



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS DE  
AUTOMATIZACIÓN**

**TEMA:**

---

---

DISEÑO DE UN EQUIPO AUTOMÁTICO PARA COMPROBAR LAS  
CURVAS DE COMPORTAMIENTO (CORRIENTE  $V_s$  TIEMPO)  
ESTABLECIDAS PARA LOS FUSIBLES DE MEDIA TENSIÓN EN LA  
EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO.

---

---

Proyecto de trabajo de graduación modalidad TEMI, Trabajo Estructurado de  
Manera Independiente, presentado como requisito previo a la obtención del Título  
de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización.

**AUTOR:** María de Lourdes Paredes Pallo

**TUTOR:** Ing. Luis Pomaquero

Ambato – Ecuador

Noviembre – 2011

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: DISEÑO DE UN EQUIPO AUTOMÁTICO PARA COMPROBAR LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO (CORRIENTE Vs TIEMPO) ESTABLECIDA PARA LOS FUSIBLES DE MEDIA TENSIÓN EN LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO, de la señorita PAREDES PALLO María de Lourdes, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 57 del Capítulo IV, del Reglamento de Graduación de Pregrado de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato noviembre 23, 2011

EL TUTOR

-----  
ING. LUIS POMAQUERO

## **AUTORÍA**

El presente trabajo de investigación titulado: DISEÑO DE UN EQUIPO AUTOMÁTICO PARA COMPROBAR LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO (CORRIENTE Vs TIEMPO) ESTABLECIDA PARA LOS FUSIBLES DE MEDIA TENSIÓN EN LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato noviembre 23, 2011

-----  
PAREDES PALLO María de Lourdes

CC: 1804279501

## **APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA**

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Edwin Morales e Ing. Christian Mariño, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UN EQUIPO AUTOMÁTICO PARA COMPROBAR LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO (CORRIENTE Vs TIEMPO) ESTABLECIDA PARA LOS FUSIBLES DE MEDIA TENSIÓN EN LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO**, presentado por el señorita PAREDES PALLO, María de Lourdes de acuerdo al Art. 57 del Reglamento de Graduación para obtener el título Terminal del tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. M.Sc. Osvaldo Paredes  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Edwin Morales  
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Christian Mariño  
DOCENTE CALIFICADOR

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia, por su apoyo incondicional durante todo mi camino estudiantil, y por enseñarme que la constancia y sacrificio tienen en algún momento recompensa.

Al personal del Departamento de Operaciones y Mantenimiento de la EEASA, quienes me permitieron realizar mi proyecto.

Al Ing. Luis Pomaquero por la Asesoría brindada y compartir los conocimientos para la realización exitosa de mi investigación.

María de Lourdes Paredes Pallo

## **DEDICATORIA**

Dedicado al Todo Poderoso y  
a mis padres que con su  
esfuerzo y trabajo diario me  
permitieron culminar mis  
estudios.

María de Lourdes Paredes Pallo

## ÍNDICE GENERAL

Portada .....	i	
APROBACIÓN DEL TUTOR .....	ii	
AUTORÍA .....	iii	
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA .....	iv	
AGRADECIMIENTO .....	v	
DEDICATORIA .....	vi	
ÍNDICE GENERAL .....	vii	
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii	
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xiv	
ÍNDICE DE FOTOS .....	xviii	
GLOSARIO .....	xix	
RESUMEN EJECUTIVO .....	xx	
INTRODUCCIÓN .....	xxii	
CAPÍTULO I		
EL PROBLEMA .....		1
Tema.....	1	
Planteamiento del problema.....	1	
Contextualización.....	1	
Árbol de problemas .....	3	
Análisis crítico del problema.....	4	
Prognosis .....	4	
Formulación del problema .....	5	
Preguntas directrices .....	5	
Delimitación del problema .....	5	
Justificación.....	6	
Objetivos .....	7	
Objetivo general.....	7	
Objetivos específicos .....	7	

CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO .....	8
Antecedentes investigativos .....	8
Fundamentación Tecnológica .....	8
Fundamentación legal .....	8
Gráficas de inclusión de categorías fundamentales .....	10
Constelación de ideas de la variable independiente .....	11
Categorías fundamentales .....	13
Sistema de Suministro Eléctrico .....	13
Suministro eléctrico .....	13
Subestación de transformación .....	15
Subestación eléctrica.....	15
Redes de Distribución de media tensión .....	16
Sistema de distribución .....	16
Clasificación de los Sistemas de Distribución .....	16
Características de operación.....	17
Líneas de Distribución .....	17
Centros de Transformación .....	19
Clasificación de los centros de transformación.....	19
El transformador de distribución.....	21
Elementos de la puesta a tierra.....	22
Sistemas de supervisión, control y seguridad .....	23
Sistema, Equipos y Elementos de Protección .....	24
Sistema de protección .....	24
Objetivos de un Sistema de Protección .....	24
Elementos que conforman el sistema de protección eficiente .....	25
Tipos de Protección.....	26
Fusibles .....	30
Partes del fusible .....	30
Función.....	31
Tipos de fusibles .....	32



Aspectos generales para la selección de fusibles de distribución. ....	33
Fusibles de Expulsión .....	35
Partes del fusible de expulsión.....	35
Operación .....	37
Valores nominales de los fusibles de expulsión.....	39
Fusibles lentos, fusibles rápidos y de alta descarga .....	40
Relación de velocidad .....	42
Ventajas.....	43
Factores de selección para elementos fusible y cortacircuitos.....	43
Curvas de Comportamiento de los fusibles de media tensión .....	45
Características de las Curvas.....	45
Tipos de curvas .....	45
Parámetros para la obtención de las curvas.....	47
Interpretación de las Referencias de equipos para probar fusibles existentes en el mercado .....	53
EEASA.....	59
Misión .....	59
Visión .....	59
Principios .....	59
Aspectos Generales .....	59
Aspectos Técnicos.....	60
Aspectos Comerciales .....	61
Hipótesis.....	62
Variables .....	62
Variable independiente.....	62
Variable dependiente.....	62
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>63</b>
Enfoque .....	63
Modalidad básica de la investigación .....	64

Investigación de campo.....	64
Investigación experimental .....	64
Investigación documental – bibliográfica .....	65
Proyecto factible.....	65
Nivel o tipo de investigación.....	65
Población y muestra .....	66
Población.....	66
Recolección de la información.....	69
Plan de recolección de la información .....	69
Procesamiento de la información .....	70
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	69
Análisis de los Resultados.....	70
Interpretación de datos de la Encuesta Realizada .....	70
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
Conclusiones .....	80
Recomendaciones.....	81
CAPÍTULO VI	
LA PROPUESTA.....	82
Datos informativos .....	82
Antecedentes de la propuesta .....	82
Justificación.....	83
Objetivos .....	84
Objetivo General .....	84
Objetivos Específicos.....	84

Análisis de factibilidad.....	84
Política .....	84
Tecnológica.....	85
Organizacional .....	85
Económico – financiera.....	85
Fundamentación científico – técnica.....	86
Metodología: Modelo Operativo.....	86
Diseño de un equipo automático para comprobar las curvas de comportamiento (corriente vs tiempo) en la empresa eléctrica ambato.....	86
Introducción .....	86
Desarrollo de la Propuesta .....	87
Caracterización del diseño .....	87
Selección de la estructura interna del equipo.....	87
Características fundamentales en los bobinados .....	90
Principales partes que conforman la estructura interna.....	93
Hipótesis planteadas para el diseño de la estructura interna del equipo .....	94
Conexiones.....	98
Sistema reductor de corriente.....	98
Descripción de los elementos utilizados: .....	99
Sistema de adquisición y presentación de datos .....	101
DAQ (Tarjeta de Adquisición de Datos).....	101
Software LABVIEW .....	104
Definición del prototipo (equipo de prueba de fusibles).....	105
Definición del Equipo .....	105
Descripción del equipo.....	105
Características técnicas .....	106
Materiales.....	106
Equipos utilizados .....	107
Principio de Funcionamiento .....	107
Pasos para la elaboración del equipo .....	110
Programa Principal (Prueba de Fusibles.vi).....	133
Programa Complemento (Reporte.vi) .....	136

Programa Variables Globales (Global 2.vi) .....	137
Realización de Pruebas .....	137
Administración .....	143
Previsión de la Evaluación .....	144
Conclusiones .....	145
Recomendaciones.....	146
Materiales de referencia .....	147
Bibliografía .....	147
Linkografía.....	148
Anexos .....	149
Manual de Uso Equipo Automático para comprobar las curvas de comportamiento (Corriente Vs Tiempo) de los fusibles de media tensión .....	149

