |         |            |
| C3   | ZONA MOLIENDA                              | 110   | 0.87 | 0.90 | 126   | 0.80        | 101         |         |            |
| C4   | EMVASADO LIQUIDOS                          | 289   | 1.00 | 0.88 | 289   | 0.80        | 231         |         |            |
| C5   | EMVASADO SOLIDOS                           | 315   | 1.00 | 0.88 | 315   | 0.80        | 252         |         |            |
| C1   | PROCESAMIENTO FOSFATO                      | 45    | 1.00 | 0.70 | 45    | 0.80        | 36          |         | NO CRITICA |
| C2   | TRATAMIE. AGUAS DURAS                      | 95    | 1.00 | 0.78 | 95    | 0.80        | 76          |         |            |
| C3   | PRODUCTOS FINALES                          | 75    | 1.00 | 0.72 | 75    | 0.80        | 60          |         |            |
| C4   | CCMO1<br>PLANTA PRODUCCION                 | 18    | 0.83 | 0.80 | 21.7  | 0.80        | 17          |         |            |
|  |  | 22    | 0.86 | 0.90 | 25.6  | 0.80        | 20          |         |            |
|  |  | 42    | 0.89 | 0.90 | 47.2  | 0.80        | 38          |         |            |
|  |  | 63    | 0.89 | 0.90 | 70.8  | 0.80        | 57          |         |            |
|  |  | 82    | 0.91 | 0.80 | 90.1  | 0.80        | 72          |         |            |
|  |  | 129   | 0.87 | 0.90 | 148   | 0.80        | 119         |         |            |
| CALCULO TRANSFOR.                                | TOTAL (KW)                                 | 1563  |      |      | 1627  |             | 1314        |         |            |
|  | FACTOR AMPLIACION                          |       |      |      |       |             | 1.2         |         |            |
|  | FACTOR DE POTENCIA INDUSTRIAL              |       |      |      |       |             | 0.85        |         |            |
|  | POTENCIA DEL TRANSFORMADOR CALCULADA (KVA) |       |      |      |       |             | 1855        |         |            |
| <b>POTENCIA DEL TRANSFORMADOR COMERCIAL (KW)</b> |  |       |      |      |       | <b>2000</b> |             |         |            |
| CALCULO POTENCIA CONTRATADA                      | POTENCIA INSTALADA TOTAL (KW)              |       |      |      |       |             | 1627        |         |            |
|  | FACTOR DE CARGA                            |       |      |      |       |             | 0.65        |         |            |
|  | CÁLCULO POTENCIA CONTRATADA (KW)           |       |      |      |       |             | 1058        |         |            |
|  | <b>POTENCIA CONTRATADA FINAL (KW)</b>      |       |      |      |       |             | <b>1060</b> |         |            |
|  | TENSIÓN (KV)                               |       |      |      |       |             | 22.9        |         |            |
|  | FRECUENCIA (HZ)                            |       |      |      |       |             | 60          |         |            |
|  | SISETEMA                                   |       |      |      |       |             | 3φ          |         |            |
|  | TARIFA                                     |       |      |      |       |             | MT3         |         |            |

Fuente: Elaboración propia con norma IEC 947 – 2, - 3 - 4.



Tabla N° 4.2.- Elaboración de las cargas no críticas.

| CUADRO DE CARGAS NO CRÍTICAS<br>460V, 60HZ RST INGNIEROS S.A.C. |                       |       |      |      |       |      |     |               |
|---|-----------------------|-------|------|------|-------|------|-----|---------------|
| ITEM  | DESCRIPCION DE CARGAS | Putil | EF   | FP   | Pinst | FD   | MD  | CAL           |
|   |                       | KW    |      |      | KW    |      | KW  |               |
| C1  | PROCESAMIENTO FOSFATO | 45    | 1.00 | 0.70 | 45    | 0.80 | 36  | NO<br>CRITICA |
| C2  | TRATAMIE. AGUAS DURAS | 95    | 1.00 | 0.78 | 95    | 0.80 | 76  |               |
| C3  | PRODUCTOS FINALES     | 75    | 1.00 | 0.72 | 75    | 0.80 | 60  |               |
| C4  | CCMO1                 | 355   | 0.83 | 0.88 | 428   | 0.80 | 342 |               |
| TOTAL (KW)  |                       | 570   |      |      | 643   |      | 514 |               |

Fuente: Elaboración propia con norma IEC 947 – 2, - 3 - 4.

Tabla N° 4.3.- Elaboración del cuadro de cargas críticas.

| CUADRO DE CARGAS CRÍTICAS<br>460V, 60HZ RST INGNIEROS S.A.C. |   |       |      |      |       |      |     |             |     |  |
|--|---|-------|------|------|-------|------|-----|-------------|-----|--|
| ITEM   | DESCRIPCION DE LAS CARGAS                   | Putil | EF   | FP   | Pinst | FD   | MD  | CAL         |     |  |
|  |   | KW    |      |      | KW    |      | KW  |             |     |  |
| C1   | CENTRO COMPUTO                              | 35    | 1.00 | 0.79 | 35    | 1.00 | 35  | CRITICA     |     |  |
|  | AIRE ACONDICIONADO.                         | 55    | 1.00 | 0.88 | 55    | 0.80 | 44  |             |     |  |
|  | TENSIÓN ESTABILIZADA                        | 25    | 1.00 | 0.87 | 25    | 1.00 | 25  |             |     |  |
|  | ALUMBRADO Y TOMACORRIENTE                   | 48    | 1.00 | 0.75 | 48    | 0.80 | 38  |             |     |  |
| C2   | SERV. AUXILIARES                            | 115   | 1.00 | 0.83 | 115   | 0.80 | 92  |             |     |  |
| C3   | ZONA MOLIENDA                               | 110   | 0.87 | 0.90 | 126   | 0.80 | 101 |             |     |  |
| C4   | EMVASADO LIQUIDOS                           | 289   | 1.00 | 0.88 | 289   | 0.80 | 231 |             |     |  |
| C5   | EMVASADO SOLIDOS                            | 315   | 1.00 | 0.88 | 315   | 0.80 | 252 |             |     |  |
| CALCULO GRUPO<br>ELECTRÓGENO                                 | MAXIMA DEMAMDA TOTAL (KW)                   |       |      |      |       |      |     |             | 819 |  |
|  | FACTOR AMPLIACION                           |       |      |      |       |      |     |             | 1.2 |  |
|  | FACTOR DE POTENCIA INDUSTRIAL               |       |      |      |       |      |     | 0.8         |     |  |
|  | POTENCIA DEL TRANSFORMADOR CALCULADA (KVA)  |       |      |      |       |      |     | 1228        |     |  |
|  | <b>POTENCIA DEL GRUPO ELECTRÓGENO (KVA)</b> |       |      |      |       |      |     | <b>1250</b> |     |  |
|  | TENSIÓN (VOLTIOS)                           |       |      |      |       |      |     | 230         |     |  |
|  | FRECUENCIA (HZ)                             |       |      |      |       |      |     | 60          |     |  |
|  | MSNM  |       |      |      |       |      |     | 1000        |     |  |

Fuente: Elaboración propia con norma IEC 947 – 2, - 3 - 4.



Tabla N° 4.4.- Cables alimentadores e interruptores termomagnéticos

| CÁLCULO DE CABLES E INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS<br>460V, 60HZ RST INGNIEROS S.A.C. |  |             |      |       |      |      |       |                         |                 |            |       |         |      |      |      |     |            |
|--|--|-------------|------|-------|------|------|-------|-------------------------|-----------------|------------|-------|---------|------|------|------|-----|------------|
| ITEM   | DESCRIPCION DE CARGAS                    | PARÁMETROS  |      |       |      |      |       | CABLES TIPO N2XH DUCTOS |                 |            |       |         | ITM  |      |      |     |            |
|  |  | Pinst       | F.P. | TENS. | LONG | Inom | larr  | ldis                    | Scu             | Cap.       | ΔV In | ΔV larr | ldis | lcom | RT   | RM  | P.C.<br>KA |
|  |  | KW          |      | V     | m    | A    | A     | A                       | mm <sup>2</sup> | A          | %     | %       | A    | A    |      |     |            |
| C1   | CENTRO COMPUTO                           | 35          | 0.79 | 460   | 35   | 56   | 278   | 73                      | 10              | 95         | 1.03  | 5.16    | 67   | 100  | 0.6  | 2.8 | 50         |
|  | AIRE ACONDICIONADO.                      | 55          | 0.88 | 460   | 45   | 78   | 392   | 103                     | 16              | 125        | 1.30  | 6.52    | 94   | 125  | 0.6  | 3.1 | 50         |
|  | TENSIÓN ESTABILIZADA                     | 25          | 0.87 | 460   | 34   | 36   | 180   | 47                      | 6               | 68         | 1.19  | 5.97    | 43   | 63   | 0.6  | 2.9 | 50         |
|  | ALUMB. TOMACORR.                         | 48          | 0.75 | 460   | 18   | 80   | 402   | 105                     | 16              | 125        | 0.46  | 2.28    | 96   | 125  | 0.6  | 3.2 | 50         |
| C2   | SERV. AUXILIARES                         | 115         | 0.83 | 460   | 22   | 174  | 869   | 228                     | 70              | 275        | 0.30  | 1.52    | 209  | 250  | 0.7  | 3.5 | 50         |
| C3   | ZONA MOLIENDA                            | 110         | 0.90 | 460   | 185  | 153  | 767   | 201                     | 50              | 230        | 3.43  | 17.16   | 184  | 200  | 0.8  | 3.8 | 50         |
| C4   | EMVASADO LIQUIDOS                        | 289         | 0.88 | 460   | 94   | 412  | 2061  | 541                     | 300             | 600        | 0.76  | 3.82    | 495  | 630  | 0.7  | 3.3 | 50         |
| C5   | EMVASADO SOLIDOS                         | 315         | 0.88 | 460   | 174  | 449  | 2246  | 590                     | 300             | 600        | 1.54  | 7.70    | 539  | 630  | 0.7  | 3.6 | 50         |
| C1   | PROCESAMIENTO FOSFATO                    | 45          | 0.70 | 460   | 65   | 81   | 403   | 106                     | 16              | 125        | 1.54  | 7.71    | 97   | 125  | 0.6  | 3.2 | 50         |
| C2   | TRATAMIE. AGUAS DURAS                    | 95          | 0.78 | 460   | 125  | 153  | 764   | 201                     | 70              | 275        | 1.43  | 7.15    | 183  | 200  | 0.8  | 3.8 | 50         |
| C3   | PRODUCTOS FINALES                        | 75          | 0.72 | 460   | 68   | 131  | 654   | 172                     | 35              | 195        | 1.23  | 6.14    | 157  | 160  | 0.8  | 4.1 | 50         |
| C4   | CCM                                      | 355         | 0.88 | 460   | 125  | 506  | 2532  | 665                     | 370             | 275        | 1.01  | 5.06    | 608  | 630  | 0.8  | 4.0 | 50         |
| CD   | CONCESIONARIO                            | <b>1700</b> | 0.85 | 460   | 8    | 2510 | 12551 | 3295                    | 1680            | 3381       | 0.07  | 0.34    | 3012 | 3000 | 0.8  | 5.0 | 50         |
|  | CALCULO DE LA CAPACIDAD DE<br>LOS CABLES | 450         | x    | 2     | x    |      | 0.8   | =                       | 720             | SECCION DE |       | 185     | 2    | =    | 370  |     |            |
|  |  | 690         | x    | 7     | x    |      | 0.7   | =                       | 3381            | LOS CABLES |       | 240     | 7    | =    | 1680 |     |            |

Fuente: Elaboración propia con norma IEC 947 – 2, - 3 - 4.



Tabla N° 4.5.- Configuración de los cables alimentadores.

| <b>CÁLCULO DE CABLES E INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS<br/>460V, 60HZ RST INGNIEROS S.A.C.</b> |                       |  |
|--|-----------------------|--|
| ITEM   | DESCRIPCION DE CARGAS | CONFIGURACIÓN DE LOS CABLES  |
| C1   | CENTRO COMPUTO        | 3 - 1x10mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE + 1x6mm <sup>2</sup> NH-80 + 01 PVCSAP DIAM. 25 mm.      |
|  | AIRE ACONDICIONADO.   | 3 - 1x16mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE + 1x10mm <sup>2</sup> NH-80 + 01 PVCSAP DIAM. 35 mm.     |
|  | TENSIÓN ESTABILIZADA  | 3 - 1x6mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE + 1x4mm <sup>2</sup> NH-80 + 01 PVCSAP DIAM. 25 mm.       |
|  | ALUMB. TOMACORR.      | 3 - 1x16mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE + 1x10mm <sup>2</sup> NH-80 + 01 PVCSAP DIAM. 35 mm.     |
| C2   | SERV. AUXILIARES      | 3 - 1x70mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE + 1x25mm <sup>2</sup> NH-80 + 01 PVCSAP DIAM. 65 mm.     |
| C3   | ZONA MOLIENDA         | 3 - 1x50mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE + 1x16mm <sup>2</sup> NH-80 + 01 PVCSAP DIAM. 55 mm.     |
| C4   | EMVASADO LIQUIDOS     | 3 - 1x300mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE + 1x50mm <sup>2</sup> NH-80 + 01 PVCSAP DIAM. 115 mm.   |
| C5   | EMVASADO SOLIDOS      | 3 - 1x300mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE + 1x50mm <sup>2</sup> NH-80 + 01 PVCSAP DIAM. 115 mm.   |
| C1   | PROCESAMIENTO FOSFATO | 3 - 1x16mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE + 1x10mm <sup>2</sup> NH-80 + 01 PVCSAP DIAM. 35 mm.     |
| C2   | TRATAMIE. AGUAS DURAS | 3 - 1x70mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE + 1x25mm <sup>2</sup> NH-80 + 01 PVCSAP DIAM. 65 mm.     |
| C3   | PRODUCTOS FINALES     | 3 - 1x35mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE + 1x16mm <sup>2</sup> NH-80 + 01 PVCSAP DIAM. 40 mm.     |
| C4   | CCM                   | 2(3 - 1x185mm <sup>2</sup> TIPO N2XOH TRIPLE) + 1x50mm <sup>2</sup> NH-80 + 02 PVCSAP DIAM. 90 mm. |
| C8   | CONCESIONARIO         | 7(3 - 1x240mm <sup>2</sup> TIPO N2XH TRIPLE) + 1x95mm <sup>2</sup> NH-80 + 07 PVCSAP DIAM. 105 mm. |

Fuente: Elaboración propia con norma IEC 947 – 2, - 3 - 4.



Tabla N° 4.6.- Potencia equivalente del CCM.

| CUADRO DE CARGAS 460V, 60HZ<br>RST INGENIEROS S.A.C. |     |     |      |      |               |       |        |        |        |
|--|-----|-----|------|------|---------------|-------|--------|--------|--------|
| RELACION DE CARGAS DEL CCM01                         |     |     |      |      |               |       |        |        |        |
| ITEM   | HP  | POL | EF   | FP   | VOL           | AMP   | ∅      | AMP    | ∅      |
| 1  | 20  | 8   | 0.83 | 0.80 | 460           | 28.2  | -36.87 | 507.45 | -28.58 |
| 2  | 25  | 2   | 0.86 | 0.90 | 460           | 30.2  | -25.84 |        |        |
| 3  | 50  | 2   | 0.89 | 0.90 | 460           | 58.5  | -25.84 |        |        |
| 4  | 75  | 4   | 0.89 | 0.80 | 460           | 98.6  | -36.87 |        |        |
| 5  | 100 | 6   | 0.91 | 0.90 | 460           | 114.3 | -25.84 |        |        |
| 6  | 150 | 2   | 0.87 | 0.90 | 460           | 179.4 | -25.84 |        |        |
| <b>POTENCIA PARCIAL (KW) =</b>                       |     |     |      |      | <b>355.03</b> |       |        |        |        |

Fuente: Elaboración propia con norma IEC 947 – 2, - 3 - 4.