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N. 1:</b> Normas IRAM .....	8
<b>Tabla N. 2:</b> Tensiones utilizadas en el país .....	13
<b>Tabla N. 3:</b> Capacidad continúa de corriente de fusibles de distribución tipos K, T, H, y N de estaño.....	34
<b>Tabla N. 4:</b> Valores nominales de fusibles limitadores (de potencia) .....	35
<b>Tabla N. 5:</b> Datos característicos de eslabones tipo K y T. ....	42
<b>Tabla N. 6:</b> Curva característica de un fusible de baja tensión .....	47
<b>Tabla N. 7:</b> Población .....	47
<b>Tabla N. 8:</b> Operacionalización de las Variable Independiente .....	67
<b>Tabla N. 9:</b> Operacionalización de las Variable Dependiente .....	68
<b>Tabla N. 10:</b> Técnicas de procesamiento de información.....	69
<b>Tabla N. 11:</b> Clase de precisión de los Transformadores de Corriente.....	100
<b>Tabla N. 12:</b> Especificaciones de la DAQ 6212 .....	104
<b>Tabla N. 13:</b> Características básica del equipo .....	106
<b>Tabla N. 14:</b> Tipos de regulación vs fusibles de prueba .....	108
<b>Tabla N. 15:</b> Descripción de las partes shut magnético .....	114
<b>Tabla N. 16:</b> Prueba N°01 .....	138
<b>Tabla N. 17:</b> Prueba N°02.....	139
<b>Tabla N. 18:</b> Prueba N°03 .....	140
<b>Tabla N. 19:</b> Prueba N°04.....	140
<b>Tabla N. 20:</b> Prueba N°05 .....	142
<b>Tabla N. 21:</b> Plan de Acción .....	143
<b>Tabla N. 22:</b> Monitoreo y evaluación .....	144

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico N. 1:</b> Relación Causa – Efecto .....	3
<b>Gráfico N. 2:</b> Categorías Fundamentales .....	10
<b>Gráfico N. 3:</b> Subcategorías de la VI .....	11
<b>Gráfico N. 4:</b> Subcategorías de la VD.....	12
<b>Gráfico N. 5:</b> Diagrama del sistema de suministro eléctrico .....	14
<b>Gráfico N. 6:</b> Torres de Alta Tensión .....	15
<b>Gráfico N. 7:</b> Subestación Eléctrica.....	15
<b>Gráfico N. 8:</b> Línea Aérea.....	18
<b>Gráfico N. 9:</b> Canalización enterrada.....	18
<b>Gráfico N. 10:</b> Esquema de un transformador .....	22
<b>Gráfico N. 11:</b> Fundamento del cortocircuito o fusible .....	30
<b>Gráfico N. 12:</b> Estructura interna del fusible .....	31
<b>Gráfico N. 13:</b> Eslabón fusible típico usado en cortacircuitos de distribución tipo intemperie.....	36
<b>Gráfico N. 14:</b> Interrupción de una corriente de falla de baja magnitud .....	38
<b>Gráfico N. 15:</b> Interrupción de una corriente de falla de alta magnitud y diferentes asimetrías.....	39
<b>Gráfico N. 16:</b> Curvas de fusión mínima de fusibles 15K y 15T .....	41
<b>Gráfico N. 17:</b> Características de corriente de paso libre para FLC (sistemas 3Φ - 15 kV y 1Φ - 8.3 kV) CHANCE K-MATE.....	49
<b>Gráfico N. 18:</b> Características de corriente de paso libre para FLC (sistemas 3Φ - 25 kV, 1Φ - 15.5 kV, 3Φ - 35 kV, 1Φ - 22 kV) CHANCE K-MATE.....	50
<b>Gráfico N. 19:</b> Curvas características I <sup>2</sup> t de despeje total para fusibles limitadores de corriente CHANCE K-MATE de 15.5 kV y 22 kV .....	51
<b>Gráfico N. 20:</b> Curvas características I <sup>2</sup> t de fusión mínima para fusibles limitadores de corriente CHANCE K-MATE de 8.3 kV .....	52
<b>Gráfico N. 21:</b> Fuente de corriente alterna programable .....	53
<b>Gráfico N. 22:</b> Fuente alterna variable.....	54

<b>Gráfico N. 23:</b> Modo de corriente o voltaje de salida.....	56
<b>Gráfico N. 24:</b> Curva de tensión entrada y tensión salida.....	56
<b>Gráfico N. 25:</b> Freja 300 .....	56
<b>Gráfico N. 26:</b> Fuente de poder de tension CA/CA .....	57
<b>Gráfico N. 27:</b> Estructura Interna del núcleo .....	88
<b>Gráfico N. 28:</b> Estructura interna completa núcleo.....	88
<b>Gráfico N. 29:</b> Estructuración del núcleo y bobinados .....	90
<b>Gráfico N. 30:</b> Bobinados .....	92
<b>Gráfico N. 31:</b> Shut magnético activado.....	93
<b>Gráfico N. 32:</b> Shut magnético desactivado.....	94
<b>Gráfico N. 33:</b> Núcleo y bobinas .....	94
<b>Gráfico N. 34:</b> Funcionamiento del shut magnético .....	95
<b>Gráfico N. 35:</b> Diagrama de bobinados primario y secundario .....	98
<b>Gráfico N. 36:</b> Conexión del núcleo y sistema de regulación de corriente.....	98
<b>Gráfico N. 37:</b> Circuito equivalente $0,123\Omega$ .....	101
<b>Gráfico N. 38:</b> Bobinas primaria y secundaria.....	113
<b>Gráfico N. 39:</b> Shut magnético variable.....	113
<b>Gráfico N. 40:</b> Partes del shut magnético variable .....	114
<b>Gráfico N. 41:</b> Estructura interna del núcleo y el shut.....	116
<b>Gráfico N. 42:</b> Diseño estructura metálica.....	119
<b>Gráfico N. 43:</b> Conexiones para el Multímetro Digital .....	122
<b>Gráfico N. 44:</b> Circuito generación y reducción de corriente .....	123
<b>Gráfico N. 45:</b> Validación de dispositivo.....	128
<b>Gráfico N. 46:</b> Conexión circuito acondicionador y DAQ 6212 .....	128
<b>Gráfico N. 47:</b> Validación de dispositivo.....	130
<b>Gráfico N. 48:</b> Validación de dispositivo.....	130
<b>Gráfico N. 49:</b> Validación de dispositivo.....	131
<b>Gráfico N. 50:</b> Validación de dispositivo.....	131
<b>Gráfico N. 51:</b> Validación de dispositivo .....	132
<b>Gráfico N. 52:</b> Panel Frontal .....	133
<b>Gráfico N. 53:</b> Diagrama de Bloques.....	133
<b>Gráfico N. 54:</b> Curva Generada .....	134

<b>Gráfico N. 55:</b> DAQ Assistant .....	134
<b>Gráfico N. 56:</b> Sumador y Divisor .....	134
<b>Gráfico N. 57:</b> Build Array .....	134
<b>Gráfico N. 58:</b> XY Graphs .....	135
<b>Gráfico N. 59:</b> Array .....	135
<b>Gráfico N. 60:</b> Ciclos repetitivos .....	135
<b>Gráfico N. 61:</b> Condiciones de comparación .....	135
<b>Gráfico N. 62:</b> Panel Frontal .....	136
<b>Gráfico N. 63:</b> Diagrama de Bloques .....	136
<b>Gráfico N. 64:</b> Variables globales .....	137
<b>Gráfico N. 65:</b> Global 2.vi .....	137
<b>Gráfico N. 66:</b> Corriente vs. Tiempo .....	138
<b>Gráfico N. 67:</b> Corriente vs. Tiempo .....	139
<b>Gráfico N. 68:</b> Corriente vs. Tiempo .....	140
<b>Gráfico N. 69:</b> Corriente vs. Tiempo .....	141
<b>Gráfico N. 70:</b> Corriente vs. Tiempo .....	142



## ÍNDICE DE FOTOS

<b>Foto N. 1:</b> Transformador de corriente clase 0.2.....	99
<b>Foto N. 2:</b> DAQ 6212 .....	102
<b>Foto N. 3:</b> DAQ 6212 y puerto USB .....	103
<b>Foto N. 4:</b> Driver NI-DAQ 9.17 .....	103
<b>Foto N. 5:</b> DAQ 6212 y acondicionamiento de señal.....	110
<b>Foto N. 6:</b> Lámina de hierro silicio .....	111
<b>Foto N. 7:</b> Altura núcleo.....	111
<b>Foto N. 8:</b> Núcleo cerrado en forma de I.....	111
<b>Foto N. 9:</b> Formación de la bobina de cobre .....	112
<b>Foto N. 10:</b> Alambre de cobre .....	112
<b>Foto N. 11:</b> Bobinas de alambre de cobre .....	112
<b>Foto N. 12:</b> Estructuración del núcleo y shut magnético.....	116
<b>Foto N. 13:</b> Resistencia Variable de 1000 $\Omega$ .....	117
<b>Foto N. 14:</b> Resistencia variable de 31 $\Omega$ .....	117
<b>Foto N. 15:</b> Posición máxima del shut magnético.....	117
<b>Foto N. 16:</b> Conexiones Internas del sistema de regulación .....	118
<b>Foto N. 17:</b> Conexión entre el selector y luz piloto.....	118
<b>Foto N. 18:</b> Equipamiento de en la caja metálica.....	120
<b>Foto N. 19:</b> Parte frontal del equipo .....	120
<b>Foto N. 20:</b> Verificación de los elementos del equipo .....	121
<b>Foto N. 21:</b> Sistema de reducción de corriente.....	123
<b>Foto N. 22:</b> Resistencias .....	124
<b>Foto N. 23:</b> Pistas .....	124
<b>Foto N. 24:</b> Circuito.....	125
<b>Foto N. 25:</b> Seccionador .....	125
<b>Foto N. 26:</b> Seccionador Desarmado.....	126
<b>Foto N. 27:</b> Colocación del fusible.....	126
<b>Foto N. 28:</b> Asegurar el portafusible .....	126

<b>Foto N. 29:</b> Seccionador con portabusible .....	127
<b>Foto N. 30:</b> Alimentación del seccionador .....	127
<b>Foto N. 31:</b> Conexión de salida del equipo .....	129
<b>Foto N. 32:</b> Conexión de la resistencia a la DAQ .....	129
<b>Foto N. 33:</b> Tipo Fusible: T .....	141

## GLOSARIO

- **kV.-** kilo voltios
- **V.-** voltaje
- **A.T.-** Alta tensión
- **(\*).**- Elaborado por el investigador
- **m.-** metros
- **SCADA.-** Control Supervisor y Adquisición de datos
- **Hz.-** hercios
- **SdP.-** Sistemas de protección
- **CC.-** corriente continua
- **bi.-** dos
- **tri.-** tres
- **tetra.-** cinco
- **I.-** Intensidad
- **In.-** Intensidad o corriente nominal
- **°C.-** grados centígrados
- **IRAM.-** Instituto Argentino de Normalización y Certificación
- **NEMA.-** National Electrical Manufacturers Association
- **cm.-** centímetros
- **°K.-** grados
- **Φ.-** fase
- **t.-** tiempo
- **CD.-** corriente directa

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente proyecto titulado: “DISEÑO DE UN EQUIPO AUTOMÁTICO PARA COMPROBAR LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO (CORRIENTE Vs TIEMPO) ESTABLECIDAS PARA LOS FUSIBLES DE MEDIA TENSIÓN EN LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO”, permite la obtención de datos reales de corriente y tiempo de fusión.

Mediante la investigación de equipos existentes en el mercado, y la realización de una entrevista al Director del Departamento de Operaciones y Mantenimiento de la EEASA, se logró la obtención de la información preliminar. Para el análisis e interpretación de cada pregunta efectuada, se utilizaron herramientas informáticas; las cuales, sirvieron de apoyo para la fundamentación tanto teórica como práctica del proyecto.

Con los datos obtenidos se logró establecer las posibles características, requerimientos, modos de operación, materiales y herramientas a utilizarse para el diseño y posterior construcción del equipo de prueba de fusibles de media tensión. Siendo el objetivo principal el equipamiento de todas las partes y materiales necesarios para poder efectuar las pruebas y comprobación de las curvas de comportamiento que identifican a cada fusible.

Finalmente la presente investigación, obedece a las normas establecidas tanto para los fusibles de media tensión como los sistemas y equipos de protección; como: las Normas IRAN, tratan las consideraciones y reglas que rigen a los sistemas y elementos de maniobra, y las NEMA, indican las capacidades, corrientes nominales a las que se encuentran expuestos los fusibles; dichas normas establecen las observaciones y cuidados, a tenerse en el proceso de manipulación y trabajo con los elementos de protección.

## INTRODUCCIÓN

El proyecto se encuentra estructurado de la siguiente manera:

Capítulo I: se detalla la problemática actual de la empresa y los objetivos planteados por el investigador.

Capítulo II: se detalla la fundamentación filosófica, tecnológica y legal; así como, el marco teórico de las variables dependiente e independiente del presente proyecto.

Capítulo III: se explica la metodología a utilizarse para la recopilación de información a fin de desarrollar el proyecto.

Capítulo IV: se realiza un análisis de los instrumentos de evaluación (entrevista e investigación de equipos existentes en el mercado), el mismo que establece las características y condiciones de funcionamiento para el equipo de prueba de fusibles.

Capítulo V: se detallan las Conclusiones y Recomendaciones de acuerdo a los objetivos planteados en el proyecto.

Capítulo VI: finalmente se describe la Propuesta planteada que permite realizar las pruebas, obtención de valores reales de corriente, tiempo de los fusibles de media tensión y posterior comparación con las Curvas de Comportamiento (Corriente Vs Tiempo) suministradas en los catálogos del fabricante.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **Tema**

DISEÑO DE UN EQUIPO AUTOMÁTICO PARA COMPROBAR LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO (CORRIENTE VS TIEMPO) ESTABLECIDAS PARA LOS FUSIBLES DE MEDIA TENSIÓN EN LA EMPRESA ELECTRICA AMBATO.