#### 4.2.1. TABLERO DE TRASFERENCIA AUTOMÁTICA

Tabla N° 4.7.- Elaboración del sistema binario vía algebra de BOYLE.

|   |          |  |  |
|---|----------|--|--|
| 0 | ABIERTO  |  |  |
| 1 | CERRADO  |  |  |
| X | NO ACTÚA |  |  |

|       |  |   |  |
|-------|--|---|--|
| n = 3 |  | 8 |  |
|-------|--|---|--|

| COMBINACIONES NO |   |   |   |
|------------------|---|---|---|
| A                | B | C | R |
| 1                | 1 | 1 |   |
| 1                | 1 | 0 |   |
| 1                | 0 | 1 |   |
| 1                | 0 | 0 |   |
| 0                | 1 | 1 |   |
| 0                | 1 | 0 |   |
| 0                | 0 | 1 |   |
| 0                | 0 | 0 |   |

| COMBINACIONES |   |   |     |
|---------------|---|---|-----|
| A             | B | C | R   |
| 1             | 1 | 1 | X   |
| 1             | 1 | 0 | LDS |
| 1             | 0 | 1 | X   |
| 1             | 0 | 0 | X   |
| 0             | 1 | 1 | X   |
| 0             | 1 | 0 | X   |
| 0             | 0 | 1 | X   |
| 0             | 0 | 0 | X   |

| COMBINACIONES |   |   |   |
|---------------|---|---|---|
| A             | B | C | R |
| 1             | 1 | 1 | X |
| 1             | 1 | 0 | X |
| 1             | 0 | 1 | X |
| 1             | 0 | 0 | X |
| 0             | 1 | 1 | X |
| 0             | 1 | 0 | X |
| 0             | 0 | 1 | X |
| 0             | 0 | 0 | X |

|   |           |           |
|---|-----------|-----------|
| A | ITM A     | PRINCIPAL |
| B | ITM B     | TIE       |
| C | ITM C     | EMERGEN.  |
| R | RESPUESTA |           |

|  |
|--|
| SOLO TRABAJARÁ<br>LUZ DEL SUR COMO<br>FUENTE PRINCIPAL |
|--|

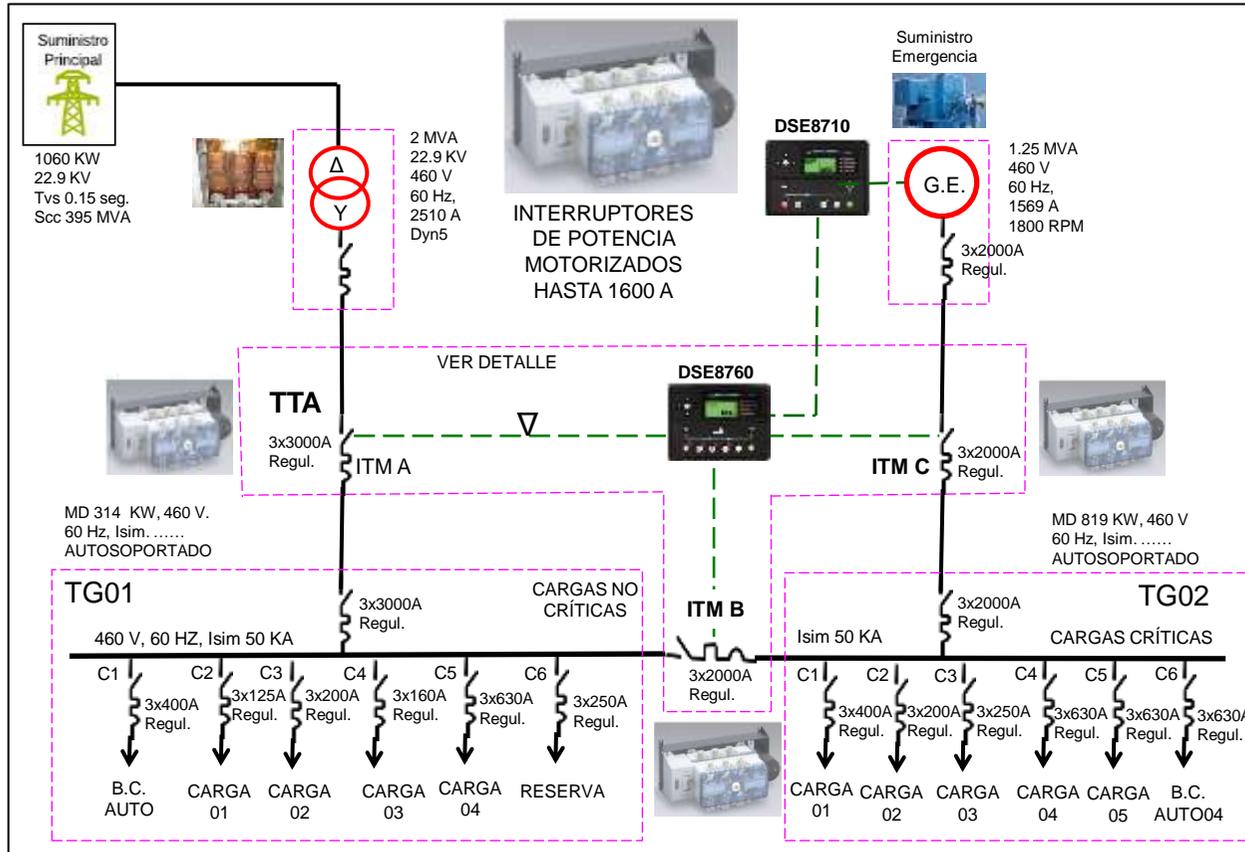
|  |
|--|
| SOLO TRABAJARÁ EL<br>G.E COMO SISTEMA<br>DE EMERGENCIA |
|--|

Fuente: Elaboración propia con norma IEC 947 – 2, - 3 - 4.



#### 4.2.2. DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Figura N° 4.1.- Diagrama unifilar del sistema eléctrico.

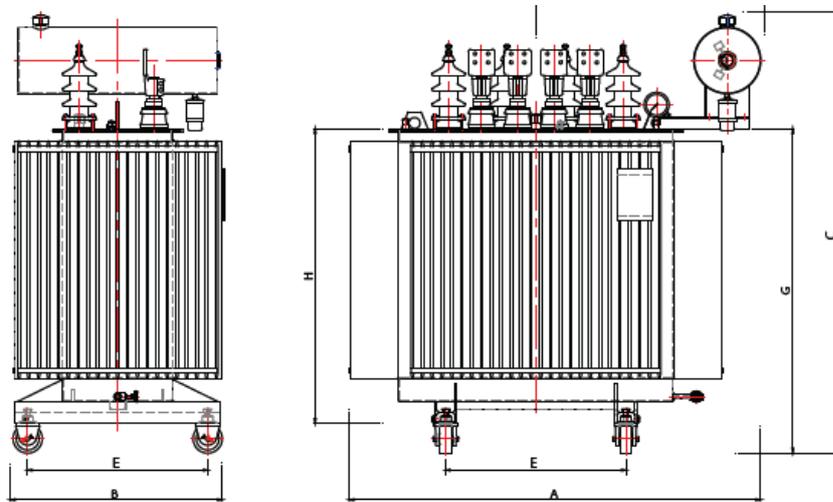


Fuente: Elaboración propia con norma IEC 947 – 2, - 3 - 4.



### 4.2.3. SELECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Figura N° 4.2.- Transformador de potencia en baño de aceite.



| Potencia (kVA) | Dimensiones Generales (mm) |      |      |      |     |     |      |      | Pesos Aprox.(kg) |        |       |
|----------------|----------------------------|------|------|------|-----|-----|------|------|------------------|--------|-------|
|                | A                          | B    | C    | D    | E   | F   | G    | H    | P.Activa         | Aceite | Total |
| 1000           | 1880                       | 990  | 2250 | 1100 | 820 | 135 | 1590 | 1455 | 1270             | 720    | 2800  |
| 1250           | 1910                       | 990  | 2250 | 1100 | 820 | 135 | 1590 | 1455 | 1430             | 720    | 2950  |
| 1600           | 2050                       | 1120 | 2750 | 1120 | 820 | 135 | 1900 | 1765 | 2420             | 1260   | 4600  |
| 2000           | 2200                       | 1260 | 2910 | 1210 | 820 | 135 | 1985 | 1850 | 2720             | 1410   | 5500  |
| 2500           | 2480                       | 1560 | 2950 | 1410 | 820 | 135 | 2050 | 1915 | 3350             | 1660   | 6000  |

\*Dimensiones aproximadas, sujetas a variación sin previo aviso.  
 \*Para alturas mayores a 1000 msnm., consultar dimensiones.  
 - Suministro de ruedas, según lista de accesorios.

Fuente: Elaboración propia Delcrosa S.A.

### 4.2.4. GRUPO ELECTRÓGENO

Figura N° 4.3.- Grupo electrógeno de potencia marca Cummins.



Fuente: Elaboración propia CUMMINS PERU S.A.

Tabla N° 4.8.- Características del grupo electrógeno.

| <b>GRUPO ELECTRÓGENO 460 V, 60 HZ, FP= 0.8 1800 RPM<br/>AISLAMIENTO CLASE H</b> |           |      |           |      |           |      |           |      |
|---|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| MODELO<br>GTA   | CONTINUO  |      | PRIME     |      | STAND BY  |      | STAND BY  |      |
|   | T = 125°C |      | T = 125°C |      | T = 150°C |      | T = 163°C |      |
|   | KVA       | KW   | KVA       | KW   | KVA       | KW   | KVA       | KW   |
|   | 1250      | 1000 | 1350      | 1104 | 1450      | 1160 | 1510      | 1203 |
| SOLO PARA SER CONECTADO EN 460 VOLTIOS  |           |      |           |      |           |      |           |      |
| EN SATND BY = 163°C Y TEMPERATURA AMBIENTE 27°C                                 |           |      |           |      |           |      |           |      |
| DE ACUERDO A LA IEC 34-1 PARA UNA ALTITUD DE 1000 NSNM                          |           |      |           |      |           |      |           |      |

Fuente: Elaboración propia CUMMINS PERU S.A.

#### 4.2.5. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

Tabla N° 4.9.- Sistema radial con discriminación de tiempo.

| <b>CÁLCULO DE CABLES E INTERRUPTORES<br/>TERMOMAGNÉTICOS<br/>460V, 60HZ RST INGENIEROS S.A.C.</b> |                         |             |             |             |             |     |     |            |
|---|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|-----|------------|
| ITEM  | DESCRIPCION DE CARGAS   | ITM         |             |             |             |     |     |            |
|   |                         | Pinst       | Inom        | Idis        | Icom        | RT  | RM  | P.C.<br>KA |
|   |                         | KW          | A           | A           | A           |     |     |            |
| C1  | AREA ADMINISTRATIVA     | 163         | 259         | 311         | 400         | 0.6 | 3.2 | 50         |
| C2  | SERV. AUXILIARES        | 115         | 174         | 209         | 250         | 0.7 | 3.5 | 50         |
| C3  | ZONA MOLIENDA           | 110         | 153         | 184         | 200         | 0.8 | 3.8 | 50         |
| C4  | EMVASADO LIQUIDOS       | 289         | 412         | 494         | 630         | 0.7 | 3.3 | 50         |
| C5  | EMVASADO SOLIDOS        | 315         | 449         | 539         | 630         | 0.7 | 3.6 | 50         |
| C1  | PROCESAMIENTO FOSFATO   | 45          | 81          | 97          | 125         | 0.6 | 3.2 | 50         |
| C2  | TRATAMIE TO AGUAS DURAS | 95          | 153         | 184         | 200         | 0.8 | 3.8 | 50         |
| C3  | PRODUCTOS FINALES       | 75          | 131         | 157         | 160         | 0.8 | 4.1 | 50         |
| C4  | CCM                     | 355         | 506         | 607         | 630         | 0.8 | 4.0 | 50         |
| CD  | CONCESIONARIO           | <b>1700</b> | <b>2510</b> | <b>3012</b> | <b>3000</b> | 0.8 | 5.0 | 50         |

Fuente: Elaboración propia con norma IEC 947 – 2, - 3 - 4.



#### 4.2.6. COMPENSACIÓN REACTIVA EN BAJA TENSIÓN

Tabla N° 4.11.- Compensación reactiva de las cargas no críticas.

| BANCO CONDENSADORES AUTOMATIZADO CARGAS NO CRÍTICAS<br>460 VOLTIOS 60 HZ        |                     |                       |       |       |       |      |            |            |            |             |            |           |           |           |
|---|---------------------|-----------------------|-------|-------|-------|------|------------|------------|------------|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| ITEM  | DESCRIPCION GENERAL | PARAMETROS ELECTRICOS |       |       |       |      |            | CORRIENTE  |            | CABLE N2XH  |            |           | ITM       |           |
|   |                     | PINST.<br>KW          | F.Pi  | F.Pf  | θi    | θf   | Qct<br>KAR | Qcr<br>KAR | INOMI<br>A | ldisen<br>A | Scu<br>mm² | Cap.<br>A | ldis<br>A | lcom<br>A |
| 1   | MD                  | 514                   | 0.850 | 0.985 | 31.79 | 9.94 | 229        | 230        | 289        | 404         | 150        | 410       | 375       | 400       |
| 2   | AJUSTE BANCOS       | 229                   | x     | 1.089 | =     | 249  | ELIJO      | 250        | x          | 0.918       | =          | 230       | KVAR      |           |
| 4   | ELECCION BANCOS     | 40                    | 60    | 60    | 50    | 40   |            |            |            |             |            | 250       | KVAR      |           |
| CONFIGU. CABLE: (3-1x150 mm² N2XH triple) + 1x25 mm² NH-80(T) + PVC SAP Ø 80 mm |                     |                       |       |       |       |      |            |            |            |             |            | RT        | 0.72      |           |
|   |                     |                       |       |       |       |      |            |            |            |             |            | RM        | 2.2       |           |

|  |                              |         |       |     |      |      |            |        |      |  |  |  |  |
|--|------------------------------|---------|-------|-----|------|------|------------|--------|------|--|--|--|--|
| IR A 480 V   | 139                          | X       | 1.089 | =   | 151  | KVAR |            |        |      |  |  |  |  |
| IR A 460 V   | 151                          | X       | 0.918 |     | 139  | KVAR |            |        |      |  |  |  |  |
| ELECCION DE LOS BANCOS DE CONDENSADORES PARA 12 ETAPAS DOS DE RESERVA BANCO AUTOMATIZADO | PARAMETROS ELECTRICOS BANCOS |         |       |     |      |      | CABLE N2XH |        |      |  |  |  |  |
|  | PASOS                        | Qcat.   | Qreal | IN  | ITMt | ITMc | ldcable    | Scable | CAP. |  |  |  |  |
|  |                              | KVAR    | KVAR  | A   | A    | A    | A          | mm²    | A    |  |  |  |  |
|  | 1                            | 40      | 36.74 | 47  | 61   | 80   | 66         | 6      | 68   |  |  |  |  |
|  | 2                            | 60      | 55.10 | 71  | 92   | 100  | 99         | 16     | 125  |  |  |  |  |
|  | 3                            | 60      | 55.10 | 71  | 92   | 100  | 99         | 16     | 125  |  |  |  |  |
|  | 4                            | 50      | 45.92 | 59  | 77   | 80   | 82         | 10     | 95   |  |  |  |  |
|  | 5                            | 40      | 36.74 | 47  | 61   | 80   | 66         | 6      | 68   |  |  |  |  |
|  | 6                            | RESERVA |       |     |      | 80   |            | 10     | 95   |  |  |  |  |
| TOTAL  | 250                          | 230     | 288   | 375 | 150  | 403  | 150        | 410    |      |  |  |  |  |

Fuente: Elaboración propia con norma IEC 947 – 2, - 3 - 4.

Tabla N° 4.12.- Compensación reactiva de las cargas críticas.

| BANCO CONDENSADORES AUTOMATIZADO CARGAS CRÍTICAS<br>460 VOLTIOS 60 HZ            |                     |                       |       |       |       |      |            |            |            |             |            |           |           |           |
|--|---------------------|-----------------------|-------|-------|-------|------|------------|------------|------------|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| ITEM   | DESCRIPCION GENERAL | PARAMETROS ELECTRICOS |       |       |       |      |            | CORRIENTE  |            | CABLE N2XH  |            |           | ITM       |           |
|  |                     | PINST.<br>KW          | F.Pi  | F.Pf  | θi    | θf   | Qct<br>KAR | Qcr<br>KAR | INOMI<br>A | ldisen<br>A | Scu<br>mm² | Cap.<br>A | ldis<br>A | lcom<br>A |
| 1  | MD                  | 819                   | 0.850 | 0.985 | 31.79 | 9.94 | 364        | 367        | 461        | 645         | 400        | 680       | 599       | 630       |
| 2  | AJUSTE BANCOS       | 364                   | x     | 1.089 | =     | 396  | ELIJO      | 400        | x          | 0.918       | =          | 367       | KVAR      |           |
| 4  | ELECCION BANCOS     | 30                    | 40    | 60    | 60    | 60   | 60         | 30         | 30         | 30          |            | 400       | KVAR      |           |
| CONFIGU. CABLE: (3-1x400 mm² N2XH triple) + 1x50 mm² NH-80(T) + PVC SAP Ø 130 mm |                     |                       |       |       |       |      |            |            |            |             |            | RT        | 0.73      |           |
|  |                     |                       |       |       |       |      |            |            |            |             |            | RM        | 2.2       |           |

|  |                              |         |       |     |      |      |            |        |      |  |  |  |  |
|--|------------------------------|---------|-------|-----|------|------|------------|--------|------|--|--|--|--|
| IR A 480 V   | 139                          | X       | 1.089 | =   | 151  | KVAR |            |        |      |  |  |  |  |
| IR A 460 V   | 151                          | X       | 0.918 |     | 139  | KVAR |            |        |      |  |  |  |  |
| ELECCION DE LOS BANCOS DE CONDENSADORES PARA 12 ETAPAS DOS DE RESERVA BANCO AUTOMATIZADO | PARAMETROS ELECTRICOS BANCOS |         |       |     |      |      | CABLE N2XH |        |      |  |  |  |  |
|  | PASOS                        | Qcat.   | Qreal | IN  | ITMt | ITMc | ldcable    | Scable | CAP. |  |  |  |  |
|  |                              | KVAR    | KVAR  | A   | A    | A    | A          | mm²    | A    |  |  |  |  |
|  | 1                            | 40      | 36.74 | 47  | 61   | 80   | 66         | 6      | 68   |  |  |  |  |
|  | 2                            | 60      | 55.10 | 71  | 92   | 100  | 99         | 16     | 125  |  |  |  |  |
|  | 3                            | 60      | 55.10 | 71  | 92   | 100  | 99         | 16     | 125  |  |  |  |  |
|  | 4                            | 50      | 45.92 | 59  | 77   | 80   | 82         | 10     | 95   |  |  |  |  |
|  | 5                            | 40      | 36.74 | 47  | 61   | 80   | 66         | 6      | 68   |  |  |  |  |
|  | 6                            | RESERVA |       |     |      | 80   |            | 10     | 95   |  |  |  |  |
| TOTAL  | 250                          | 230     | 288   | 375 | 150  | 403  | 150        | 410    |      |  |  |  |  |

Fuente: Elaboración propia con norma IEC 947 – 2, - 3 - 4.



### 4.3. ESTUDIO DE LA COORDINACION DE LA PROTECCIÓN

La protección de sobrecorriente definida para los componentes eléctricos del grupo electrógeno y las redes eléctricas de Luz del Sur deberá ser ajustada con tiempo de operación por debajo de los tiempos críticos de despeje de fallas y la capacidad de corriente de cortocircuito de cada equipo.

El término “protección” no implica que el equipo de protección pueda prevenir fallas o deficiencia de los equipos. Los relés de protección sólo se ponen en funcionamiento después que haya ocurrido una condición insostenible. Sin embargo, su función es minimizar los daños a equipos fallados, reducir el tiempo y costo de interrupción, así como el de reparación y problemas afines que pudieran ocurrir.

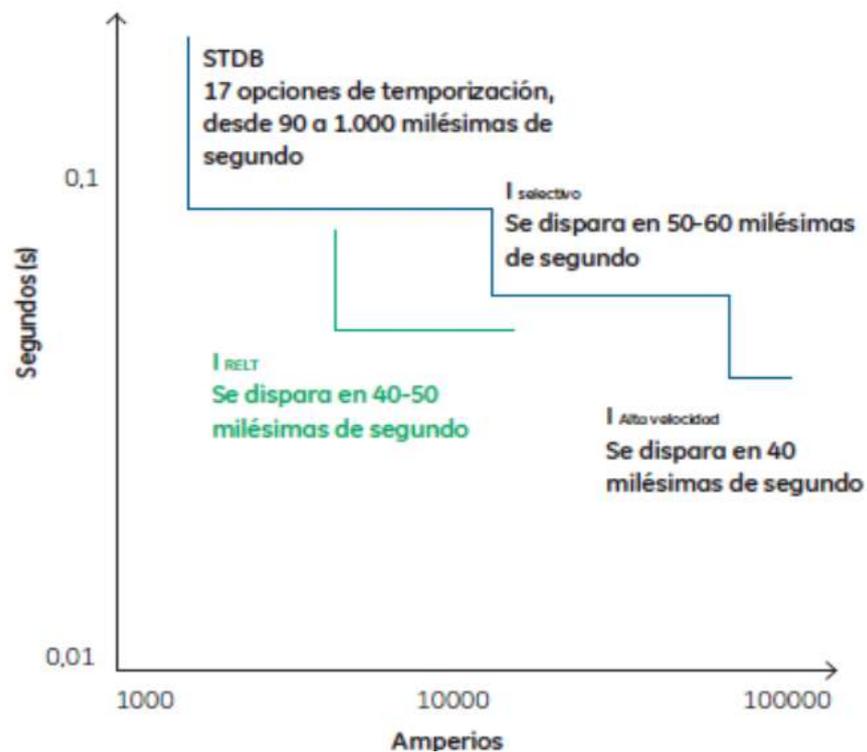
La coordinación entre los diversos elementos de protección de sobrecorriente se realiza mediante la definición de sus ajustes, tanto de corriente como de tiempo, de modo tal que se obtenga la mejor selectividad posible. Para los ajustes a realizarse se procederá con la siguiente metodología:

- Todos los ajustes serán verificados para dos condiciones extremas, las cuales corresponden a las máximas y mínimas corrientes de falla.
- Para la protección de sobrecorriente entre fases, se considera como máxima corriente de falla a la corriente de cortocircuito trifásico.
- Cuando el grupo de generación se encuentre operando (máxima demanda).
- El tiempo de coordinación entre dispositivos de protección se considera de aproximadamente 100ms, que es determinado principalmente por el tiempo de actuación del relé más el tiempo de apertura del interruptor, con un margen de seguridad para compensar los errores de los valores estimados de corriente de falla, tiempo de operación de los relés y errores en los transformadores de corriente.



- La corriente de arranque de la protección de sobrecorriente de fases se ajusta mayormente a la máxima corriente de carga del circuito a proteger, y a la vez este ajuste debe permitir detectar fallas bifásicas con resistencias de falla de 5 ohm dentro de su zona de protección.
- La corriente de arranque de la protección sobrecorriente de tierra debe ser como máximo el 40% de la corriente de carga, y a la vez el ajuste debe permitir detectar fallas a tierra con resistencias de falla de 50 ohm dentro de su zona de protección. Asimismo, la función de sobrecorriente 50/51, es implementada en el generador para proteger el devanado de armadura contra sobrecargas y sobrecorriente.
- La sobrecarga permitida para las unidades de generación está definida en la norma *IEEE Std C37.102-1995* el cual se considera como referencia.

Figura N° 4.4.- Características de los relés de tiempo definido.



Fuente: IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection and coordination of industrial and commercial Power System



Para las protecciones de sobrecorriente de tierra se toma el umbral de corriente de arranque de sobrecorriente de tierra se ajusta igual a 0,3 a 0,4 veces la corriente nominal del transformador de potencia de la mayor etapa, del devanado correspondiente. En el devanado de 22.9 kV del transformador es de conexión delta por tal motivo no es necesario coordinar con la función de sobrecorriente de la red de Luz del Sur. La curva utilizada para el devanado de 10 kV se utilizará de tiempo directo con un tiempo de actuación que se encuentre entre 200 a 500 ms, asimismo, estos tiempos de actuación deben coordinar con los tiempos de actuación de los relés de los alimentadores de 22.9 kV.

Tabla N° 4.13.- Características de los interruptores de potencia.

| <b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS INTERRUPTORES DE BAJA TENSIÓN</b> |  |                     |                   |
|--|--|---------------------|-------------------|
| Marca  | G.E.   |                     |                   |
| Modelo   | Wave Pro   |                     |                   |
| Protección   | Microversa TRIP PLUS   |                     |                   |
| In (A)   | 800, 1600, 2000, 3200, 4000, 5000  |                     |                   |
| CT   | 150, 400, 800, 1600, 2000, 3200, 4000, 5000  |                     |                   |
| <b>sobrecorriente de fases</b>                                       |  |                     |                   |
| Pickup LT (xIn)  | 0.5-1.1/0.05 (min-Max/paso)  |                     |                   |
| Delay LT   | 1, 2, 3, 4 (600%LT / 1 ≈ 2.4, 2 ≈ 4.9, 3 ≈ 9.8, 4 ≈ 20 seg.)                         |                     |                   |
| Pickup ST (xLT)  | 1.5-9.0/0.5 (min-Max/paso)   |                     |                   |
| Delay ST   | 1, 2, 3 (600%LT / 1 ≈ 0.10, 2 ≈ 0.21, 3 ≈ 0.35 seg.)                                 |                     |                   |
| I <sup>2</sup> T   | IN, OUT (OUT ≈ Tiempo definido, IN ≈ tiempo inverso cn tiempo definido a los 600%LT) |                     |                   |
|  | Frame Max. Amp rating  | Setpoint Without ST | Setpoints With ST |
| Pickup Instanteo (xIn, paso de 0.5xIn)                               | 2000   | 1.5-10.0xIn         | 1.5-15.0xIn       |
|  | 3200   | 1.5-10.0xIn         | 1.5-13.0xIn       |
|  | 4000   | 1.5-9.0xIn          | 1.5-9.0xIn        |
|  | 5000   | 1.5-7.0xIn          | 1.5-7.0xIn        |
| <b>Sobrecorriente de tierra</b>                                      |  |                     |                   |
| Pickup (xCT, paso de 0.01xCT)  | Sensor, A  | Set Points          |                   |
|  | 150-2000   | 0.20-0.60           |                   |
|  | 3200   | 0.20-0.37           |                   |
|  | 4000   | 0.20-0.30           |                   |
|  | 5000   | 0.20-0.24           |                   |

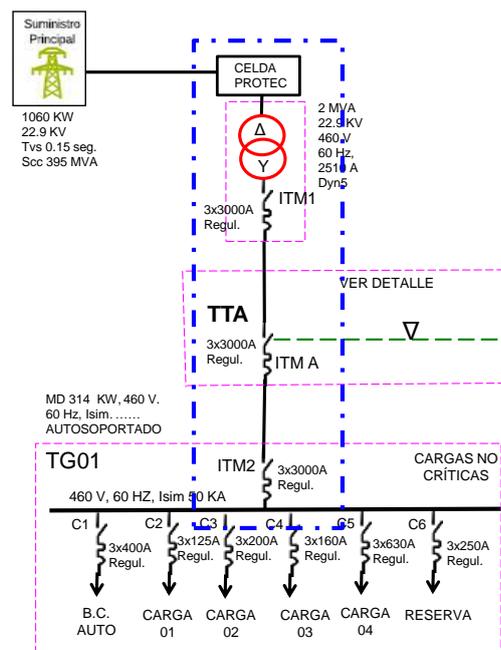
Fuente: Fabricante General Electric USA.



Los interruptores automáticos de bastidor Microversa Trip Plus forman parte de una nueva gama de interruptores automáticos de bastidor evolucionados a partir de los tipos M-PACT y ME07 existentes para ofrecer una autentica plataforma de productos global conforme con las normas IEC, ANSI y UL. Una gama de dispositivos de tres y cuatro polos comprendidos entre 400 y 6.400 A en tres tamaños básicos con valores nominales de interrupción por defecto de hasta 150 kA. Un diseño que ofrece una combinación exclusiva de resistencia a altos valores de intensidades de defecto, un tiempo de interrupción breve y selectividad.

### AJUSTES DE LA PROTECCIÓN EN BAJA TENSIÓN

Figura N° 4.5. Coordinación de la protección entre la zona de baja tensión correspondiente al sector del concesionario.

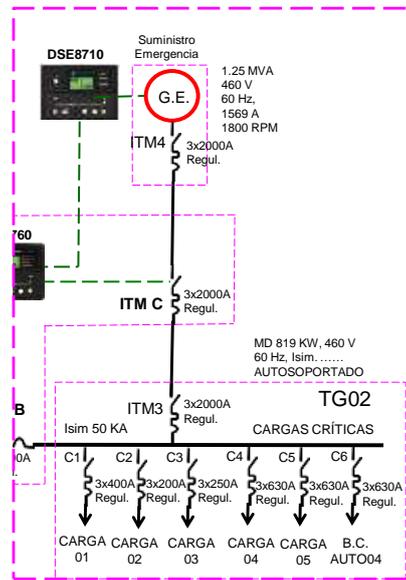


| E.C.P. ITM1 - ITMA - ITM2 460V, 60HZ RST INGENIEROS S.A.C. |                        |             |           |           |           |         |      |      |         |      |      |       |       |
|--|------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|---------|------|------|---------|------|------|-------|-------|
| ITM  | DESCRIPCION DE CARGAS  | ITM         |           |           |           |         |      |      |         |      |      |       |       |
|  |                        | Pinst<br>KW | Inom<br>A | Idis<br>A | Icom<br>A | RT      |      |      |         | RM   |      |       |       |
|  |                        |             |           |           | ORIG      | RELE 51 | Seg. | ORIG | RELE 51 | Seg. |      |       |       |
| ITM1   | ITM TABLERO BARRAS     | 1700        | 2510      | 3012      | 3000      | 0.84    | 0.85 | 2550 | 0.450   | 5.02 | 5.00 | 15000 | 0.150 |
| ITMA   | ITM TTA                | 1700        | 2510      | 3012      | 3000      | 0.84    | 0.80 | 2400 | 0.400   | 5.02 | 4.50 | 13500 | 0.120 |
| ITM2   | ITM TABLERO GENERAL 01 | 1700        | 2510      | 3012      | 3000      | 0.84    | 0.75 | 2250 | 0.300   | 5.02 | 4.00 | 12000 | 0.100 |

Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEC 947



Figura N° 4.6. Coordinación de la protección entre la zona de baja tensión correspondiente al sector de la zona de emergencia.



**E.C.P. ITM4 - ITMC - ITM3 460V, 60HZ RST INGENIEROS S.A.C.**

| ITM  | DESCRIPCION DE CARGAS   | ITM         |           |           |           |      |         |      |       |         |      |       |       |
|------|-------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|------|---------|------|-------|---------|------|-------|-------|
|      |                         | Pinst<br>KW | Inom<br>A | Idis<br>A | Icom<br>A | RT   |         |      | RM    |         |      |       |       |
|      |                         |             |           |           |           | ORIG | RELE 51 | Seg. | ORIG  | RELE 51 | Seg. |       |       |
| ITM4 | ITM TABLERO BARRAS G.E. | 1063        | 1569      | 1883      | 2000      | 0.78 | 0.85    | 1700 | 0.450 | 4.71    | 5.00 | 10000 | 0.150 |
| ITMC | ITM TTA                 | 1063        | 1569      | 1883      | 2000      | 0.78 | 0.80    | 1600 | 0.400 | 4.71    | 4.50 | 9000  | 0.120 |
| ITM3 | ITM TABLERO GENERAL 02  | 1063        | 1569      | 1883      | 2000      | 0.78 | 0.75    | 1500 | 0.300 | 4.71    | 4.00 | 8000  | 0.100 |

**CÁLCULO DE CABLES E INTERRUPTORES  
TERMOMAGNÉTICOS  
460V, 60HZ RST INGENIEROS S.A.C.**

| ITEM | DESCRIPCION DE CARGAS   | ITM         |           |           |           |     |     |            |    |
|------|-------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----|-----|------------|----|
|      |                         | Pinst<br>KW | Inom<br>A | Idis<br>A | Icom<br>A | RT  | RM  | P.C.<br>KA |    |
|      |                         |             |           |           |           |     |     |            | C1 |
| C2   | SERV. AUXILIARES        | 115         | 174       | 209       | 250       | 0.7 | 3.5 | 50         |    |
| C3   | ZONA MOLIENDA           | 110         | 153       | 184       | 200       | 0.8 | 3.8 | 50         |    |
| C4   | EMVASADO LIQUIDOS       | 289         | 412       | 494       | 630       | 0.7 | 3.3 | 50         |    |
| C5   | EMVASADO SOLIDOS        | 315         | 449       | 539       | 630       | 0.7 | 3.6 | 50         |    |
| C1   | PROCESAMIENTO FOSFATO   | 45          | 81        | 97        | 125       | 0.6 | 3.2 | 50         |    |
| C2   | TRATAMIENTO AGUAS DURAS | 95          | 153       | 184       | 200       | 0.8 | 3.8 | 50         |    |
| C3   | PRODUCTOS FINALES       | 75          | 131       | 157       | 160       | 0.8 | 4.1 | 50         |    |
| C4   | CCM                     | 355         | 506       | 607       | 630       | 0.8 | 4.0 | 50         |    |
| CD   | CONCESIONARIO           | 1700        | 2510      | 3012      | 3000      | 0.8 | 5.0 | 50         |    |

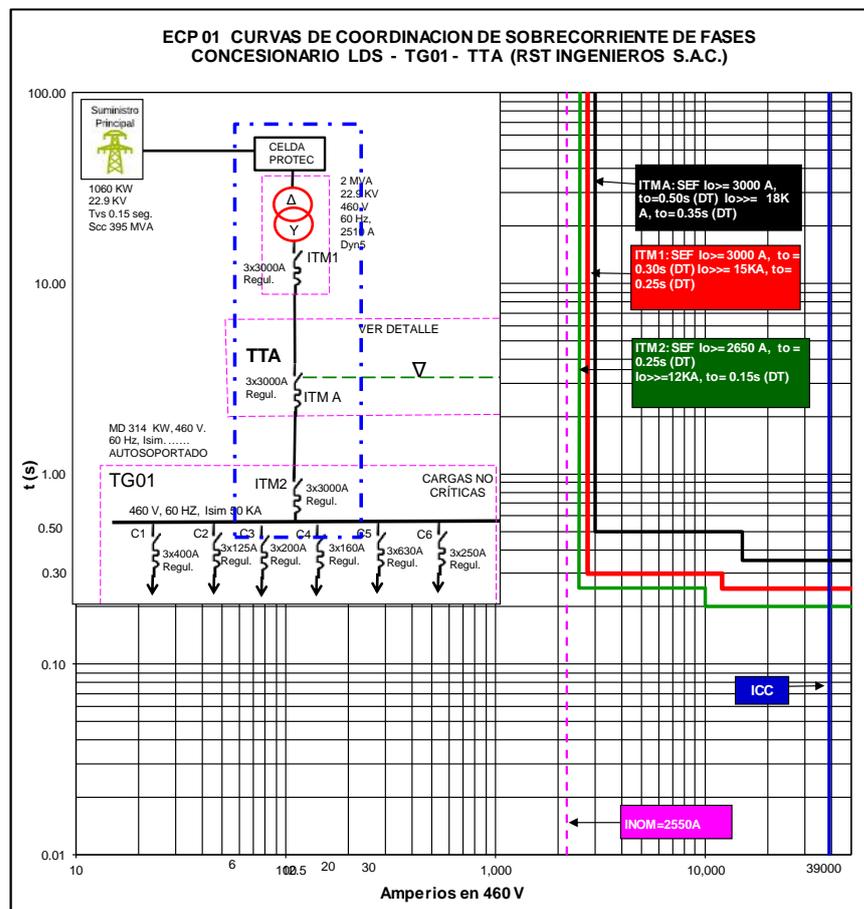
Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEC 947



### 4.3.1. AJUSTES DE LAS CORRIENTES EN ITM1 – TTA – ITM2

| AJUSTES DE LAS CORRIENTES DE FASES |       |         |       |         |       |
|------------------------------------|-------|---------|-------|---------|-------|
| R01'                               |       | R02     |       | R03     |       |
| Icc (A)                            | t(s)  | Icc (A) | t(s)  | Icc (A) | t(s)  |
| 2,550                              | 100   | 2,750   | 100.0 | 3,000   | 100.0 |
| 2,500                              | 0.250 | 2,750   | 0.300 | 3,000   | 0.500 |
| 10,000                             | 0.250 | 12,000  | 0.300 | 15,000  | 0.500 |
| 10,000                             | 0.250 | 12,000  | 0.30  | 15,000  | 0.350 |
| 10,000                             | 0.200 | 12,000  | 0.250 | 15,000  | 0.350 |
| 50,000                             | 0.200 | 50,000  | 0.250 | 50,000  | 0.350 |

Figura N° 4.7.- Curvas del sistema eléctrico concesionario LDS – TG01



| I corto circuito |       | I nominal |       | I diseño |       |
|------------------|-------|-----------|-------|----------|-------|
| 39000            | 0.01  | 2200      | 0.01  | 2640     | 0.01  |
| 39000            | 100.0 | 2200      | 100.0 | 2640     | 100.0 |

Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEEE Std 242

El dispositivo incluye la innovadora unidad de protección Entelliguard G que proporciona al interruptor automático la tecnología más moderna en materia de seguridad, fiabilidad, medición, relés y comunicaciones por medio de protocolo Modbus o Profibus. Beneficios - Selectivo, rápido y estable - Protección de vanguardia - Opciones de Instalación - Fáciles de usar y flexibles - Accesorios comunes y montables por el usuario - Solución completa para distribución de baja tensión

#### **4.3.2. AJUSTES DE LAS CORRIENTES EN ITM4 – TTC – ITM3**

Como protección de respaldo ante fallas internas y externas del transformador se ajusta funciones de sobrecorriente de tiempo directo.