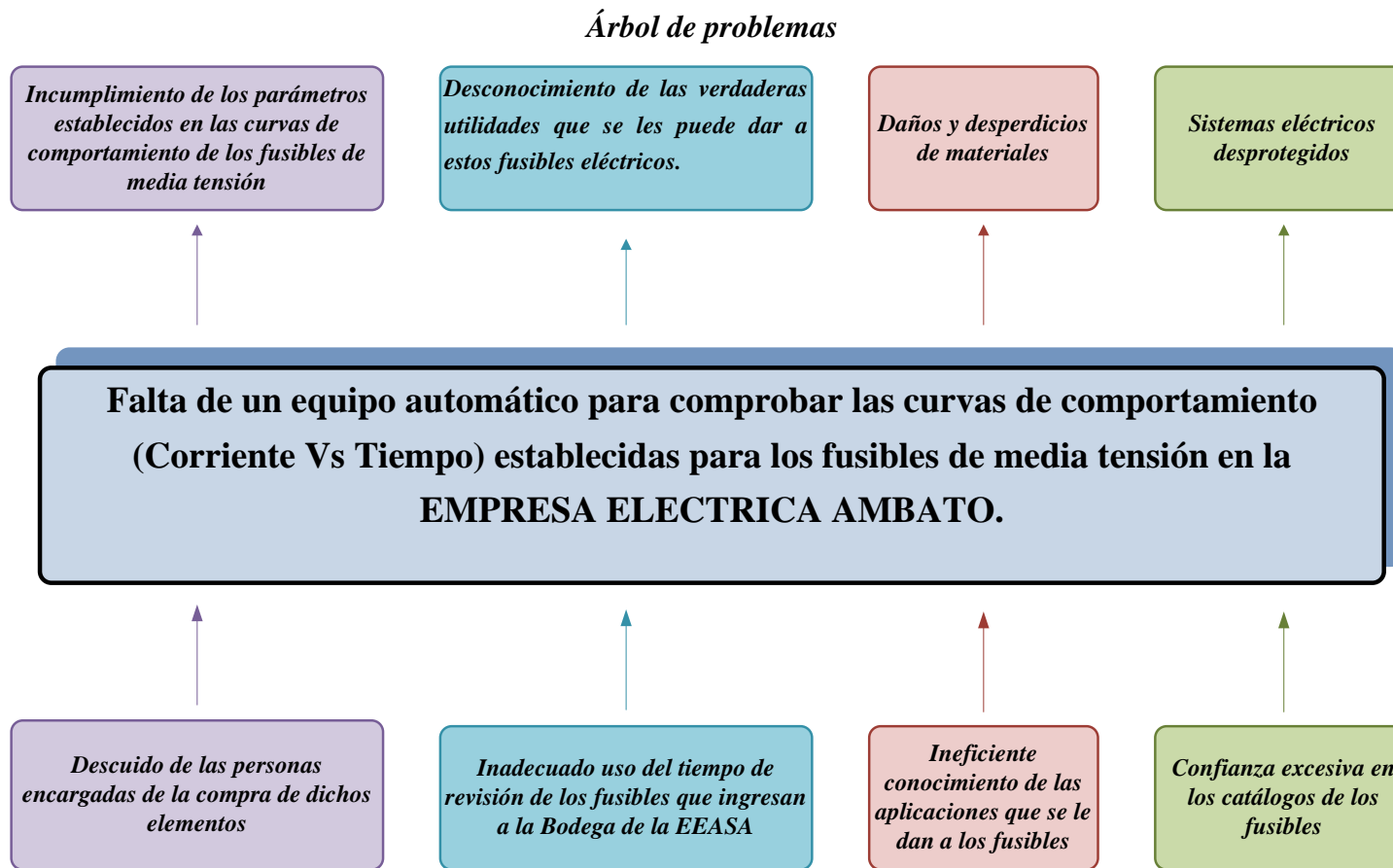
### **Planteamiento del problema**

#### *Contextualización*

A nivel nacional, las empresas eléctricas han adoptado por hacer adquisiciones de fusibles de media tensión sin la respectiva verificación de características, operación y curvas de comportamiento de cada elemento de protección. No solo se ha perdido equipos y transformadores, también se ha desperdiciado dinero al creer que estos fusibles, pueden cumplir con su misión de limitar el paso de corriente a un determinado sistema eléctrico.

En la provincia de Tungurahua sucede exactamente lo mismo, se realiza compras a ciegas sin el debido análisis de las capacidades de interrupción, protección y funcionamiento. Siendo el trabajo infructuoso, debido al desconocimiento del comportamiento y aplicación de los fusibles; por ello, se tendrá inconvenientes en la operación de los sistemas eléctricos, traducándose dichos problemas en pérdidas de dinero y tiempo.

Donde se ve reflejada la verdadera preocupación sobre este problema, es en la Empresa Eléctrica Ambato, acostumbrada a adquirir fusibles de media tensión sin las respectivas pruebas de los parámetros de funcionamiento, y comprobación de las curvas de comportamiento (corriente vs tiempo) establecidas por cada fabricante.



**Gráfico N. 1:** Relación Causa – Efecto (\*)



### *Análisis crítico del problema*

Una de las causas del incumplimiento de los parámetros establecidos en las curvas de comportamiento de los fusibles de media tensión, es el descuido de las personas encargadas de la compra de dichos elementos, debido a que no realizan las pruebas de capacidades, características y operación de los fusibles. Se han limitado a creer ciegamente en los catálogos, donde se dan las especificaciones técnicas sin ser comprobados por medios reales y verificables.

Cuando se realiza el ingreso de los fusibles de media tensión a las bodegas de la Empresa Eléctrica Ambato, no se está haciendo un uso correcto del tiempo de revisión, se lo está dejando a un lado o se hace de una manera rápida que no permite conocer y verificar las verdaderas utilidades que se les puede dar a estos elementos eléctricos.

Se puede señalar al personal técnico encargado del trabajo de comprobación de los fusibles de media tensión, poseen un ineficiente conocimiento de las aplicaciones que se le dan a estos elementos; por ello, los daños y desperdicios de materiales debido a la poca o nula información real de operación y funcionamiento.

### *Prognosis*

De continuar con el incumplimiento de los parámetros establecidos en las curvas de comportamiento de los fusibles de media tensión, se tendrá pérdidas de dinero y tiempo, dichos elementos de protección no estarían reflejando los verdaderos valores de corriente y tiempo.

De seguir utilizando a ciegas; es decir, sin la respectiva verificación de las características de los fusibles provocará un inadecuado funcionamiento de los sistemas eléctricos; y por ende, la EEASA no estaría brindando un correcto servicio a los usuarios.

De continuar con la utilización para la implementación de los sistemas de protección, la información encontrada en los catálogos de fabricantes de fusibles, se incitará averías de equipos y transformadores en los que emplee equivocadamente dichos elementos eléctricos.

### **Formulación del problema**

¿Cuáles serían las características a considerarse en el equipo automático para comprobar las curvas de comportamiento de los fusibles de media tensión, permitiéndolo tener sistemas eléctricos correctamente protegidos?

### ***Preguntas directrices***

- ¿Cuáles son los principales daños ocasionados por la mala utilización de los fusibles?
- ¿Qué tipo de equipo permitirá conocer las características reales de los fusibles?
- ¿Cuáles son los tipos de fusibles utilizados en los sistemas de protección?
- ¿Qué factores se toman en cuenta en las curvas de comportamiento de los fusibles de media tensión?

### ***Delimitación del problema***

- **Campo:** Ingeniería Industrial
- **Área:** Electrónica y Automatización
- **Aspecto:** Redes de Distribución 13.8KVA

## **Justificación**

Uno de los principales efectos que ha producido este problema, es el desperdicio de tiempo y dinero, debido a la utilización incorrecta de los fusibles e incumplimiento de las características indicadas en los catálogos, lo cual; implica repetitivos cambios de los elementos de protección utilizados en los sistemas eléctricos. Por ello la importancia de comprobar los parámetros establecidos en las curvas de comportamiento de los fusibles de media tensión.

Gracias a este proyecto de investigación, se podrá evitar el sobre paso de corriente establecida en ciertos equipos y transformadores, logrando el funcionamiento de cada uno de estos. Y en especial mejorar los índices de calidad mediante una adecuada utilización de los fusibles.

Entre los beneficios brindados a la E.E.A.S.A con la elaboración del equipo automático, están el funcionamiento correcto y adecuado de los sistemas protección, ya que se reducirá el daño, recalentamiento, incendios y la destrucción de componentes eléctricos que provocan la interrupción del servicio eléctrico. Dando como resultado retrasos y pérdidas en las diferentes actividades que se estén realizando.

Con el diseño de un equipo automático para comprobar las curvas de comportamiento de los fusibles de media tensión, se podrá conocer las capacidades, características, modos de operación, tiempos de operación y rendimiento reales de estos elementos de protección. Para lograr que se utilicen de manera eficiente y correcta, indicando con precisión en que transformadores o equipos se pueden utilizar. Además de controlar la entrega de material de calidad según las especificaciones técnicas requeridas.

Se logrará también ahorrar tiempo y dinero, no se tendrá un desperdicio de componentes ya que estarán debidamente protegidos, porque se conocerá la

información real de cada fusible de media tensión a utilizar, obteniendo una elevada limitación de la corriente de falla, alta capacidad de interrupción, sobretensión de arco controlada, operación muy rápida, evitar salidas innecesarias y poder sobrecargar el transformador a su máxima capacidad.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Diseñar un equipo automático para comprobar las curvas de comportamiento (Corriente Vs Tiempo) de los fusibles de media tensión.

### ***Objetivos específicos***

- Analizar las características, funcionamiento, clasificación, clases, curvas y tablas de capacidades de fusibles de media tensión.
  
- Determinar las especificaciones, características, lista de materiales y conexiones del equipo automático.
  
- Elaborar y construir los planos del equipo automático para comprobar las curvas de funcionamiento de los fusibles de media tensión.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **Antecedentes investigativos**

Luego de la búsqueda de referencias para el trabajo de investigación, se establece que no se cuenta con trabajos, temas o subtemas que ayuden y sirvan de fundamentación teórica para el desarrollo del presente capítulo. Se buscó en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, sin encontrar información referente a este tema. Pero se ha tomado como referencia algunos equipos de prueba de fusibles encontrados en páginas de internet y catálogos proporcionados por la EEASA.

#### **Fundamentación Tecnológica**

Con el fin de lograr un mayor control, manejo y adquisición de valores de las variables que interviene en el proceso, el mercado pone a disposición equipos como: transformadores de corriente, amperímetros, DAQ y software para la interfaz hombre – máquina, con los que se logrará definir los métodos y procedimientos para la presentación y manipulación de datos.