El umbral de corriente de arranque de fases se ajusta igual a 1,3 veces la corriente nominal del transformador de potencia de la mayor etapa, del devanado correspondiente.

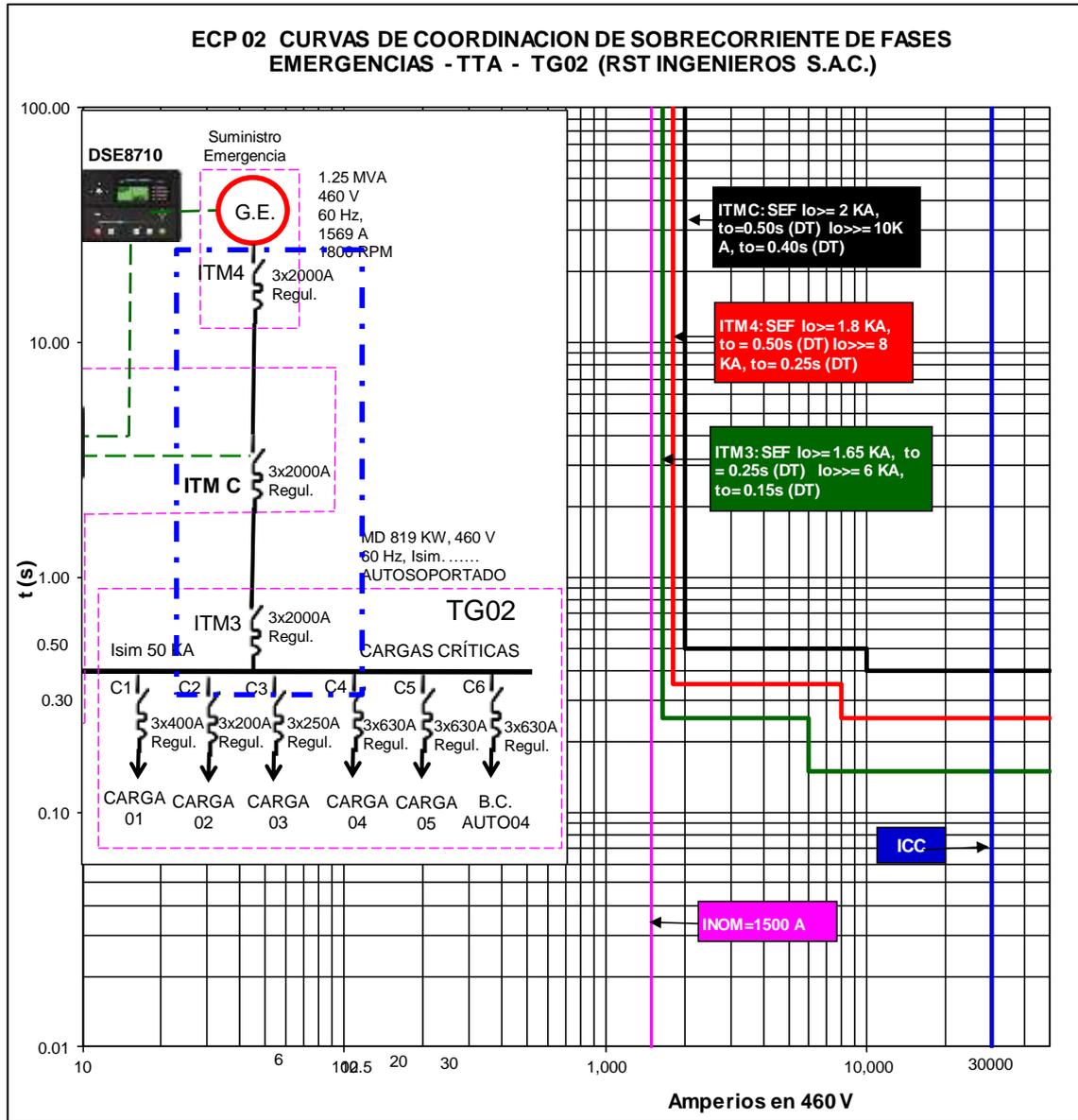
Para el lado de baja tensión del transformador, la curva utilizada es de tiempo directo seleccionado con el criterio de desconectar ante fallas en la barra de 22.9 kV en un tiempo aproximado de 300 a 500 ms. Asimismo, estos tiempos de actuación deben coordinar con los tiempos de actuación de los relés de los alimentadores de 22.9 kV.

Para el lado de alta tensión del transformador, la curva utilizada es de tiempo directo seleccionado con el criterio de tener un margen mínimo de coordinamiento de 200 ms entre los relés de los devanados de 22.9 kV del transformador. Sin embargo, debido a las características especiales de la subestación, los tiempos de actuación de los devanados de 22.9 kV y 460 V se ha considerado similares.



La temporización se ajusta en 100 ms de modo que se eviten actuaciones indeseadas ante altas corrientes originadas por corriente de energización del transformador.

Figura N° 4.8.- Curvas del sistema eléctrico Emergencia - TG02



| I corto circuito | I nominal | I diseño |       |      |       |
|------------------|-----------|----------|-------|------|-------|
| 30000            | 0.01      | 1500     | 0.01  | 1800 | 0.01  |
| 30000            | 100.0     | 1500     | 100.0 | 1800 | 100.0 |

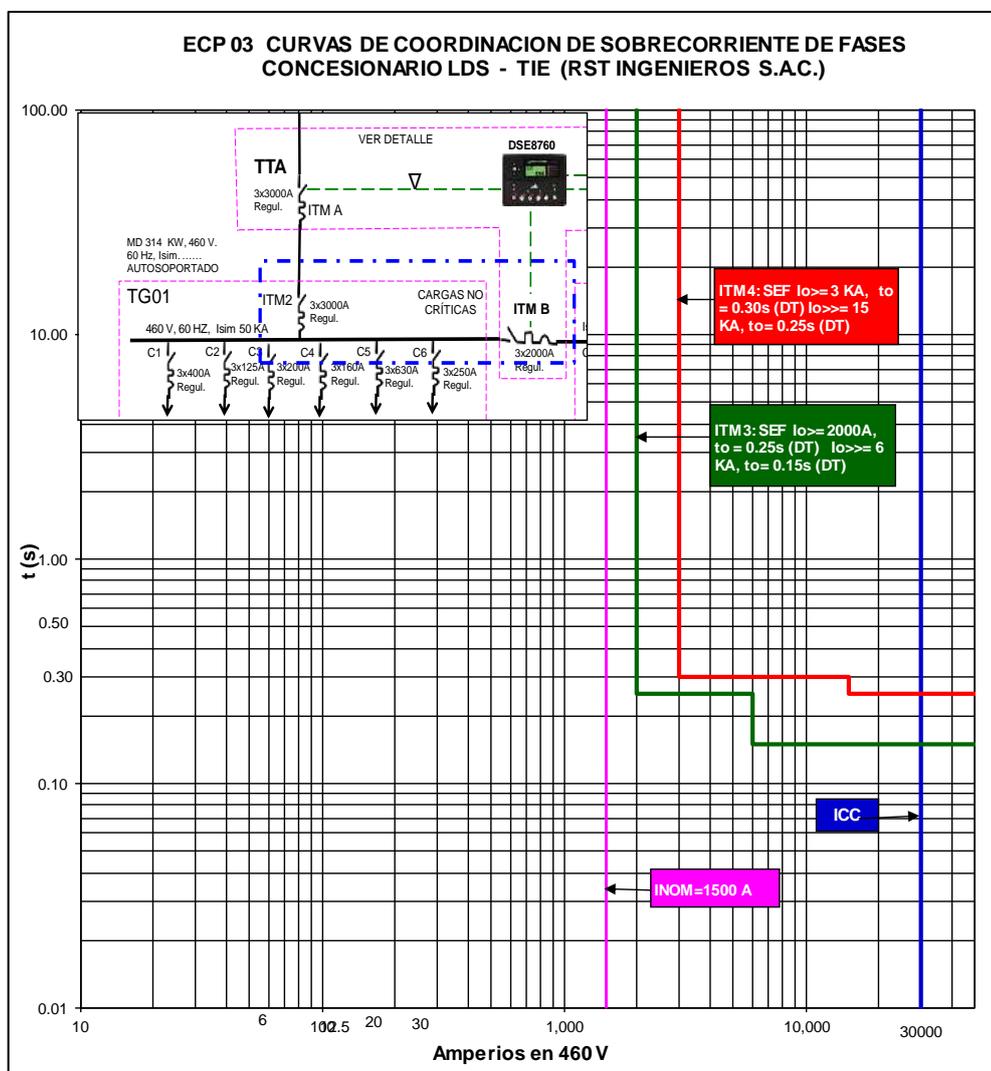
*[Handwritten signature]*

| AJUSTES DE LAS CORRIENTES DE FASES |       |         |       |         |       |
|------------------------------------|-------|---------|-------|---------|-------|
| R01'                               |       | R02     |       | R03     |       |
| Icc (A)                            | t(s)  | Icc (A) | t(s)  | Icc (A) | t(s)  |
| 1,650                              | 100   | 1,800   | 100.0 | 2,000   | 100.0 |
| 1,650                              | 0.250 | 1,800   | 0.350 | 2,000   | 0.500 |
| 6,000                              | 0.250 | 8,000   | 0.350 | 10,000  | 0.500 |
| 6,000                              | 0.250 | 8,000   | 0.350 | 10,000  | 0.40  |
| 6,000                              | 0.150 | 8,000   | 0.250 | 10,000  | 0.400 |
| 50,000                             | 0.150 | 50,000  | 0.250 | 50,000  | 0.400 |

Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEEE Std 242

### 4.3.3. AJUSTES DE LAS CORRIENTES EN ITM2 – ITMB

Figura N° 4.9.- Curvas del sistema eléctrico Emergencia - ITM2 – TIE



| I corto circuito |       | I nominal |       | I diseño |       |
|------------------|-------|-----------|-------|----------|-------|
| 30000            | 0.01  | 1500      | 0.01  | 1800     | 0.01  |
| 30000            | 100.0 | 1500      | 100.0 | 1800     | 100.0 |

| AJUSTES DE LAS CORRIENTES DE FASES |       |         |       |
|------------------------------------|-------|---------|-------|
| R01'                               |       | R02     |       |
| lcc (A)                            | t(s)  | lcc (A) | t(s)  |
| 2,000                              | 100   | 3,000   | 100.0 |
| 2,000                              | 0.250 | 3,000   | 0.300 |
| 6,000                              | 0.250 | 15,000  | 0.300 |
| 6,000                              | 0.250 | 15,000  | 0.300 |
| 6,000                              | 0.150 | 15,000  | 0.250 |
| 50,000                             | 0.150 | 50,000  | 0.250 |

Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEEE Std 242

#### 4.3.4. AJUSTES DE LAS CORRIENTES EN ITM2 – ITMB

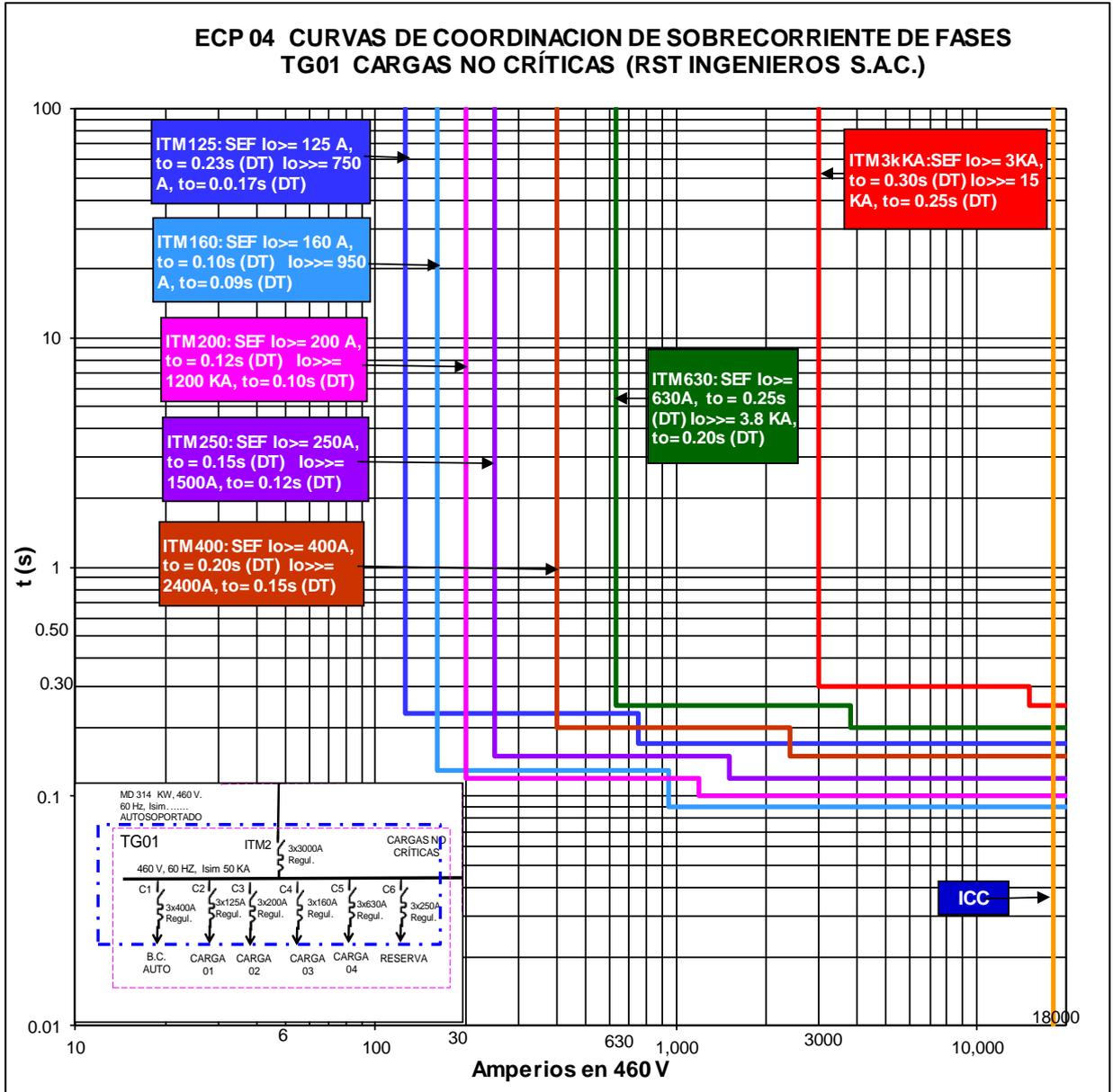
Figura N° 4.10.- Curvas del sistema eléctrico ITM02 - TG01

| I corto circuito |       |
|------------------|-------|
| 18000            | 0.01  |
| 18000            | 100.0 |

| AJUSTES DE LAS CORRIENTES DE FASES |       |         |       |         |       |         |       |         |       |         |       |         |       |
|------------------------------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| R125                               |       | R160    |       | R200    |       | R250    |       | R400    |       | R630    |       | R3000   |       |
| lcc (A)                            | t(s)  | lcc (A) | t(s)  | lcc (A) | t(s)  | lcc (A) | t(s)  | lcc (A) | t(s)  | lcc (A) | t(s)  | lcc (A) | t(s)  |
| 125                                | 100.0 | 160     | 100.0 | 200     | 100   | 250     | 100   | 400     | 100   | 630     | 100   | 3,000   | 100.0 |
| 125                                | 0.230 | 160     | 0.130 | 200     | 0.120 | 250     | 0.150 | 400     | 0.200 | 630     | 0.250 | 3,000   | 0.300 |
| 750                                | 0.230 | 950     | 0.130 | 1,200   | 0.120 | 1,500   | 0.150 | 2,400   | 0.200 | 3,800   | 0.250 | 15,000  | 0.300 |
| 750                                | 0.17  | 950     | 0.09  | 1,200   | 0.100 | 1,500   | 0.150 | 2,400   | 0.200 | 3,800   | 0.200 | 15,000  | 0.300 |
| 750                                | 0.170 | 950     | 0.090 | 1,200   | 0.100 | 1,500   | 0.120 | 2,400   | 0.150 | 3,800   | 0.200 | 15,000  | 0.250 |
| 20,000                             | 0.170 | 20,000  | 0.090 | 20,000  | 0.100 | 20,000  | 0.120 | 20,000  | 0.150 | 20,000  | 0.200 | 20,000  | 0.250 |

Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEEE Std 242





Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEEE Std 242

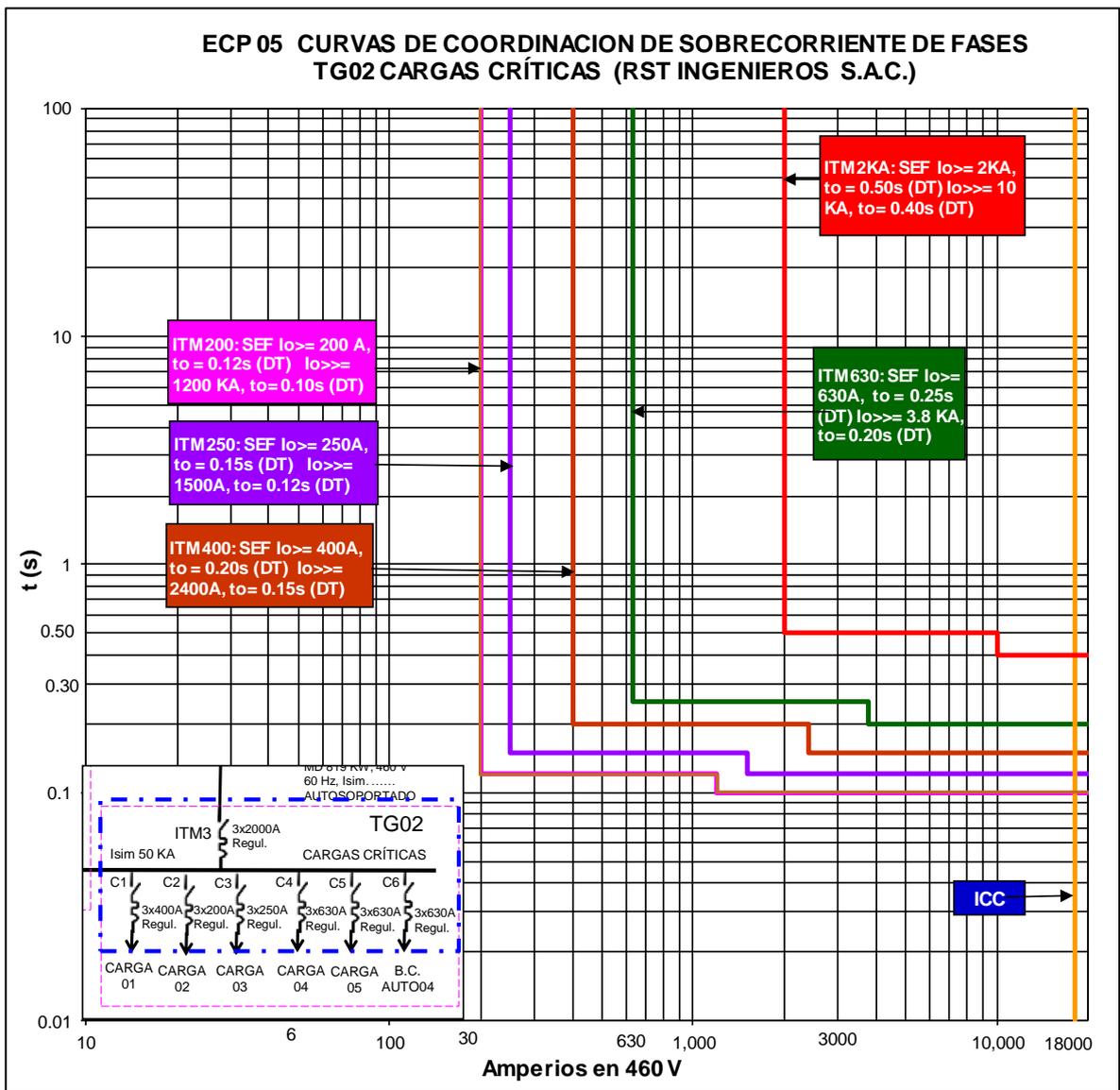
#### 4.3.5. AJUSTES DE LAS CORRIENTES EN ITM2 – ITMB

Figura N° 4.11.- Curvas del sistema eléctrico ITM03 - TG02

| I corto circuito |       |
|------------------|-------|
| 18000            | 0.01  |
| 18000            | 100.0 |

*[Handwritten signature]*

| AJUSTES DE LAS CORRIENTES DE FASES |       |         |       |         |       |         |       |         |       |
|------------------------------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| R200                               |       | R250    |       | R400    |       | R630    |       | R2000   |       |
| lcc (A)                            | t(s)  | lcc (A) | t(s)  | lcc (A) | t(s)  | lcc (A) | t(s)  | lcc (A) | t(s)  |
| 200                                | 100   | 250     | 100   | 400     | 100   | 630     | 100   | 2,000   | 100.0 |
| 200                                | 0.120 | 250     | 0.150 | 400     | 0.200 | 630     | 0.250 | 2,000   | 0.500 |
| 1,200                              | 0.120 | 1,500   | 0.150 | 2,400   | 0.200 | 3,800   | 0.250 | 10,000  | 0.500 |
| 1,200                              | 0.100 | 1,500   | 0.150 | 2,400   | 0.200 | 3,800   | 0.200 | 10,000  | 0.40  |
| 1,200                              | 0.100 | 1,500   | 0.120 | 2,400   | 0.150 | 3,800   | 0.200 | 10,000  | 0.400 |
| 20,000                             | 0.100 | 20,000  | 0.120 | 20,000  | 0.150 | 20,000  | 0.200 | 50,000  | 0.400 |



Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEEE Std 242



#### 4.3.6. En Media Tensión

Disponen de unidades de sobrecorriente, con transformadores de corriente para atender las funciones 50/51, para la protección de cada una de las fases y una unidad para la protección de falla a tierra (50N/51N).

Todas las funciones de protección son realizadas por el sensor electrónico ekorRPG, el cual se instala en celdas con interruptor automático CGMCOSMOS-V y/o CGM-CMP-V.

Las curvas de protección existentes en el relé de sobrecorriente provienen de la norma IEC 60255 y corresponden a las curvas: normalmente inversa (NI), muy inversa (VI), extremadamente inversa (EI) y de tiempo definido (DT). Cada una de estas curvas se rige por la ecuación vista en el marco teórico y el significado de cada uno de estos parámetros se muestra en las tablas adjuntas en este capítulo. A su vez, los rangos de ajuste tanto de la unidad de fase como la unidad de tierra se muestran en las tablas.

Las curvas de tiempo inverso actúan junto con la curva de tiempo definido del instantáneo de acuerdo a la función lógica "AND" y no a una función lógica "OR" como es de costumbre en los relés de sobrecorriente. Esto permite que el relé electrónico corte de manera exacta la curva de tiempo inverso y en este mismo punto comience la curva de tiempo definido instantáneo.

Tabla N° 4.14.- Características de transformador e ITM.

| CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR CABLES e ITM01. |                     |                       |       |   |        |      |                  |                 |        |       |        |       |      |      |
|---|---------------------|-----------------------|-------|---|--------|------|------------------|-----------------|--------|-------|--------|-------|------|------|
| ITEM  | DESCRIPCION GENERAL | PARAMETROS ELECTRICOS |       |   |        |      | CABLES TIPO N2XH |                 |        |       | ITM    |       |      |      |
|   |                     | P                     | T     | L | Inom   | CxT  | ldisen           | Scu             | Capac. | ΔV In | ldisen | Comer | RT   | RM   |
|   |                     | KVA                   | V     | m | A      | 40°C | A                | mm <sup>2</sup> | A      | %     | A      | A     |      |      |
| 1   | TRAFO SAB           | 2000                  | 460.0 | 6 | 2510.1 | 0.95 | 3382             | 2160            | 450    | 0.04  | 3012   | 3000  | 0.84 | 4.18 |
|   |                     |                       |       |   | 525    | 0.7  | 9                | 3307.5          |        | 9     | 240    | 2160  |      |      |

Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEC 947



Tabla N° 4.15.- Características de transformador de corriente.

| CARACTERISTICAS DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE |                 |       |                           |          |       |        |      | CORRIENTE EN MEDIA TENSIÓN REFLEJADA AL SECUNDARIO |             |       |       |                       |
|---|-----------------|-------|---------------------------|----------|-------|--------|------|--|-------------|-------|-------|-----------------------|
| PARAMETROS TRANSFORMADOR                            |                 |       | CARACTERISTICAS DE LOS TC |          |       |        |      | Vprimario  | Vsecundario | RT    | In    | Ireflejada secundario |
| POTENCIA NOMINAL                                    | TENSION NOMINAL | Inom. | Idisen.                   | Icomerc. | CLASE | BURDEN | TIPO | V  | V           |       | A     | A                     |
| KVA   | KV              | A     | A                         | A        |       | VA     |      | 22900  | 460         | 49.78 | 50.42 | 2510                  |
| 2000  | 22.9            | 50.42 | 63.03                     | 100/5    | 0.25  | 25     | 5P20 |  |             |       |       |                       |

Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEC 947

#### 4.3.7. AJUSTES DE LAS CORRIENTES EN ITM2 – ITMB

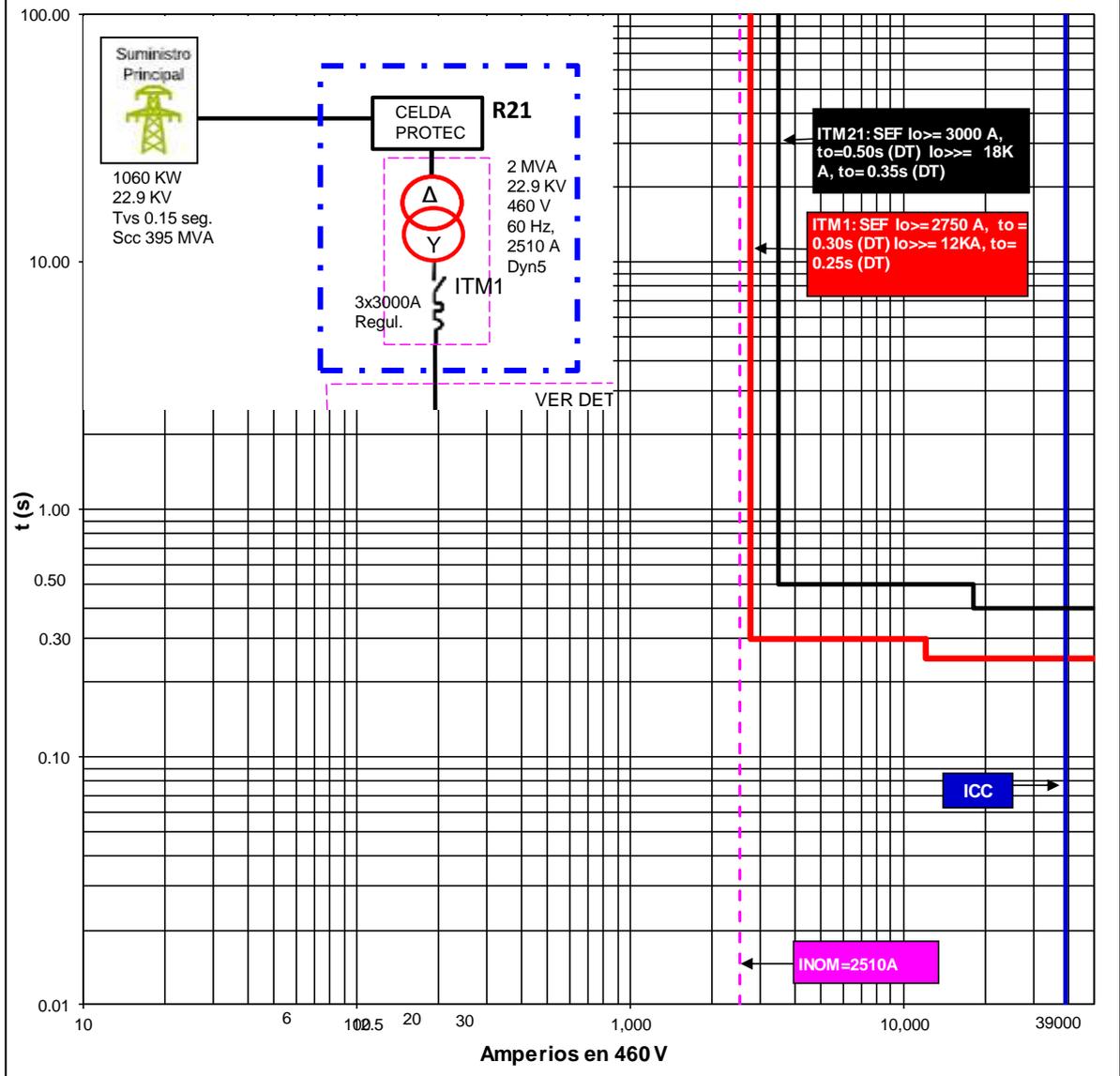
Figura N° 4.12.- Curvas del sistema eléctrico ITM01 – R21

| AJUSTES DE LAS CORRIENTES DE FASES |       |         |       |
|------------------------------------|-------|---------|-------|
| R02                                |       | R03     |       |
| Icc (A)                            | t(s)  | Icc (A) | t(s)  |
| 2,750                              | 100.0 | 3,500   | 100.0 |
| 2,750                              | 0.300 | 3,500   | 0.500 |
| 12,000                             | 0.300 | 18,000  | 0.500 |
| 12,000                             | 0.30  | 18,000  | 0.400 |
| 12,000                             | 0.250 | 18,000  | 0.400 |
| 50,000                             | 0.250 | 50,000  | 0.400 |

Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEC 947



**ECP 06 CURVAS DE COORDINACION DE SOBRECORRIENTE DE FASES  
CONCESIONARIO LDS - TG01 - TTA (RST INGENIEROS S.A.C.)**

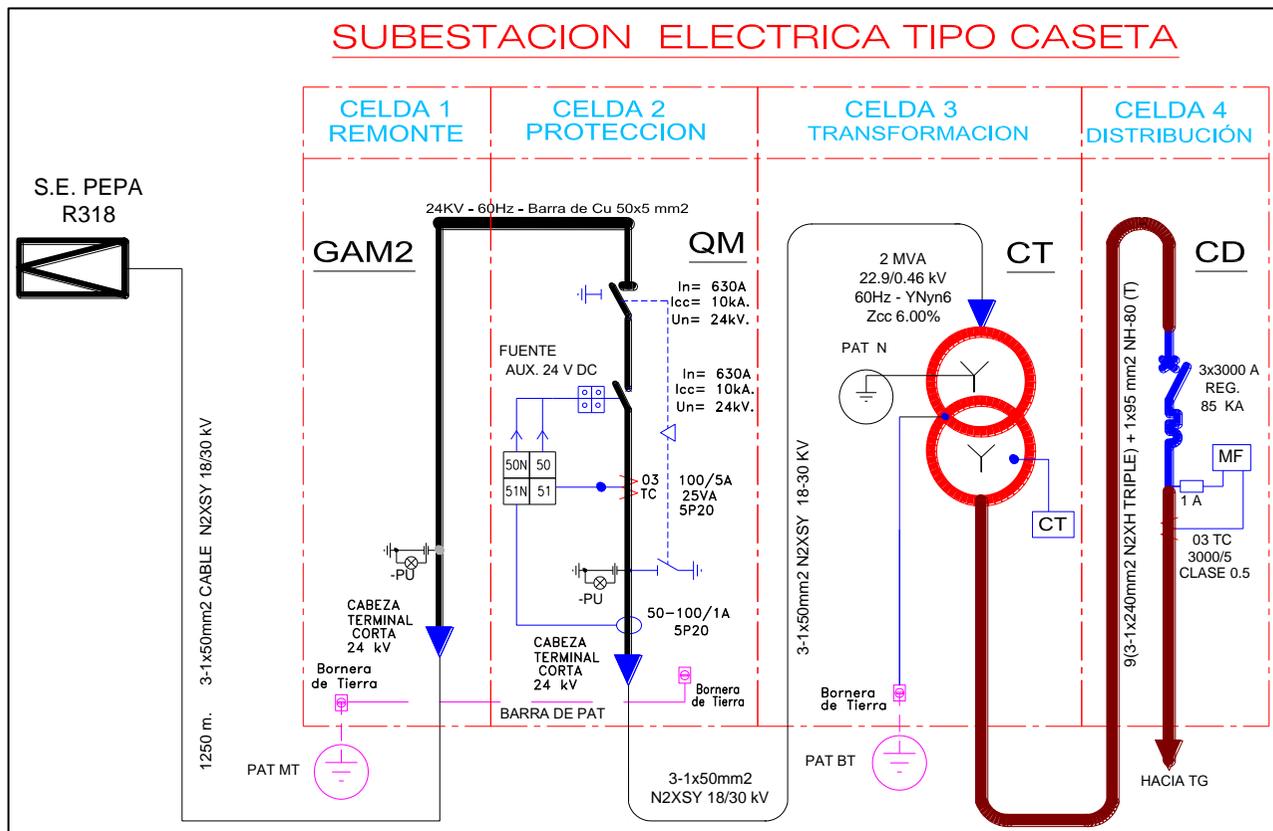


Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEC 947



### 4.3.8. DIAGRAMA UNIFILAR EN MEDIA TENSIÓN

Figura N° 4.13.- Diagrama unifilar del sistema de media tensión.



*[Handwritten signature]*

## LEYENDA M.T.

|   |   |
|---|---|
|  | TRANSFORMADOR DE CORRIENTE                                |
|  | INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO, 400 V,<br>60 Hz,CAJA MOLDEADA |
|  | PUESTA A TIERRA   |
|  | LAMPARAS DE SEÑALIZACION, PRESENCIA<br>DE TENSION         |
| <b>51</b>   | PROTECCION DE SOBRE CORRIENTE DE FASES                    |
| <b>50</b>   | PROTECCION CONTRA CORTO CIRCUITO<br>DE FASES              |
| <b>51N</b>  | PROTECCION DE SOBRE CORRIENTE A TIERRA                    |
| <b>50N</b>  | PROTECCION DE SOBRE CORRIENTE A TIERRA<br>INSTANTANEA     |

Fuente: Elaboración propia. Aplicación IEC 947



## V.- RESULTADOS

En las aplicaciones industriales encontramos varias formas de hacer el control, medición y protección de los diversos circuitos eléctricos y nuestro entender la mejor opción es utilizando los relés 50/51 fabricados por múltiples empresas.

A continuación, describimos en forma resumida las virtudes de los relés 50/51:

### 5.1. Funciones de Control del 50/51

Abre/cierra en remoto y local, I/O programable, compuertas y temporizadores lógicos programables.

### 5.2. Características de Medición del interruptor de potencia.

Intensidad y demanda de Intensidad, Tensión, Voltios - ampere, Watt y demanda de kW, kWh, kWh netos, VAR y demanda de kVAR, kVARh y kVARh netos, Factor de Potencia, Frecuencia, Registro Minima/máxima, Tendencias (perfil de carga en el tiempo) y THD de Intensidad y Tensión.

### 5.3. Características de Protección del relé 50/51

Opera integrado con los siguientes relés:

De corriente en fases instantáneo 50.

De corriente en fase temporizado 51.

De corriente en fases a tierra instantáneo 50N.

De corriente en fase a tierra temporizado 51N.