#### **Fundamentación legal**

#### **Normas IRAM a las que responden los Elementos de Maniobra y Protección**

**Tabla N. 1:** Normas IRAM

<b>Interruptores de Efecto:</b>	<b>2007</b>
<b>Interruptores Bi -Tri o Tetrapolares:</b>	2122
<b>Fusibles:</b>	2121-2245

<b>Interruptores con Fusibles:</b>	2122
<b>Interruptor automático:</b>	2169
<b>Interruptor por Corriente Diferencial:</b>	2301
<b>Tomacorriente con Tierra:</b>	2071

**Fuente:** IRAN

Para el proceso de descargo para trabajos sin tensión se deben tener en cuenta ciertos reglamentos y normas, las cuales se citan a continuación:

- Real Decreto 614/2001 Protección de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Guía Técnica: del RD 614/2001
- Norma GE NNM003 Normas de Operación Descargos en AT y MT
- Procedimiento para realizar las revisiones de seguridad (NMS00100)
- Norma UNE EN 50110 (*Explotación de instalaciones eléctricas*)
- También se puede requerir de las siguientes normas: las normas internacionales CEI (Comisión Electrotécnica Internacional), la norma americana ANSI
- DIN 43625, IEC 282

## Gráficas de inclusión de categorías fundamentales

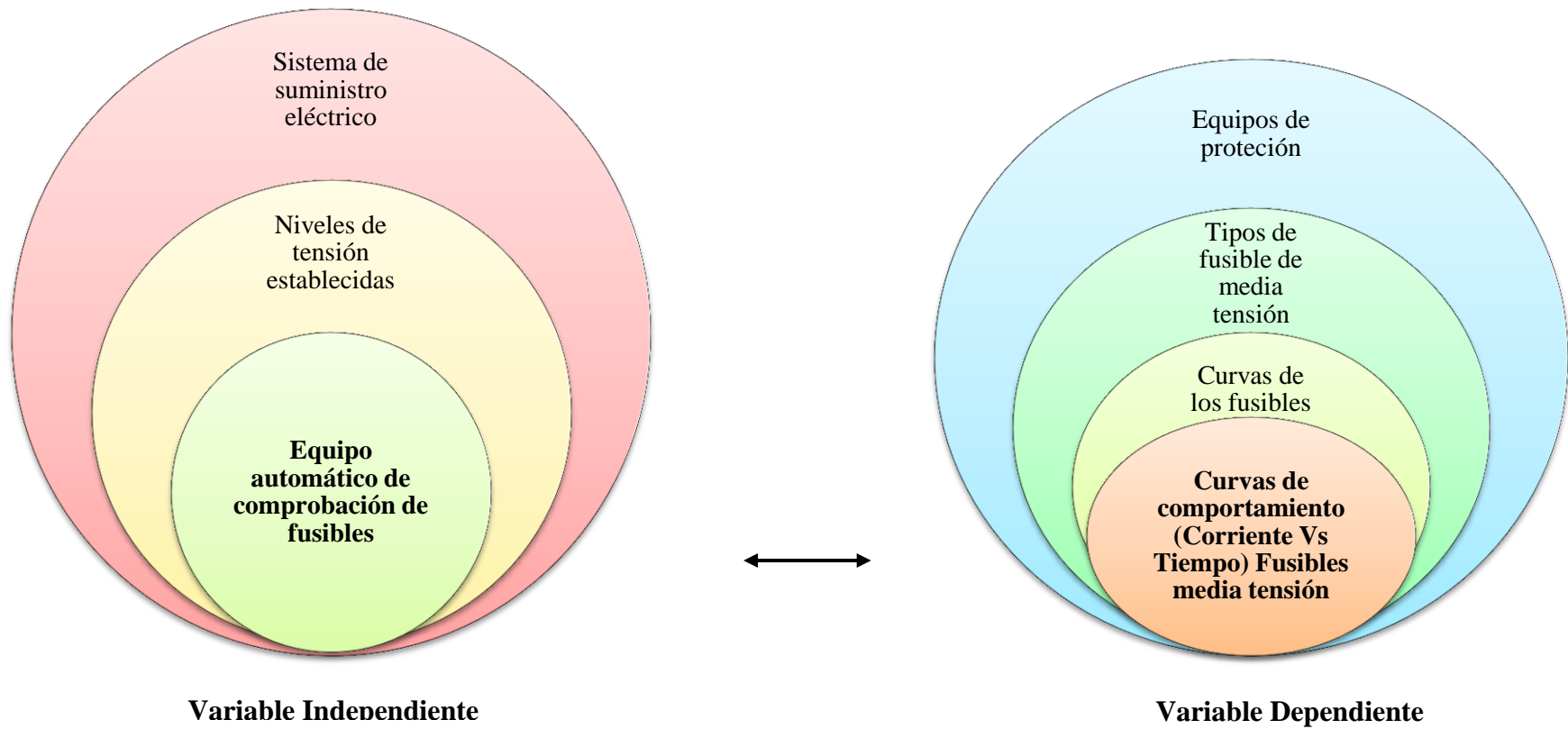


Gráfico N. 2: Categorías Fundamentales (\*)

### Constelación de ideas de la variable independiente

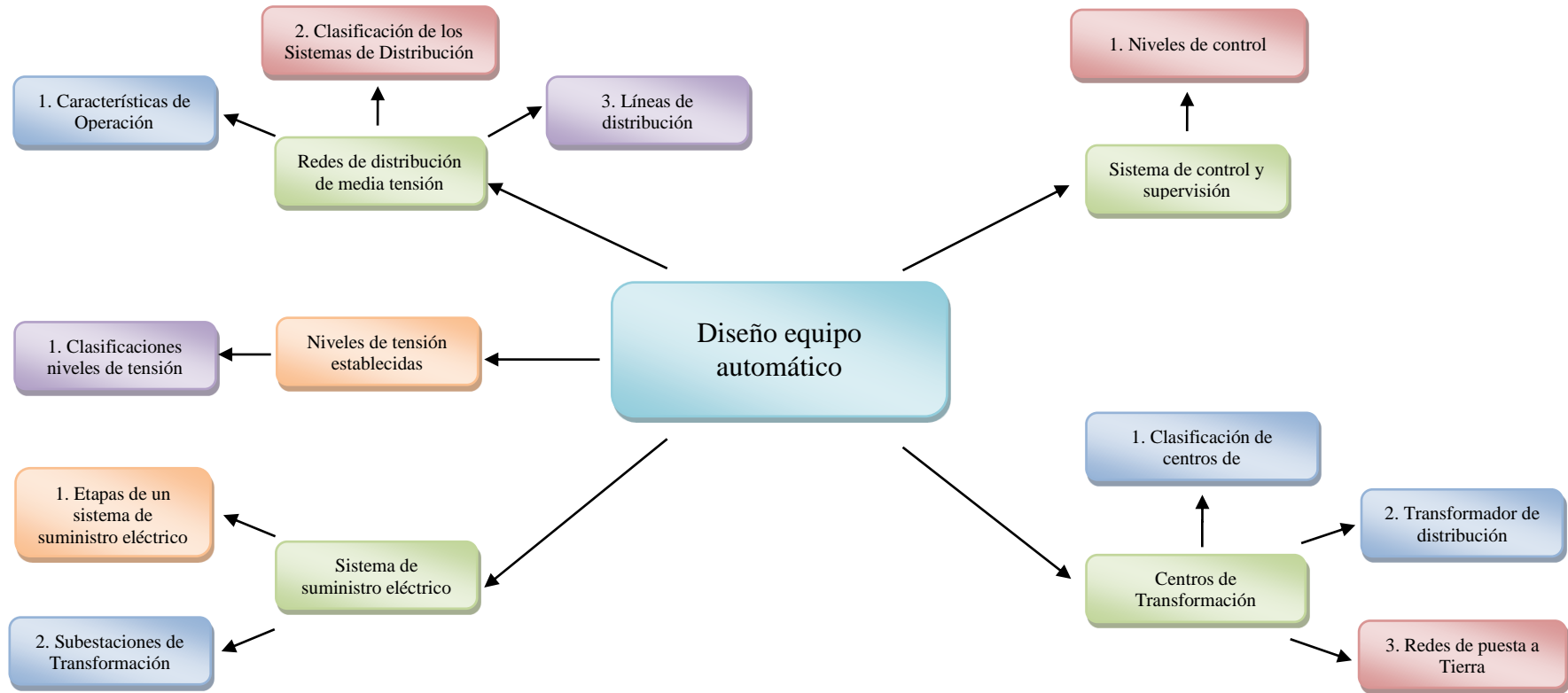
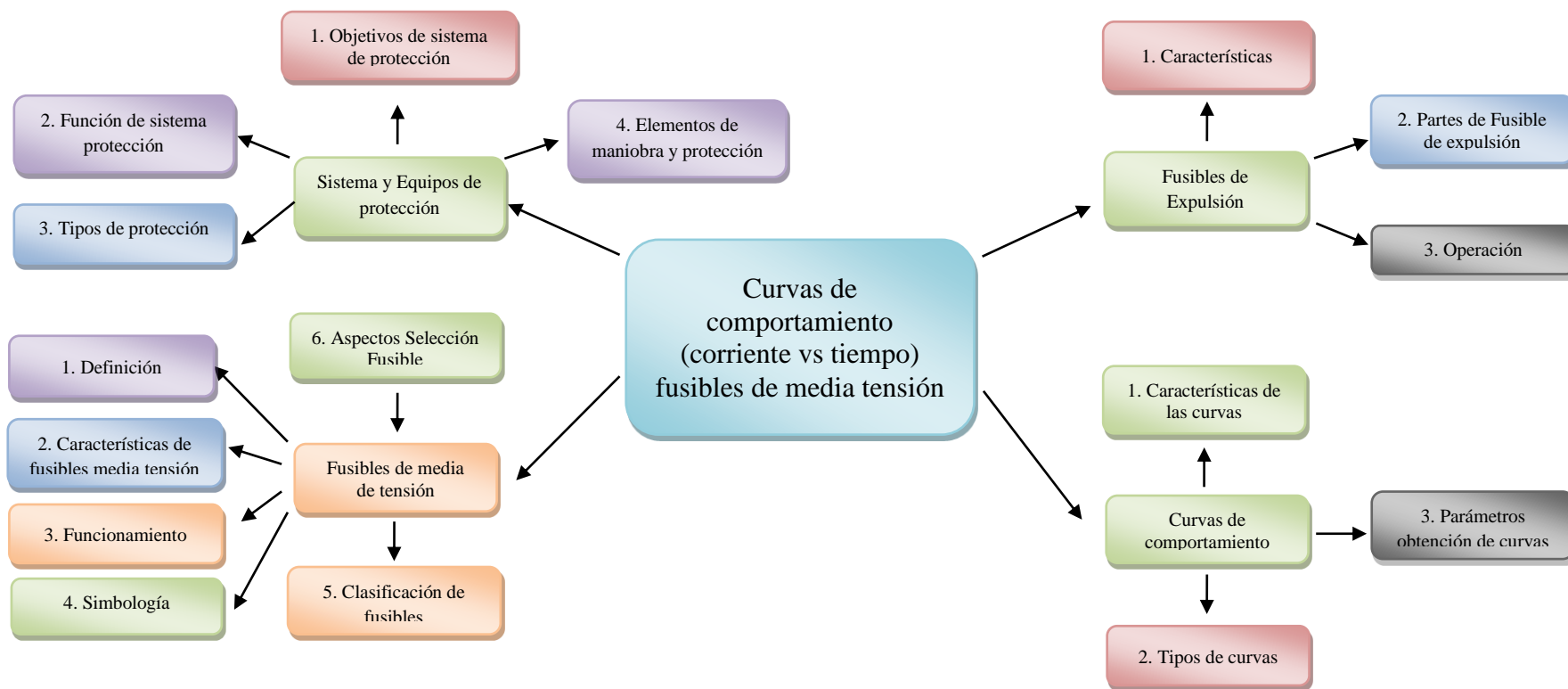