Falla de interruptor (50BF)

El consumo de energía es mínimo por lo que lo hace más eficiente generando mayor ahorro de energía y comparado con las demás marcas.

Estos equipos son proyectados para operar con alta eficiencia y confiabilidad para proveer un mejor aprovechamiento de energía dentro de una gran variedad de cargas.



#### **5.4. Mayor estabilidad en los sistemas eléctricos**

Frente a perturbaciones en el sistema eléctrico, los relés 50/51 se comportan en forma excelente, respondiendo de inmediato a las diversas fallas que se pueden presentar.

#### **5.5. En la aplicación industrial**

Debido a sus características constructivas, operación con alto rendimiento, alta confiabilidad y adaptabilidad a todo tipo de ambiente, son utilizados en prácticamente todos los sectores de la industria, tales como: Minería, siderúrgicas, sistemas de saneamiento, plantas papel, Química y petroquímica, azucareras, cemento entre otras.



## VI.- DISCUSIÓN

Los Relés multifunción 50/51 han sido diseñados para atender a mercados muy exigentes tales como: Aeropuertos, buques, plantas industriales exigentes, industria farmacéutica, entre otras.

Para lograr nuestro objetivo, se han tenido en cuenta:

- ✓ Funciones de la IEEE e IEC.
- ✓ Características de Monitoreo de la IEEE e IEC.
- ✓ Características de Protección de la IEEE e IEC.
- ✓ Mayor estabilidad en los sistemas eléctricos
- ✓ Su gran aplicación industrial

Ya dentro de su operatividad, aporta al sistema eléctrico conectado, una estabilidad frente a fuertes perturbaciones de corriente, tensión o frecuencia.

Las razones presentadas hacen que el elevado costo en la adquisición, justifiquen la inversión y mejoren de esta manera la optimización en la operatividad de los sistemas eléctricos que lo utilizan.

Dentro de los objetivos que me he planteado es lograr la optimización de la operación de los sistemas eléctricos aun cuando se presenten diversas contingencias en el sector eléctrico.

La coordinación correcta de los relés de sobre corriente 50/51 aplicados al sistema eléctrico tal como se muestran en el diseño metodológico, es recomendado por la IEEE Std C37.2-1996 ya que facilitará el conexionado de:

Transformadores de corriente de cada fase.

Transformador de corriente toroidal.

Fuente auxiliar.

Watch dog.

Dos entradas programables.

Tres salidas programables.



Panel de bornes ubicado en la parte posterior.

Tabla N° 6.1.- Datos típicos de los relés de sobrecorriente

| Location | Fault Current (A) |         | Maximum Load Current (A) | CT Ratio | Relay Current Setting |                     | Relay Time Multiplier Setting |
|----------|-------------------|---------|--------------------------|----------|-----------------------|---------------------|-------------------------------|
|          | Maximum           | Minimum |                          |          | Per Cent              | Primary Current (A) |                               |
|          |                   |         |                          |          |                       |                     |                               |

Fuente: Phase Relays. W.K Sonnemann, Transactions A.I.E.E. 1950.

### 6.1. **Contrastación y demostración de los resultados**

Para la contrastación de los resultados se han realizado los siguientes trabajos:

Verificación de las pruebas FAT de los fabricantes.

Contraste de los de los ajustes realizados.

Niveles de operación nominal de las máquinas.

Niveles de operación de trabajo de las máquinas.

Puesta en servicio final del sistema eléctrico.

### 6.2. **Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

**Estudio de coordinación de las protecciones del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.**

**Estudio de coordinación de las protecciones de Las Salinas QUIMPAC S.A.**

**Estudio de coordinación de las protecciones del ADIPLUS S.A.C.**

**Estudio de coordinación de las protecciones del TIZZA S.A.C.**

## **Estudio de coordinación de las protecciones del DP WORD.**



### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

**Los trabajos realizados han sido realizados con el rigor técnico y con la normatividad indicada en la bibliografía y el Código nacional de electricidad de los cuales tengo la plena responsabilidad.**



## VII.- CONCLUSIONES

Después de haber estudiado a profundidad los RELÉS 50/51 comerciales e industriales operados con sus respectivos sistemas de protección y accionamiento se ha llegado a presentar los resultados siguientes:

- Cumple a cabalidad con las funciones de Control, monitoreo, medición y protección con mayor estabilidad y gran aplicación industrial.
- Consume una pequeña energía reactiva por lo que le hace económico.
- Provee una estabilidad frente a fuertes perturbaciones de corriente, tensión o frecuencia.
- El costo de la energía de adquisición es del mercado.

En los resultados descritos anteriormente se operan con sistemas de accionamiento y protección totalmente automatizados el mismo que, en su operatividad, mantiene una alta autonomía, seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico.

**Sobre las prestaciones:** Siendo los relés 50/51, instalados en los sistemas eléctricos importantes, los responsables de la operación y comportamiento dinámico del sistema eléctrico y conociendo que las frecuentes perturbaciones, en estado transitorio, harán que el sistema cambie su performance, estos relés cuenta con un software integrado para contrarrestar cualquier tipo de fallas.

**De las características de trabajo:** Se ha demostrado que la operación de los relés 50/51, el cual integra los sistemas eléctricos, nos dan una protección adecuada de sobre corriente y nos permite garantizar un excelente servicio logrando amplios márgenes de confiabilidad y estabilidad del sistema eléctrico.



**De las comunicaciones:** Los equipos de control, protección, y medición cuentan con un puerto serial donde se conecta una interface hombre máquina (IHM), que me permite interactuar con un computador.

Están preparados para trabajar en redes LAN, WAN, fibras ópticas u otro medio utilizado en comunicaciones. Esto me permite integrar los procesos y hacer que la medición, control y protección sea óptima minimizando costos de operación.

**De la protección Integral:** Se ha demostrado que los relés 50/51 comandados e integrados adecuadamente siempre estarán haciendo frente a múltiples perturbaciones de energía producidos en la topología de los alimentadores y cargas como: Motores y generadores eléctricos.

**De la vida útil:** Siendo tan importantes los relés 50/51 los cuales comandan los sistemas de accionamiento, estos son fabricados utilizando componentes modernos con tecnología punta de manera tal que garanticen y sobrepasen largamente el tiempo de vida útil diseñado.

Los fabricantes tales como General Electric han considerado que los parámetros de temperatura tengan un incremento de la misma dentro del circuito eléctrico del equipo, consecuentemente esto aumenta considerablemente el tiempo de vida útil del mismo.



## VIII.- RECOMENDACIONES

Siendo el tema muy amplio es que voy a priorizar algunos procedimientos detallados en el presente trabajo tales como:

**La selección:** Cuando tengo que seleccionar los relés 50/51 debo estar seguro del tipo de sistema eléctrico al cual debe ser integrado por lo que es recomendable aplicar el procedimiento de selección recomendado por los fabricantes. Además, es necesario que la selección y dimensionamiento debe estar diseñado a medida y de acuerdo a las necesidades del sistema eléctrico teniendo en cuenta su criticidad, confiabilidad y fiabilidad.

**En la puesta en servicio:** Los especialistas, antes de instalar los relés 50/51, deberán chequear las características eléctricas del sistema. Seguidamente se debe realizar la coordinación de la comunicación, control y protección.

Para las pruebas de operación con carga deberán conectar y desconectar las cargas las que deben hacerse en forma progresiva no en forma brusca, ya que puede deteriorar a los equipos el sistema de accionamiento eléctrico.

**En las redes de comunicación local y remota:** Hoy en día los sistemas eléctricos de potencias comerciales e industriales manejan redes de comunicación que permiten tener interconectados las diversas fuentes de energía disponibles. Estas redes son conectadas a un computador central para de esta forma poder controlar y regular la performance de las cargas del sistema eléctrico.

**Optimización en el control y protección:** Los relés 50/51 son equipos altamente sofisticados que presenta un control y protección optimizados cuando los equipos se hallan estratégicamente instalados y monitoreados en forma local o remota, los cuales garantizan la protección, control y gestión de eventos y registro de señales.



En función con el mantenimiento del sistema de transferencia con sincronización automática y el mantenimiento de los generadores se plantea las siguientes recomendaciones:

Es necesario muy necesario hacer un riguroso estudio de coordinación de las protecciones incluyendo el equipamiento completo.

También es vital que se realicen los ajustes de los relés 50/51 con maletas especializadas ya que nos permitirán la inyección de corrientes frías correspondientes a las zonas de media y baja tensión.

Antes de energizar los equipos debemos estar seguros que estos se encuentran conectados al sistema de aterramiento de esta manera lograremos tener una protección contra contactos directos e indirectos.

En la utilización de grupos electrógenos ante cualquier eventualidad, es decir para el arranque de los mismos ante cualquier corte de energía eléctrica. Debemos considerar los siguientes puntos:

Es necesario programar pruebas en forma periódica del sistema, trabajando a plena carga, estas pruebas tienen por finalidad detectar fallas en el sistema eléctrico y mecánico. Debemos instalar en cada uno de los grupos electrógenos el sistema de precalentamiento para conseguir arranques rápidos y eficientes.



## IX.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANSI C37.90.1 2kV others, class 4
2. IEEE Std 242 – 1986 Recommended practice for protection and coordination of industrial and comercial power system.
3. Network Protection & Automation Guide- Directional Element Connections for Phase Relays. W.K Sonnemann, Transactions A.I.E.E. 1950.
4. IEEE Std C37.2-1996 Standard Electrical Power System Device Function Numbers and Contact Designations, – Revision of IEEE Std C37.2 – 1991
5. IL17569BS, EATON Cutler – Hammer FP-5000 Manual
6. IEEE Std 242 – 2001 Recommended for protection and coordination of industrial and commercial Power System
7. IEC 60255-5 Dielectric withstand 2kV common mode 1kV differential mode.
8. IEC 61000-4-1 High frequency disturbance 2.5kV common mode, class 3 1kV differential mode, class 3
9. IEC 61000-4-4 Fast transient disturbance 4kV auxiliary voltage, class 4.
10. IEC 61000-4-2 Electrostatic discharge 8kV, class 4, Radio Frequency
11. IEC 61000-4-3 Impulse 10V/m
12. IEC 60255-5 Dielectric withstand 2kV common mode 1kV differential mode.
13. IEC 61000-4-1 High frequency disturbance 2.5kV common mode, class 3 1kV differential mode, class 3
14. IEC 61000-4-4 Fast transient disturbance 4kV auxiliary voltage, class 4.
15. IEC 61000-4-2 Electrostatic discharge 8kV, class 4, Radio Frequency
16. IEC 61000-4-3 Impulse 10V/m



## NORMAS AMERICANAS

1. ANSI/IEEE C37.90-1989 Norma de rendimiento para Sistemas de Relé asociados con aparatos de potencia eléctrica
2. ANSI C37.90.1 (1989) Surge Withstand Capability. Oscillatory Surge Wave Compliance (OSWC) 2.5 kV, Fast Transient Surge Wave Compliance (FTSWC) 4.0 kV
3. ANSI C37.90.2 (1995) RF radiated immunity. RF Radiation Withstand V/M; 27 - 1000 MHz UL/CUL FP-5000 Cumplimiento UL es cubierto por el UL File Number E154862 Catalogo # FP-5000-00 Sólo Versión 5 Amp, FP5100-00 versión 1.
4. ANSI C37.200.2 tablero de media tensión metal clad.
5. ANSI C62 Guías y normas para la protección de tensión.
6. IEEE Standard Electrical Power System Device Function Numbers and Contact Designations, # C37.2-1996, ISBN 0-7381-0732-8 Standard IEEE Device Numbers.
7. IEEE 242 Práctica recomendada de la IEEE para la protección y coordinación de los sistemas de corriente industrial y comercial.
8. IEEE 141 Práctica recomendada para la distribución de corriente eléctrica para plantas industriales.
9. UL-1053 Rendimiento de Equipo - Interrupción de Falla a Tierra (GFI) para Relés de Protección (PR) - FP-5000-00 5 Amp Sólo Versión 5 Amp, UL-508 Espaciamiento de conductores, Seguridad, Incendio FCC
10. CFR 47 FCC Parte 15 Subparte b Clase A Limitación de radiación EMFIMPACC Communications Standard, IL 17384



## NORMAS EUROPEAS

1. Inmunidad EN-61000-6-2 (1999).
2. IEC 61000-4-2 ESD Inmunidad Descarga Electrostática, 8/6 kV; Aire/Contacto
3. IEC 61000-4-3 Inmunidad Radiada RF Radiación RF, 10 V/M 80-1000 MHz (1kHz 80% Amplitud Modulada)
4. IEC 61000-4-4 EFT/Inmunidad Ráfagas Transientes Eléctricos Rápidos, 4/2 kV; CM/DM
5. IEC 61000-4-5 Inmunidad Transientes Transiente, 2/1kV; CM/DM
6. IEC 61000-4-6 RF Inmunidad Conductiva Conductividad RF, 10 Vo; 0.150-80 MHz
7. IEC 61000-4-8 Inmunidad a Campo Magnético Campo Magnético, 50/60 Hz 30 A/m Frecuencia Industrial
8. IEC 61000-4-11 Prueba de Inmunidad a Variación Caída de tensión, 30% reducción, 0.5 periodos; de Tensión 60% reducción 5/50 periodos. Interrupción de Tensión 95% reducción 250 periodos
9. IEC 62271 – 1 - 100 Requirimirtos de la resistencia eléctrica y mecánica



## **X.- ANEXOS**

## A10.- MATRIZ DE CONSISTENCIA

|  |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|
| <p><b>Principal.</b></p> <p>¿Los sistemas eléctricos de potencia no cuentan con los estudios de coordinación de la protección con ajustes de sus relés del sistema eléctrico motivo por el cual la confiabilidad no es la adecuada?</p> <p><b>Específicos</b></p> <p>1. ¿Dado el alto nivel de perturbaciones, en el sistema eléctrico, es necesario realizar los estudios de coordinación de la protección y de ésta manera optimizan la operatividad del sistema eléctrico?</p> <p>2. ¿Dado que la calidad de energía no es buena es necesario realizar los ajustes de los relés conociendo los niveles de armónicos existentes?</p> | <p><b>General</b></p> <p>Realizar el estudio de la coordinación de la protección y hacer los ajustes de los relés para que el sistema eléctrico pueda operar con una confiabilidad adecuada.</p> <p><b>Específicos</b></p> <p>1. Hacer la coordinación de la protección para elaborar la tabla de valoraciones a los cuales deben ser coordinados los relés de tal manera que me permitan optimizar la operatividad de los sistemas eléctricos.</p> <p>2. Ajustar los parámetros eléctricos principales y derivados de los relés, utilizando la tabla de valoraciones, de tal forma que nos permita optimizar la operatividad de los sistemas eléctricos.</p> | <p><b>General</b></p> <p>El estudio de coordinación de la protección permite hallar los niveles a los cuales deben ser regulados los relés de tal forma que circuito coordinen entre sí, de esta manera optimizarán la operatividad de los sistemas eléctricos.</p> <p><b>Específicas</b></p> <p>1. Los sistemas eléctricos de potencia deben disponer de una tabla de valoraciones (estudio de coordinación de las protecciones), que me permitan realizar los ajustes de los relés ya que va ha permitir optimizar la operatividad del sistema eléctrico.</p> <p>2. Dado el alto nivel de armónicos es necesario realizar los estudios de calidad de energía antes de hacer los ajustes de los relés.</p> | <p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Y1 = Selectividad del sistema</p> <p>Y2 = Diseño y topología.</p> <p><b>Variable independiente</b></p> <p>X1 = Determina la ejecución del estudio y análisis de la corriente de corto circuito.</p> <p>X2 = Función IEEE 50 corriente de corto circuito instantáneo.</p> <p>X3 = Función IEEE 51 sobre corriente temporizado</p> | <p>Para contrastar y demostrar la hipótesis se tendrá como metodología de trabajo lo siguiente:</p> <p>Realizar el estudio de la coordinación de la protección.</p> <p>Realizar los ajustes de los relés para proteger en forma adecuada a los circuitos eléctricos.</p> <p>Estudio y análisis de calidad de energía y medición de los parámetros principales para así ser utilizados en la coordinación amperimétrica y cronométrica de los sistemas eléctricos.</p> |
|--|---|---|---|---|



## A11.- CURVAS TIPICAS UTILIZADAS EN LAS PROTECCIONES.

La descripción de las normas americanas ANSI nos indica:

La relación primaria CT seleccionable en pasos de 5 A (10 A ÷ 5000 A).

Sobreintensidad de fase instantánea corresponde a la función 50.

Sobrecorriente de tierra instantánea funciones 50N/50G•

Sobrecorriente de fase de tiempo inverso función 51 y

Sobrecorriente de tierra en tiempo inverso funciones 51N/51G con selección de curva según ANSI o IEC:

- Moderadamente inverso
- Normalmente inversa
- Muy inverso
- Extremadamente inverso
- Tiempo definido.
- Cierre automático la función 79.

A continuación, presentamos las tablas y gráficas correspondientes a las características de ajuste de los relés, y es como sigue:

Para procesar la información debemos conocer el tipo de relé y tener sus características más importantes, ya que este equipo se utilizará en la demostración, aplicación y ensayos a realizarse con las maletas ORION.

Para la protección contra las sobretensiones el IPR-A verifica continuamente las corrientes trifásicas y la corriente de tierra en la línea por medio de sus TC y activa una alarma y/o el disparo del disyuntor cuando un valor excede el nivel establecido (llamado nivel de activación):

Posibilidad de establecer por separado la sobrecorriente temporizada e instantánea.

No se agrega retraso intrínseco del dispositivo a la intervención instantánea

Gestión separada de los puntos de ajuste de sobrecorriente de fase y tierra.

Alarma de sobrecorriente de fase y tierra y retardo de disparo de acuerdo con la curva de tiempo-corriente establecida y con la entidad de corriente.

Las 5 formas de curva de tiempo-corriente seleccionables son las siguientes:



moderadamente inverso, normalmente inversa, muy inverso extremadamente inverso y tiempo definido. Todas las formas de curva tienen un multiplicador de tiempo (M) que permite modificar el tiempo de viaje.

Al seleccionar la curva para el disparo del interruptor automático, asegúrese de que el máx. la corriente de entrada al IPR-A no excede los 100 A por más de 1 segundo la combinación incorrecta de tiempo y corriente podría dañar la unidad y consecuentemente provocar la pérdida de protección.

### **MEDICIÓN DIGITAL**

1. corriente RMS de cada fase
2. Corriente de tierra RMS

### **SEÑALIZACIÓN Y PROGRAMACIÓN**

Indicación de pantalla LCD y LED.

Indicación y almacenamiento de las condiciones de falla y sus valores.

Indicación sobre el estado del sistema.

### **COMUNICACIÓN**

Comunicación remota utilizando una PC o un PLC mediante puertos RS485 o 1 puerto RS232.

Configuración local y remota de las protecciones y características del relé.

Registrador de fallas y eventos para análisis estadístico.

Programa auto explicativo que no requiere programación adicional.

Apertura o cierre remoto del disyuntor o seccionador

#### **ESPECIFICACIÓN VOLTAJE DE SUMINISTRO**

24 ÷ 310 Vcc, -15%, + 10% 24 ÷ 240 Vac, -15%, + 10%, 50 / 60Hz

EL CONSUMO DE ENERGÍA 7W, 12 VA (máx.)

#### **RANGOS DE TEMPERATURA**

Operativo: de 0 ° C a +50 °C

Almacenamiento: de -20 °C a + 70 °C



## **HUMEDAD RELATIVA Máxima**

90% (sin condensación)

## **IDENTIFICACIÓN**

En la placa en la parte posterior del IPR-A puede encontrar la siguiente información:

ORION ITALIA Fabricante PIACENZA 29100

Dirección del fabricante TEL .: 0523 - 591161 FAX: 0523 - 593898

[www.orionitalia.com](http://www.orionitalia.com)

Internet HECHO EN ITALIA MODELO: IPR-A Nombre del modelo NÚMERO DE SERIE Número de serie del relé MFG FECHA Fecha de fabricación CTs ACTUALES (SEC) CT de fase instalado: 1 A o 5 A CTs DE TIERRA (SEC) CT de tierra instalado: 1 A o 5 A

Los modelos de las funciones de sobre corriente de fases y tierra actualmente implementados han sido concebidos con el fin de suministrar una funcionalidad más amplia en términos de protección, medida, automatismo, control y mando para todas las redes eléctricas de MT. Estos relés pueden utilizarse en redes industriales, redes de distribución, así como protección complementaria de AT y MAT. La especificidad de estos relés permite responder a los diferentes casos de aplicación: llegada de energía, abonado de MT, cable subterráneo y línea aérea.

Las funciones de protección fase y tierra comparten una información instantánea y temporizada:

La primera puede utilizarse en esquemas de bloqueo lógico a fin de optimizar la funcionalidad de los esquemas de protección reduciendo el tiempo de disparo.

La segunda puede ser de tipo constante o de tipo inverso (según sea necesario el especialista hace la elección CEI, AUSI/IEE y C0).

Esta gran variedad de tiempos de disparo permite adaptar fácilmente estos relés a un esquema de protección existente, cualquiera, que sean los relés ya instalados. También pueden interactuar entre ellos y los demás.



En consecuencia, podemos afirmar, que la resulta muy importante controlar este tipo de sobre corrientes con los relés 50, 51 y 50N/51N.

### MODERADAMENTE INVERSO

| TABLA N° 11.1.- ANALISIS DE LAS CURVAS DE PROTECCIÓN<br>SEGÚN LAS NORMAS INTERNACIONALES ANSI<br>(AMERICANAS)   |               |               |            |              |               |                           |                 |
|---|---------------|---------------|------------|--------------|---------------|---------------------------|-----------------|
| $T = M \times \left( A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)} + \frac{D}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)^3} \right)$ |               |               |            |              |               |                           |                 |
| CONSTANTES DE CURVA ANSI  | A             | B             | C          | D            | E             | PARÁMETROS IMPORTANTES    |                 |
| <b>MODERADAMENTE INVERSO</b>  | <b>0.1735</b> | <b>0.6791</b> | <b>0.8</b> | <b>-0.08</b> | <b>0.1271</b> | TRIP TIME (seg)           | T               |
| <b>NORMALMENTE INVERSO</b>  | 0.027         | 2.2614        | 0.3        | -4.19        | 9.1275        | CURVE MULTIPLIER SETPOINT | M               |
| <b>MUY INVERSO</b>  | 0.0615        | 0.7989        | 0.34       | -0.284       | 4.0505        | INPUT CURRENT             | I               |
| <b>EXTREMADAMENTE INVERSO</b>   | 0.0399        | 0.2294        | 0.5        | 3.0094       | 0.7222        | PICKUP CURRENT SETPOINT   | I <sub>pu</sub> |

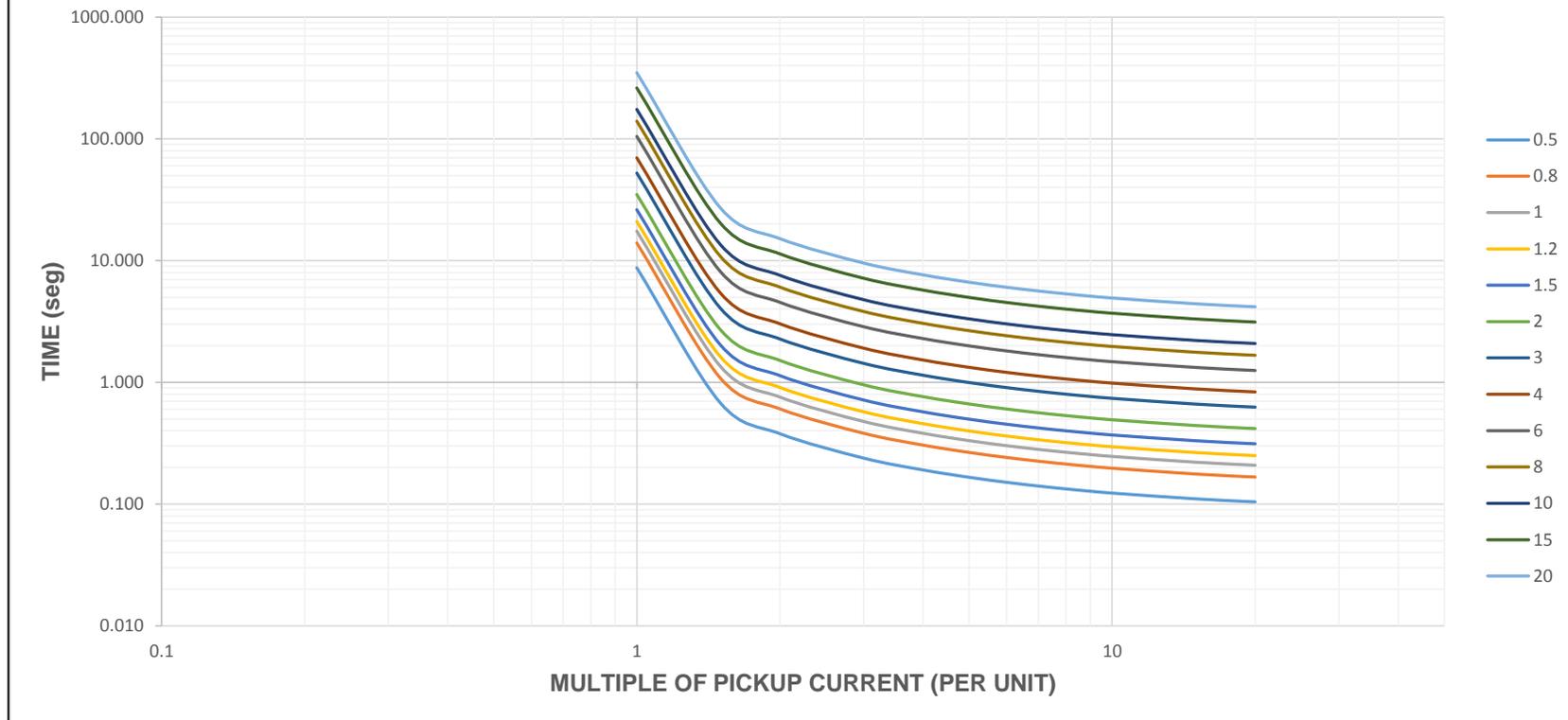
Fuente: IEEE Std 242 – 20001

| TABLA N° 11.2.- VALORES A SER GRAFICADOS PARA OBTENER EL NIVEL<br>MODERADAMENTE INVERSO |                   |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MULT.   | I/I <sub>pu</sub> |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| M   | 1                 | 1.5    | 2      | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 15    | 20    |
| <b>0.5</b>  | 8.728             | 0.675  | 0.379  | 0.239 | 0.191 | 0.166 | 0.151 | 0.141 | 0.133 | 0.128 | 0.123 | 0.110 | 0.104 |
| <b>0.8</b>  | 13.965            | 1.081  | 0.606  | 0.382 | 0.305 | 0.266 | 0.242 | 0.225 | 0.213 | 0.204 | 0.197 | 0.177 | 0.167 |
| <b>1</b>  | 17.457            | 1.351  | 0.757  | 0.478 | 0.382 | 0.332 | 0.302 | 0.281 | 0.267 | 0.255 | 0.247 | 0.221 | 0.209 |
| <b>1.2</b>  | 20.948            | 1.621  | 0.909  | 0.573 | 0.458 | 0.399 | 0.362 | 0.338 | 0.320 | 0.306 | 0.296 | 0.265 | 0.250 |
| <b>1.5</b>  | 26.185            | 2.026  | 1.136  | 0.716 | 0.573 | 0.499 | 0.453 | 0.422 | 0.400 | 0.383 | 0.370 | 0.331 | 0.313 |
| <b>2</b>  | 34.913            | 2.702  | 1.515  | 0.955 | 0.764 | 0.665 | 0.604 | 0.563 | 0.533 | 0.511 | 0.493 | 0.442 | 0.417 |
| <b>3</b>  | 52.370            | 4.053  | 2.272  | 1.433 | 1.145 | 0.997 | 0.906 | 0.844 | 0.800 | 0.766 | 0.740 | 0.663 | 0.626 |
| <b>4</b>  | 69.826            | 5.404  | 3.030  | 1.910 | 1.527 | 1.329 | 1.208 | 1.126 | 1.066 | 1.021 | 0.986 | 0.884 | 0.835 |
| <b>6</b>  | 104.739           | 8.106  | 4.544  | 2.866 | 2.291 | 1.994 | 1.812 | 1.689 | 1.600 | 1.532 | 1.479 | 1.326 | 1.252 |
| <b>8</b>  | 139.652           | 10.807 | 6.059  | 3.821 | 3.054 | 2.659 | 2.416 | 2.252 | 2.133 | 2.043 | 1.972 | 1.768 | 1.669 |
| <b>10</b>   | 174.565           | 13.509 | 7.574  | 4.776 | 3.818 | 3.324 | 3.020 | 2.815 | 2.666 | 2.554 | 2.465 | 2.210 | 2.087 |
| <b>15</b>   | 261.848           | 20.264 | 11.361 | 7.164 | 5.727 | 4.986 | 4.531 | 4.222 | 3.999 | 3.830 | 3.698 | 3.315 | 3.130 |
| <b>20</b>   | 349.130           | 27.019 | 15.148 | 9.552 | 7.636 | 6.647 | 6.041 | 5.630 | 5.332 | 5.107 | 4.931 | 4.419 | 4.173 |

Fuente: IEEE Std 242 – 20001



**GRÁFICA N° 11.1.- TIEMPO VS CORRIENTE MODERADAMENTE INVERSO**



Fuente: IEEE Std 242 – 2001



## NORMALMENTE INVERSO

| TABLA N° 11.3.- ANALISIS DE LAS CURVAS DE PROTECCIÓN<br>SEGÚN LAS NORMAS INTERNACIONALES ANSI<br>(AMERICANAS)   |              |               |            |              |               |
|---|--------------|---------------|------------|--------------|---------------|
| $T = M \times \left( A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)} + \frac{D}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)^3} \right)$ |              |               |            |              |               |
| CONSTANTES DE CURVA ANSI  | A            | B             | C          | D            | E             |
| MODERADAMENTE INVERSO   | 0.174        | 0.679         | 0.8        | -0.08        | 0.127         |
| <b>NORMALMENTE INVERSO</b>  | <b>0.027</b> | <b>2.2614</b> | <b>0.3</b> | <b>-4.19</b> | <b>9.1275</b> |
| MUY INVERSO   | 0.0615       | 0.7989        | 0.34       | -0.284       | 4.0505        |
| EXTREMADAMENTE INVERSO  | 0.0399       | 0.2294        | 0.5        | 3.0094       | 0.7222        |

| PARÁMETROS IMPORTANTES    |                 |
|---------------------------|-----------------|
| PARÁMETROS                |                 |
| TRIP TIME (seg)           | T               |
| CURVE MULTIPLIER SETPOINT | M               |
| INPUT CURRENT             | I               |
| PICKUP CURRENT SETPOINT   | I <sub>pu</sub> |

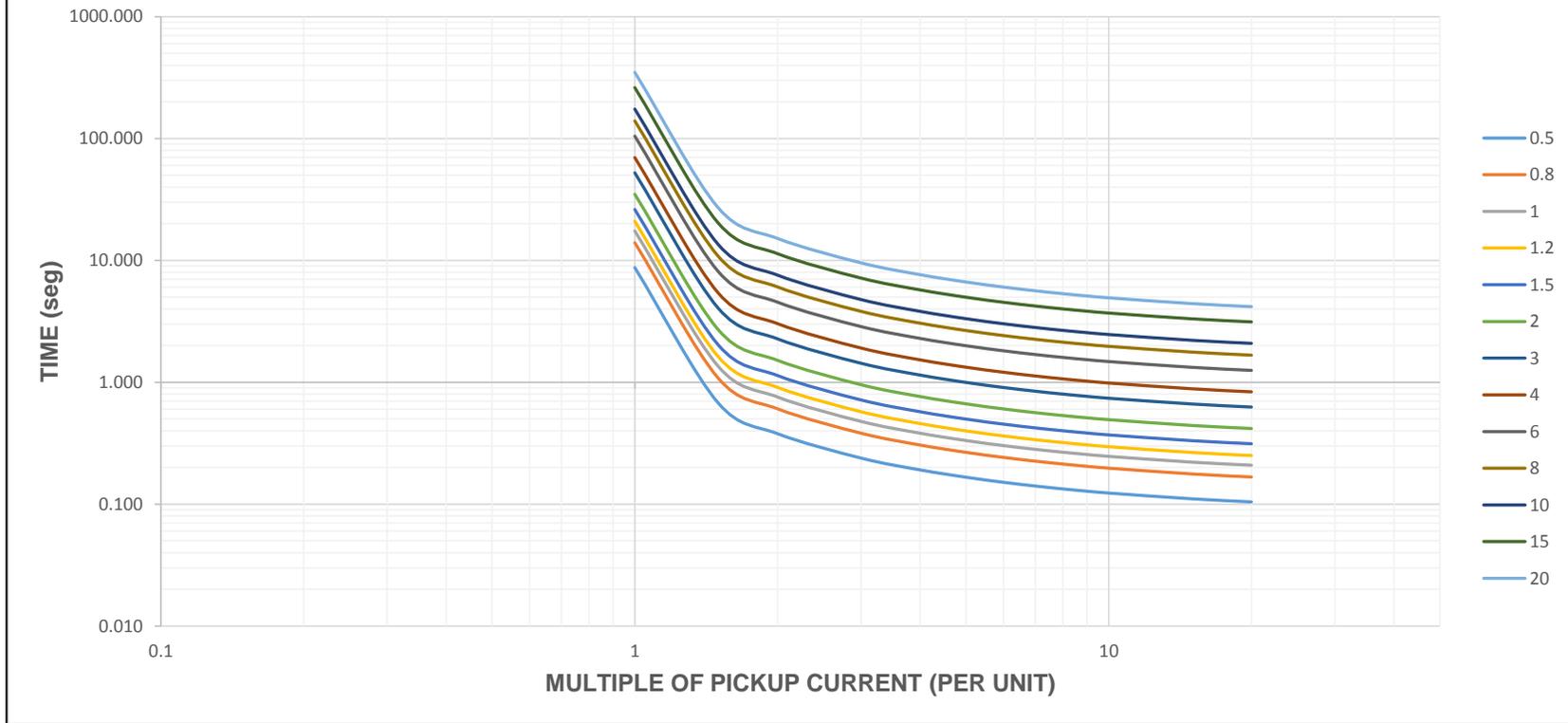
Fuente: IEEE Std 242 – 20001

| TABLA N° 11.4.- VALORES A SER GRAFICADOS PARA OBTENER EL NIVEL<br>NORMALMENTE INVERSO |                   |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MULT.   | I/I <sub>pu</sub> |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |
| M   | 1                 | 1.5    | 2      | 3      | 4      | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 15    | 20    |
| 0.5   | 10.659            | 2.142  | 0.883  | 0.377  | 0.256  | 0.203 | 0.172 | 0.151 | 0.135 | 0.123 | 0.113 | 0.082 | 0.066 |
| 0.8   | 17.054            | 3.427  | 1.413  | 0.603  | 0.410  | 0.325 | 0.276 | 0.242 | 0.216 | 0.197 | 0.181 | 0.132 | 0.106 |
| 1   | 21.318            | 4.284  | 1.766  | 0.754  | 0.513  | 0.407 | 0.344 | 0.302 | 0.270 | 0.246 | 0.226 | 0.165 | 0.133 |
| 1.2   | 25.581            | 5.141  | 2.119  | 0.905  | 0.615  | 0.488 | 0.413 | 0.362 | 0.324 | 0.295 | 0.271 | 0.198 | 0.159 |
| 1.5   | 31.977            | 6.426  | 2.648  | 1.131  | 0.769  | 0.610 | 0.517 | 0.453 | 0.406 | 0.369 | 0.339 | 0.247 | 0.199 |
| 2   | 42.635            | 8.569  | 3.531  | 1.508  | 1.025  | 0.814 | 0.689 | 0.604 | 0.541 | 0.492 | 0.452 | 0.329 | 0.265 |
| 3   | 63.953            | 12.853 | 5.297  | 2.262  | 1.538  | 1.220 | 1.033 | 0.906 | 0.811 | 0.738 | 0.678 | 0.494 | 0.398 |
| 4   | 85.271            | 17.137 | 7.063  | 3.016  | 2.051  | 1.627 | 1.378 | 1.208 | 1.082 | 0.983 | 0.904 | 0.659 | 0.530 |
| 6   | 127.906           | 25.706 | 10.594 | 4.524  | 3.076  | 2.441 | 2.067 | 1.812 | 1.622 | 1.475 | 1.356 | 0.988 | 0.796 |
| 8   | 170.542           | 34.274 | 14.125 | 6.031  | 4.102  | 3.254 | 2.756 | 2.415 | 2.163 | 1.967 | 1.808 | 1.318 | 1.061 |
| 10  | 213.177           | 42.843 | 17.656 | 7.539  | 5.127  | 4.068 | 3.445 | 3.019 | 2.704 | 2.458 | 2.260 | 1.647 | 1.326 |
| 15  | 319.766           | 64.264 | 26.485 | 11.309 | 7.691  | 6.102 | 5.167 | 4.529 | 4.056 | 3.688 | 3.390 | 2.471 | 1.989 |
| 20  | 426.355           | 85.686 | 35.313 | 15.078 | 10.254 | 8.136 | 6.889 | 6.039 | 5.408 | 4.917 | 4.520 | 3.294 | 2.652 |