Gráfico N. 3: Subcategorías de la VI (\*)



### Constelación de ideas de la variable dependiente



**Gráfico N. 4:** Subcategorías de la VD (\*)

## Categorías fundamentales

### Sistema de Suministro Eléctrico

#### Suministro eléctrico

##### *Definición*

De acuerdo a OPSIS, (2010), *“El sistema de suministro eléctrico siempre comprende el conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección”*

(p.01)

Los sistemas eléctricos pueden clasificarse por su nivel de tensión y normalmente se utiliza la siguiente división:

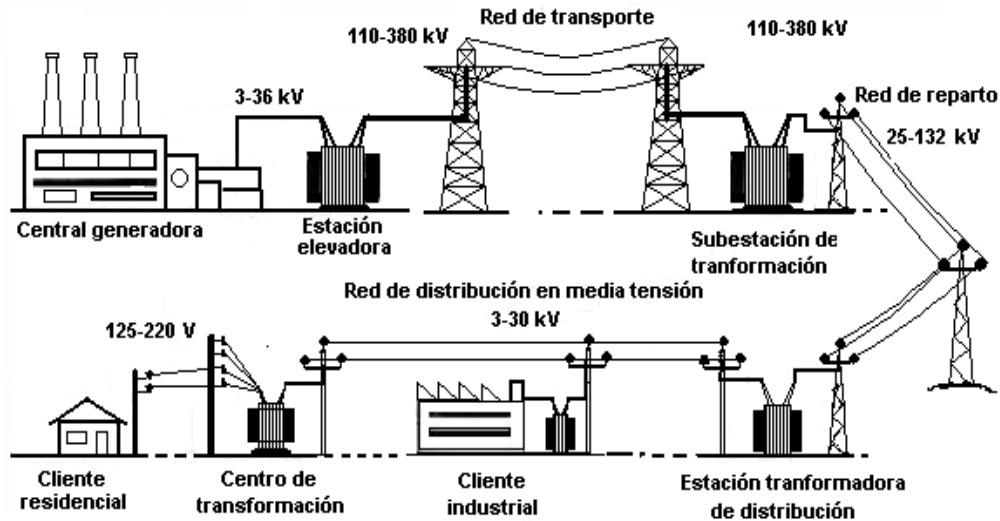
- Baja tensión (BT), sistemas de hasta 1.000 V.
- Media tensión (MT), sistemas hasta 72 kV, en la normativa vigente las tensiones mayores de 24 kV a 72kV es denominado Subtransmisión (ST) superior.
- Alta tensión (AT), sistemas hasta 245 kV.
- Muy alta tensión (EAT), por encima de los 300 kV.

**Tabla N. 2:** Tensiones utilizadas en el país

	kV
BT	0,23 - 0,4
MT	6 - 15 - 20
ST	30 - 60
AT	110 -150
EAT	500

**Fuente:** <http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/submt/material/ssee01a.pdf>

En diagrama esquematizado las distintas partes componentes del sistema de suministro eléctrico:



**Gráfico N. 5:** Diagrama del sistema de suministro eléctrico (\*)

A continuación se detalla cada una de las partes que conforman un sistema de suministro eléctrico:

**Producción:** Actividad de generación de energía eléctrica en base a Centrales con Maquinas Sincrónicas. (Térmicas, Hidráulicas, Eólica, Solar).

**Estación Elevadora:** Emplazada “al lado” de la Central con el objetivo de elevar la tensión para realizar el Transporte de la energía teniendo en cuenta distancia y/o potencia.

#### ***Red de transporte de energía eléctrica***

La red de transporte de energía eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico constituida por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas.



**Gráfico N. 6:** Torres de Alta Tensión (\*)

### ***Subestación de transformación***

Son las instalaciones donde se transforma la tensión de la energía eléctrica (por ejemplo, de 115.000 voltios a 13.800 voltios) para su distribución a todos los usuarios.



**Gráfico N. 7:** Subestación Eléctrica (\*)

### ***Subestación eléctrica***

Es usada para la transformación de la tensión de red o del generador a una tensión adecuada a las necesidades. En el caso de las centrales productoras lo que se hace normalmente es elevar la tensión que está dando el generador hasta la tensión de la red de distribución a la que se esté conectado, puede luego haber otras subestaciones encargadas de elevar a un más la tensión para las líneas de distribución de larga distancia o disminuirla para el consumo. Lo que se consigue al elevar las tensiones es disminuir la intensidad que circula por las líneas obteniendo con ello una de reducción de pérdidas y que la sección de los conductores sea menor con el consiguiente ahorro económico.

## **Redes de Distribución de media tensión**

### **Sistema de distribución**

#### ***Definición***

De acuerdo con Ing. Juan Alercio Alamos Hernández, *“Un sistema de distribución de energía eléctrica es un conjunto de equipos que permiten energizar en forma segura y confiable un número determinado de cargas, en distintos niveles de tensión, ubicados generalmente en diferentes lugares”*

(p.01)

La función de un sistema de distribución es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales (medidor del cliente). Los elementos que conforman la red o sistema de distribución son los siguientes: Subestación de Distribución de casitas: conjunto de elementos (transformadores, interruptores, seccionadores, etc.) cuya función es reducir los niveles de alta tensión de las líneas de transmisión (o subtransmisión) hasta niveles de media tensión para su ramificación en múltiples salidas.