Fuente: IEEE Std 242 – 20001



**GRÁFICA N° 11.2.- TIEMPO VS CORRIENTE NORMALMENTE INVERSO**



Fuente: IEEE Std 242 – 2001



## MUY INVERSO

| TABLA N° 11.5.- ANALISIS DE LAS CURVAS DE PROTECCIÓN<br>SEGÚN LAS NORMAS INTERNACIONALES ANSI<br>(AMERICANAS)   |               |               |             |               |               | PARÁMETROS IMPORTANTES                  |  |
|---|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---|--|
| $T = M \times \left( A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)} + \frac{D}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)^3} \right)$ |               |               |             |               |               |   |  |
| CONSTANTES DE CURVA ANSI  | A             | B             | C           | D             | E             |   |  |
| MODERADAMENTE INVERSO   | 0.174         | 0.679         | 0.8         | -0.08         | 0.127         | TRIP TIME (seg) T                       |  |
| NORMALMENTE INVERSO   | 0.027         | 2.2614        | 0.3         | -4.19         | 9.1275        | CURVE MULTIPLIER SETPOINT M             |  |
| <b>MUY INVERSO</b>  | <b>0.0615</b> | <b>0.7989</b> | <b>0.34</b> | <b>-0.284</b> | <b>4.0505</b> | INPUT CURRENT I                         |  |
| EXTREMADAMENTE INVERSO  | 0.0399        | 0.2294        | 0.5         | 3.0094        | 0.7222        | PICKUP CURRENT SETPOINT I <sub>pu</sub> |  |

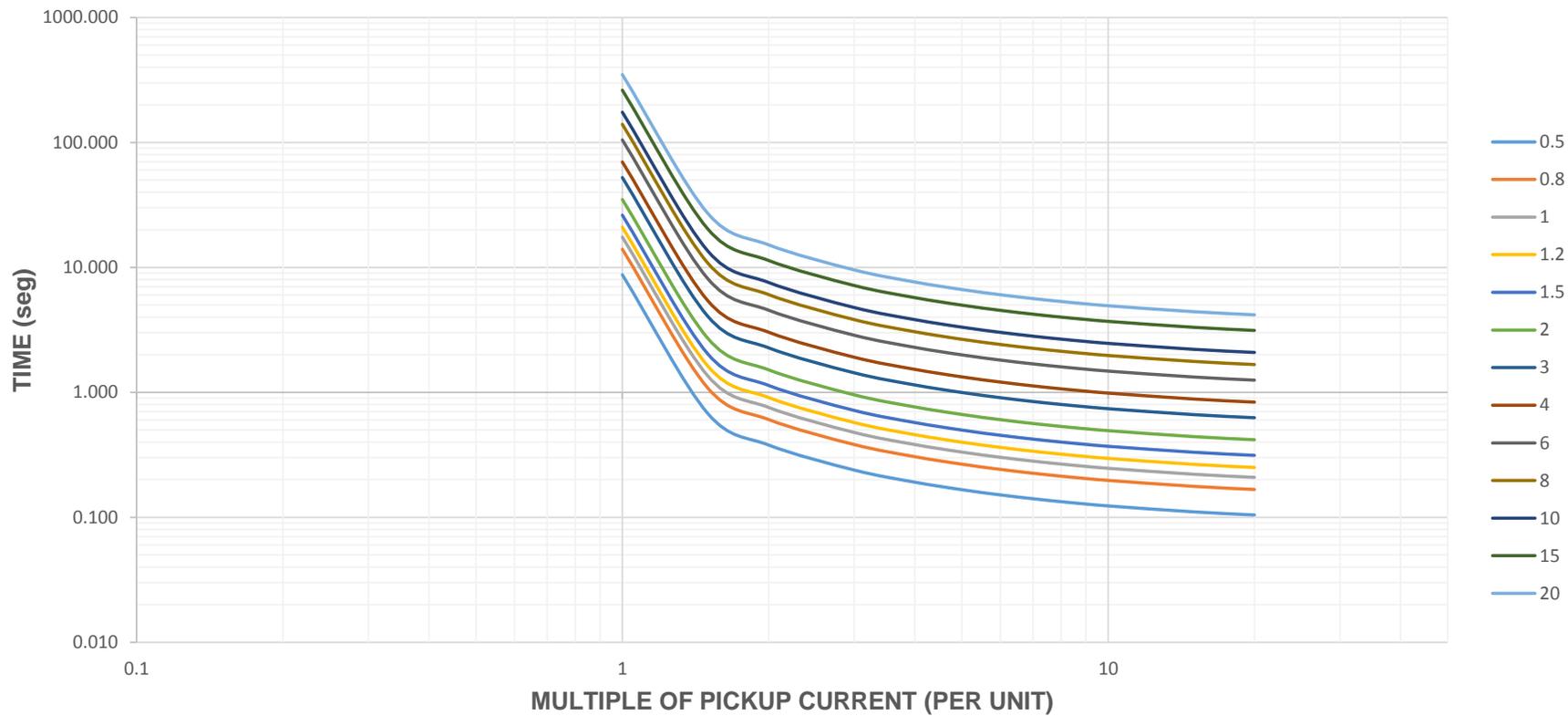
Fuente: IEEE Std 242 – 20001

| TABLA N° 11.6.- VALORES A SER GRAFICADOS PARA OBTENER EL NIVEL MUY INVERSO |                   |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MULT.  | I/I <sub>pu</sub> |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| M  | 1                 | 1.5    | 2      | 3      | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 15    | 20    |
| 0.5  | 7.354             | 1.567  | 0.663  | 0.268  | 0.171 | 0.130 | 0.108 | 0.094 | 0.085 | 0.078 | 0.073 | 0.058 | 0.051 |
| 0.8  | 11.767            | 2.507  | 1.060  | 0.430  | 0.273 | 0.208 | 0.173 | 0.151 | 0.136 | 0.125 | 0.117 | 0.093 | 0.082 |
| 1  | 14.709            | 3.134  | 1.325  | 0.537  | 0.341 | 0.260 | 0.216 | 0.189 | 0.170 | 0.156 | 0.146 | 0.116 | 0.102 |
| 1.2  | 17.651            | 3.761  | 1.590  | 0.644  | 0.409 | 0.312 | 0.259 | 0.227 | 0.204 | 0.187 | 0.175 | 0.139 | 0.122 |
| 1.5  | 22.063            | 4.701  | 1.988  | 0.805  | 0.512 | 0.390 | 0.324 | 0.283 | 0.255 | 0.234 | 0.218 | 0.174 | 0.153 |
| 2  | 29.418            | 6.268  | 2.650  | 1.074  | 0.682 | 0.520 | 0.432 | 0.378 | 0.340 | 0.312 | 0.291 | 0.232 | 0.204 |
| 3  | 44.127            | 9.402  | 3.976  | 1.611  | 1.024 | 0.780 | 0.648 | 0.566 | 0.510 | 0.469 | 0.437 | 0.348 | 0.306 |
| 4  | 58.835            | 12.537 | 5.301  | 2.148  | 1.365 | 1.040 | 0.864 | 0.755 | 0.680 | 0.625 | 0.583 | 0.464 | 0.408 |
| 6  | 88.253            | 18.805 | 7.951  | 3.221  | 2.047 | 1.559 | 1.297 | 1.133 | 1.020 | 0.937 | 0.874 | 0.696 | 0.612 |
| 8  | 117.671           | 25.073 | 10.602 | 4.295  | 2.730 | 2.079 | 1.729 | 1.510 | 1.360 | 1.250 | 1.165 | 0.928 | 0.815 |
| 10   | 147.089           | 31.341 | 13.252 | 5.369  | 3.412 | 2.599 | 2.161 | 1.888 | 1.700 | 1.562 | 1.457 | 1.160 | 1.019 |
| 15   | 220.633           | 47.012 | 19.878 | 8.054  | 5.118 | 3.898 | 3.242 | 2.831 | 2.550 | 2.343 | 2.185 | 1.739 | 1.529 |
| 20   | 294.177           | 62.683 | 26.504 | 10.738 | 6.824 | 5.198 | 4.322 | 3.775 | 3.399 | 3.124 | 2.913 | 2.319 | 2.039 |

Fuente: IEEE Std 242 – 20001



**GRÁFICA N° 11.3.- TIEMPO VS CORRIENTE MUY INVERSO**



Fuente: IEEE Std 242 – 2001



## EXTREMADAMENTE INVERSO

| TABLA N° 11.6.- ANALISIS DE LAS CURVAS DE PROTECCIÓN<br>SEGÚN LAS NORMAS INTERNACIONALES ANSI<br>(AMERICANAS)   |               |               |            |               |               | PARÁMETROS IMPORTANTES    |                 |
|---|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------------------|-----------------|
| $T = M \times \left( A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)} + \frac{D}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\frac{I}{I_{pu}} - C\right)^3} \right)$ |               |               |            |               |               |                           |                 |
| CONSTANTES DE CURVA ANSI  | A             | B             | C          | D             | E             | PARÁMETROS                |                 |
| MODERADAMENTE INVERSO   | 0.174         | 0.679         | 0.8        | -0.08         | 0.127         | TRIP TIME (seg)           | T               |
| NORMALMENTE INVERSO   | 0.027         | 2.2614        | 0.3        | -4.19         | 9.1275        | CURVE MULTIPLIER SETPOINT | M               |
| MUY INVERSO   | 0.0615        | 0.7989        | 0.34       | -0.284        | 4.0505        | INPUT CURRENT             | I               |
| <b>EXTREMADAMENTE INVERSO</b>   | <b>0.0399</b> | <b>0.2294</b> | <b>0.5</b> | <b>3.0094</b> | <b>0.7222</b> | PICKUP CURRENT SETPOINT   | I <sub>pu</sub> |

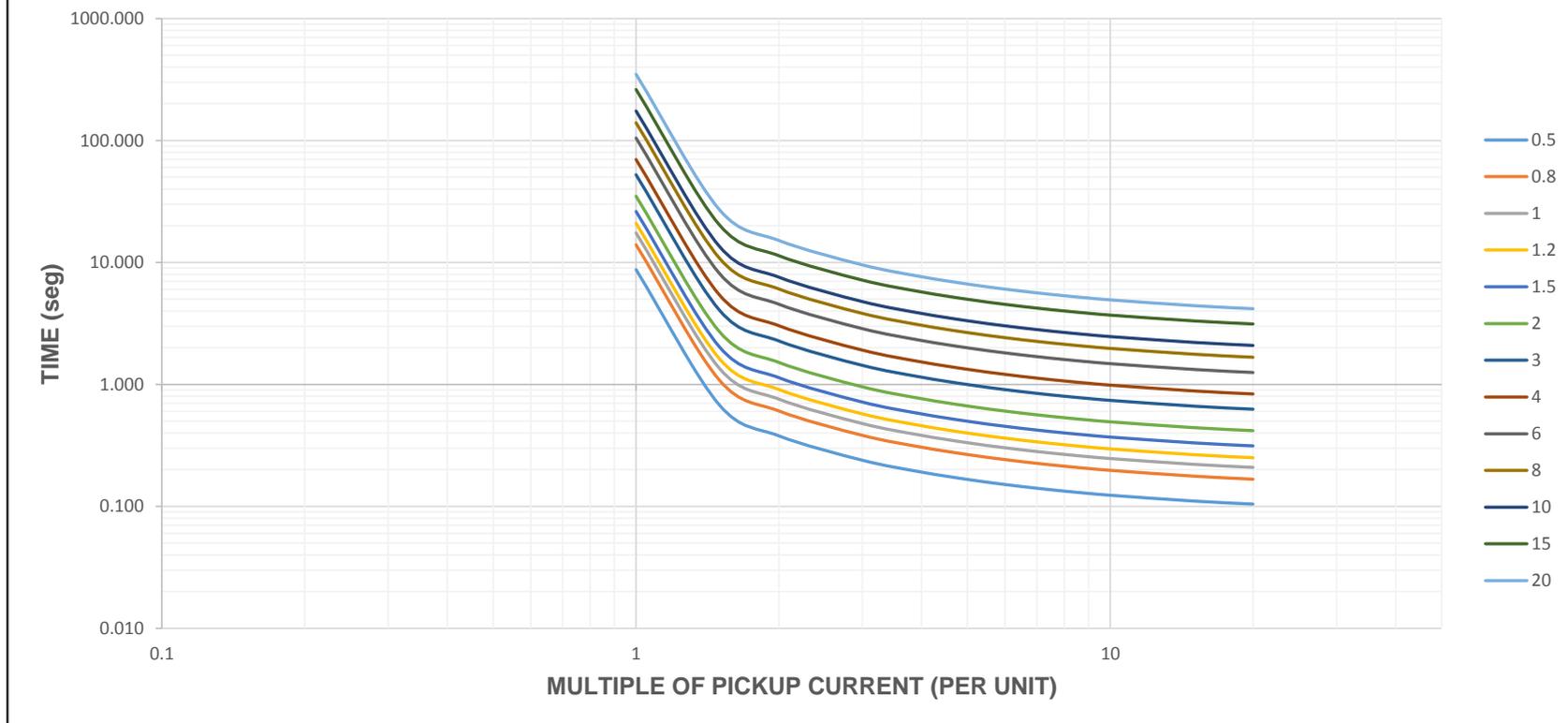
Fuente: IEEE Std 242 – 20001

| TABLA N° 11.7.- VALORES A SER GRAFICADOS PARA OBTENER EL NIVEL<br>EXTREMADAMENTE INVERSO |                   |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MULT.  | I/I <sub>pu</sub> |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| M  | 1                 | 1.5    | 2      | 3      | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 15    | 20    |
| 0.5  | 9.157             | 2.000  | 0.872  | 0.330  | 0.184 | 0.124 | 0.093 | 0.075 | 0.063 | 0.055 | 0.049 | 0.035 | 0.030 |
| 0.8  | 14.651            | 3.201  | 1.395  | 0.528  | 0.294 | 0.198 | 0.148 | 0.119 | 0.101 | 0.088 | 0.079 | 0.056 | 0.048 |
| 1  | 18.314            | 4.001  | 1.744  | 0.659  | 0.368 | 0.247 | 0.185 | 0.149 | 0.126 | 0.110 | 0.098 | 0.070 | 0.060 |
| 1.2  | 21.977            | 4.801  | 2.093  | 0.791  | 0.442 | 0.297 | 0.223 | 0.179 | 0.151 | 0.132 | 0.118 | 0.084 | 0.072 |
| 1.5  | 27.471            | 6.001  | 2.616  | 0.989  | 0.552 | 0.371 | 0.278 | 0.224 | 0.189 | 0.165 | 0.147 | 0.105 | 0.090 |
| 2  | 36.628            | 8.002  | 3.489  | 1.319  | 0.736 | 0.495 | 0.371 | 0.298 | 0.251 | 0.219 | 0.196 | 0.141 | 0.119 |
| 3  | 54.942            | 12.003 | 5.233  | 1.978  | 1.104 | 0.742 | 0.556 | 0.447 | 0.377 | 0.329 | 0.295 | 0.211 | 0.179 |
| 4  | 73.256            | 16.004 | 6.977  | 2.638  | 1.472 | 0.990 | 0.742 | 0.596 | 0.503 | 0.439 | 0.393 | 0.281 | 0.239 |
| 6  | 109.883           | 24.005 | 10.466 | 3.956  | 2.208 | 1.484 | 1.113 | 0.894 | 0.754 | 0.658 | 0.589 | 0.422 | 0.358 |
| 8  | 146.511           | 32.007 | 13.955 | 5.275  | 2.944 | 1.979 | 1.483 | 1.192 | 1.006 | 0.878 | 0.786 | 0.562 | 0.477 |
| 10   | 183.139           | 40.009 | 17.443 | 6.594  | 3.680 | 2.474 | 1.854 | 1.491 | 1.257 | 1.097 | 0.982 | 0.703 | 0.597 |
| 15   | 274.709           | 60.014 | 26.165 | 9.891  | 5.519 | 3.711 | 2.782 | 2.236 | 1.885 | 1.646 | 1.474 | 1.054 | 0.895 |
| 20   | 366.278           | 80.018 | 34.887 | 13.188 | 7.359 | 4.948 | 3.709 | 2.981 | 2.514 | 2.194 | 1.965 | 1.405 | 1.194 |

Fuente: IEEE Std 242 – 20001



### GRÁFICA N° 11.4.- TIEMPO VS CORRIENTE EXTREMADAMENTE INVERSO



Fuente: IEEE Std 242 – 2001