- Circuito Primario
- Circuito Secundario

#### ***Clasificación de los Sistemas de Distribución***

Dependiendo de las características de las cargas, los volúmenes de energía involucrados, y las condiciones de confiabilidad y seguridad con que deban operar, los sistemas de distribución se clasifican en:

- a) Industriales.- Comprende a los grandes consumidores de energía eléctrica, tales como las industrias del acero, químicas, petróleo, papel, etc.; que generalmente reciben el suministro eléctrico en alta tensión.
- b) Comerciales.- Es un término colectivo para sistemas de energía existentes dentro de grandes complejos comerciales y municipales, tales como

edificios de gran altura, bancos, supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, puertos, etc.

- c) Urbana.- Alimenta la distribución de energía eléctrica a poblaciones y centros urbanos de gran consumo, pero con una densidad de cargas pequeña. Son sistemas en los cuales es muy importante la adecuada selección en los equipos y el dimensionamiento.
- d) Rural.- Estos sistemas de distribución se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de cargas, por lo cual requiere de soluciones especiales en cuanto a equipos y a tipos de red.

### ***Características de operación***

Para comprobar las características de operación, confiabilidad y seguridad de un sistema de distribución industrial, es necesario efectuar una serie de estudios analíticos; los cuales entregan índices de funcionamiento, cuya exactitud dependerá del modelo empleado en la representación del sistema. Los estudios típicos que se efectúan en un SDI son los siguientes:

- Flujos de potencia.
- Cálculo de corrientes de cortocircuito.
- Regulación de tensión y compensación de reactivos.
- Partida de motores

### **Líneas de Distribución**

Para la distribución de la energía eléctrica se suelen usar dos tipos de líneas eléctricas, según se requiera por condiciones económicas, de seguridad o estéticas:

***Líneas Aéreas***, son las típicas líneas en las que los cables van colgados de postes ya sean de madera o de metal, se suelen usar para reducir costes, ya que nos ahorramos el coste del aislante al ir los cables desnudos, siendo el aislante el propio aire que separa las fases, y los costes que supondría tener que hacer las canalizaciones en el suelo, otra ventaja es que es más fácil ver donde se ha roto la línea. Los problemas que pueden presentar son el peligro de choque contra ellas

por parte de aeronaves y aves, por lo que estas líneas deben tener boyas para que se vean. Se suelen usar en las redes de distribución de larga distancia y en zonas no habitadas.



**Gráfico N. 8:** Línea Aérea (\*)

*Líneas Enterradas*, en este caso los cables están recubiertos por sus correspondientes aislantes, y van a través de canalizaciones que pueden ser tubos de plástico o metálicos, canales de cemento, zanjas excavadas en la tierra, colgados de paredes en túneles. Las desventajas son que se disipa peor el calor por lo que hay que utilizar secciones mayores de cable, puede ser difícil encontrar un avería, hay que hacer una obra civil mayor por lo que aumentan los costes y pueden ser seccionados al realizar obras con excavadoras sino se sabe bien su localización o no han sido marcados adecuadamente. Se suelen usar en zonas habitadas para evitar riesgos y por cuestiones estéticas.



**Gráfico N. 9:** Canalización enterrada (\*)

*Alta tensión.*- Se considera alta tensión a todo aquel valor superior a los 1500 voltios en corriente alterna. La alta tensión se utiliza en las redes de transporte

eléctrico a grandes distancias para reducir las pérdidas y la sección de los conductores, ya que al aumentar la tensión de nuestra red reducimos la intensidad para transportar la misma potencia.

**Media tensión.-** La media tensión es la que está considerada entre los 3 kV y los 40 kV, que suele ser el rango en el que produce el generador, en este rango de tensiones también suelen estar las redes de distribución a los núcleos urbanos e industrias.

**Baja tensión.-** La baja tensión es la utilizada para el consumo de los hogares y maquinaria pequeña, está comprendida entre los 220-400 V.

### **Centros de Transformación**

#### ***Definición***

Según PARRA, A. (2007): “*Los centros de transformación son los encargados de reducir la tensión de las redes de distribución en A.T. a valores de consumo de baja. Así pues, como se indicó en el tema anterior, los centros tienen entrada en alta, fundamentalmente líneas de 3ª categoría (6, 10, 15, 20 Kv...) y salida en baja tensión (380/220 V)*”.

(p.01)

#### ***Clasificación de los centros de transformación***

En función de las características que presenta el centro, la zona y la propiedad podemos clasificar los centros de transformación en:

- ***Centro de transformación en función de la alimentación.-*** Nos encontramos con dos tipos de alimentación principalmente en los centros de transformación:



- En Punta: El centro de transformación tiene una sola línea de alimentación, con lo que la red de alta tensión termina en el centro de transformación.
  - De paso: También conocido como el bucle o anillo. Dispone de una línea de entrada y una de salida hacia otro centro de transformación o hacia un centro de reflexión.
- ***Centros de transformación en función de la propiedad.-*** Existen dos tipos bien diferenciados:
- De empresa: Cuando el propietario del centro es la compañía suministradora de energía. Normalmente poseen varias celdas de línea y una celda de protección para el transformador.
  - De abonado: Propiedad del cliente, siendo la red de entrada a la subestación de la compañía suministradora, lo que supedita el montaje de la red a lo que establezca la compañía en su línea de alta. Existen dos variantes:
- ***Centros de transformación en función de su emplazamiento.***
- De intemperie o aéreo: Transformadores montados sobre postes o estructuras metálicas, con potencias inferiores a 160 kVA, con protecciones mediante fusibles y seccionadores.
  - De interior: Ubicados en recintos cerrados a tal efecto. Pudiéndose habilitar en la zona construida o mediante edificio prefabricado. Se pueden clasificar a su vez en centros de superficie y centros subterráneos.
- ***Centro de transformación en función de su acometida.***
- De acometida aérea: La alimentación llega a través de una línea eléctrica de alta tensión de tipo aérea, (Cables desnudos que entran en el centro de transformación a través de aisladores pasa muros)

- De acometida subterránea: A través de una línea de alta tensión de tipo subterránea, con cables aislados y entrada de alta tensión en el centro de transformación por la parte inferior de éste.
  
- ***Centro de transformación en función de la obra civil.***- En este apartado vamos a estudiar los distintos tipos de edificios y construcciones en las que podemos ubicar un centro de transformación. Podemos clasificar estos edificios en cuatro tipos fundamentalmente, que pasamos a detallar en los siguientes apartados.

### ***El transformador de distribución***

#### ***Definición***

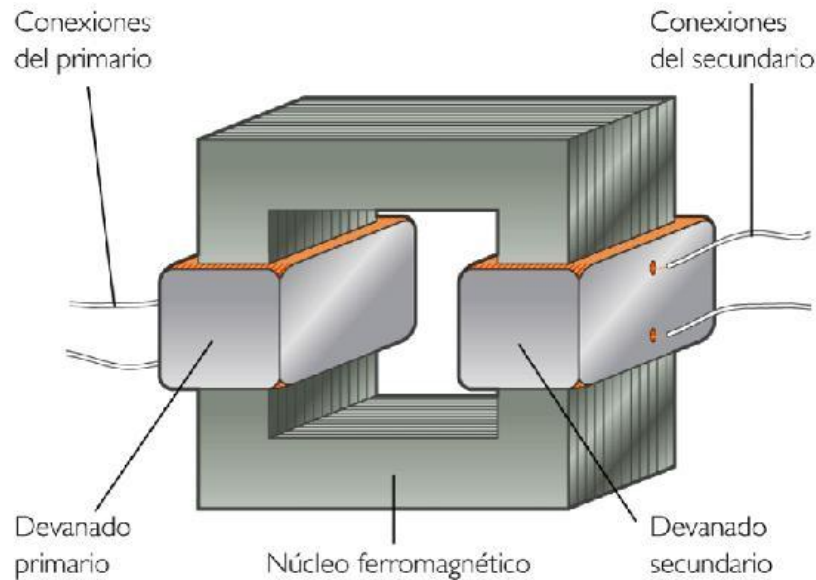
Según PARRA, A. (2007): ***“Máquina estática de inducción electromagnética, encarga de reducir la tensión de distribución primaria, fundamentalmente líneas de alta tensión de tercera categoría, a tensión de distribución de baja, es decir, a 400/230 V”.***

(p. 43)

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente.

Los transformadores suelen ir encapsulados y bañados en aceites minerales para su refrigeración y aislamiento, ya que suelen calentarse por las corrientes eléctricas que circulan a través de ellos. Se debe tener especial cuidado con los aumentos de temperatura, para no sobrepasar ciertos límites ya que se podrían provocar altas presiones dentro de la carcasa del transformador e incluso explosiones que podrían acarrear serios problemas al estar el aceite implicado.

Los grandes transformadores de las centrales tienen sus propios sistemas de refrigeración para evitar estos posibles problemas.



**Gráfico N. 10:** Esquema de un transformador

**Elaborado por:** OPEX Energy

**Red de puesta a tierra.-** Los centros de transformación deberán estar provistos de una instalación depuesta a tierra, con objeto de limitar las posibles tensiones de defecto a tierra que pueden aparecer en caso de avería. Este sistema de tierra debe ser complementado con dispositivos de interrupción de corriente, deberá asegurar la descarga a tierra de la intensidad de defecto, contribuyendo a la eliminación del riesgo eléctrico.

#### ***Elementos de la puesta a tierra***

Dentro de la instalación de puesta a tierra podemos distinguir dos elementos fundamentales:

- Línea de tierra.- estará constituida por conductor de cobre o de otro material de sección equivalente, capaz de soportar la corriente de defecto a tierra en unas condiciones de temperatura establecidas.

En tierras separadas, la tierra de neutro o de servicio deberá tener un aislamiento de 10 kV a frecuencia industrial (1 minuto) y 20 kV a impulso de rayo de onda (1,2/50 $\mu$ s).

- Electrodo de puesta a tierra.- puede estar constituido de los siguientes elementos:
  - Picas.- estas se clavarán quedando la parte superior a una profundidad no inferior a 0,5 metros, aconsejándose en terrenos donde se prevean heladas una profundidad de 0,8 m.
  - Conductores enterrados horizontalmente.- la profundidad será igual a la parte superior de las picas, es decir, 0,5 metros.

La superficie total de electrodos se obtendrá en función de la intensidad de defecto, la resistividad del terreno y el tiempo de duración del defecto medido en segundos.

### **Sistemas de supervisión, control y seguridad**

*Nivel 1:* centro de control del esqueleto del sistema (supervisión en tiempo real de centrales, líneas de transporte, y subestaciones)  $\Rightarrow$  SCADA

*Nivel 2:* Sistemas de control en las centrales:

- Regulador de velocidad  $\Rightarrow$  equilibrio generación demanda
- Regulación primaria (automática) Regulación secundaria o AGC (automática) Regulación terciaria (no automática)
- Regulador de tensión

Sistemas de protección en las centrales (sistemas de medida, relés, alarmas)

*Nivel 3:* Equipos de control, protección y maniobra de subestaciones

- Protección contra cortocircuitos  $\Rightarrow$  sobrecorrientes
- Despejar y aislar cortocircuitos
- Aparatos de corte:

- Interruptor automático (aceite, neumáticos)
- Seccionador  $\Rightarrow$  corte visible
- Interruptor de maniobra

## **Sistema, Equipos y Elementos de Protección**

### **Sistema de protección**

#### *Definición*

*Toda instalación eléctrica tiene que estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura, tanto desde el punto de vista de los conductores y los aparatos a ellos conectados, como de las personas que han de trabajar con ella.*  
[http://www.velasquez.com.co/paginas/equipos\\_de\\_proteccion\\_electrica.htm](http://www.velasquez.com.co/paginas/equipos_de_proteccion_electrica.htm)

#### *Objetivos de un Sistema de Protección*

- Protección y seguridad para la vida humana.
- Protección y seguridad en la operación electromecánica y electrónica.
- Alta eficiencia mecánica, (automatización, robótica, informática.)
- Continuidad de operación y cumplimiento puntual con los programas de aseguramiento de la calidad.
- Compatibilidad electromagnética (mínimos niveles de interferencia y contaminación entre equipos, aparatos, componentes, accesorios y seres humanos).
- Alta eficiencia eléctrica. (Disminución del factor de pérdidas, minimizando las pérdidas de energía eléctrica, lo cual se traduce en ahorro de energía).
- Calidad de operación y equilibrio ecológico.

### ***Elementos que conforman el sistema de protección eficiente***

- *Electrodo de puesta a tierra* (magnetoactivo). Este permite enviar de forma unidireccional las corrientes indeseables.
  
- *Sincronizador de admitancias*. Este dispositivo interconecta el conductor de tierra y el electrodo de puesta a tierra a la red o al equipo a proteger a través de sus componentes equipotenciales electro activos, supresores de ruido y coordinadores de admitancias. Su principio teórico se basa en su campo magnético presente en su eje perpendicular, es decir, entre el punto a proteger y el electrodo de puesta a tierra. Este campo magnético se aplica perpendicularmente a un conductor por el cuál circula una corriente eléctrica, presentando una diferencia de potencial entre los extremos del conductor, esta diferencia de potencial desaparece cuando es cancelado el campo magnético. Así mismo, el sincronizador de admitancias contiene supresores tanto de ruidos eléctricos como de impulsos electromagnéticos, lo que lo hace un elemento importante para confirmar que realmente existe interconexión entre la red y los diferentes sistemas de protección (protectores primarios, interruptores de cuchillas, fusibles, pastillas termomagnéticas y protectores secundarios), incluyendo defasamientos angulares eléctricos y los bloqueos de interacción entre ellas, con balanceo equipotencial instantáneo.
  
- *Compuesto acondicionador eléctrico*. Este preparado al no depender en forma estricta de la conductividad de la superficie terrestre y operar en todo tipo, ambiente y características de terreno, no requiere de aceleradores electroquímicos que dañan el planeta, principalmente los mantos acuíferos. El compuesto debe ser mezclado con tierra orgánica es usado como núcleo magnético orgánico para el electrodo magnetoactivo. 100% orgánico, estable y de larga vida útil (30 años promedio).
  
- *Sistemas de protección*. Elementos de la instalación eléctrica como Cuchillas, fusibles, pastillas termomagnéticas.

- *Protectores Primarios*. Tienen la capacidad de filtrar grandes corrientes (50 [KA]) y una disipación de energía superior a 1900 Joules [J] por medio de varistores sin proporcionarnos desconexión de los equipos conectados en la red eléctrica. Estos deben de ser conectados en paralelo en las cuchillas o bien en el centro de carga en cada una de las fases de la instalación eléctrica.
- *Protectores secundarios*. Tienen capacidad de desconectar la carga a un voltaje superior a los 132 [V] y en algunos casos para equipos muy sensibles también a un voltaje inferior a los 90 [V], soportan una corriente de impulso de 52 [KA] y cuentan con un poder de disipación de energía superior a los 1600 Joules [J], también ofrecen una protección de fase a neutro, de fase a tierra y de neutro a tierra. La desconexión se logra por medio de relevadores y la disipación a través de varistores.

### ***Tipos de Protección***

Existen muchos tipos de protecciones, que pueden hacer a una instalación eléctrica completamente segura ante cualquier contingencia, pero hay **tres** que deben usarse en todo tipo de instalación: de alumbrado, domesticas, de fuerza, redes de distribución, circuitos auxiliares, etc., ya sea de baja o alta tensión. Estas tres protecciones eléctricas, que describiremos con detalle a continuación son:

- a) Protección contra cortocircuitos.
- b) Protección contra sobrecargas.
- c) Protección contra electrocución.

*Protección contra cortocircuitos*.- Se denomina **cortocircuito** a la unión de dos conductores o partes de un circuito eléctrico, con una diferencia de potencial o tensión entre sí, sin ninguna impedancia eléctrica entre ellos.

Este efecto, según la Ley de Ohm, al ser la impedancia cero, hace que la intensidad tienda a infinito, con lo cual peligra la integridad de conductores y

máquinas debido al calor generado por dicha intensidad, debido al efecto Joule. En la práctica, la intensidad producida por un cortocircuito, siempre queda amortiguada por la resistencia de los propios conductores que, aunque muy pequeña, nunca es cero.

$$I = V / Z \text{ (si } Z \text{ es cero, } I = \text{ infinito)}$$

Según los reglamentos electrotécnicos, *"en el origen de todo circuito deberá colocarse un dispositivo de protección, de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en la instalación"*. No obstante se admite una protección general contra cortocircuitos para varios circuitos derivados.

Los dispositivos más empleados para la protección contra cortocircuitos son:

- Fusibles calibrados (también llamados cortacircuitos), o
- Interruptores automáticos magneto térmicos

*Protección contra sobrecargas.*- se le llama **sobrecarga** al exceso de intensidad en un circuito, debido a un defecto de aislamiento o bien, a una avería o demanda excesiva de carga de la máquina conectada a un motor eléctrico.

Las sobrecargas deben de protegerse, ya que pueden dar lugar a la destrucción total de los aislamientos, de una red o de un motor conectado a ella. Una sobrecarga no protegida degenera siempre en un cortocircuito.

Según los reglamentos electrotécnicos *"Si el conductor neutro tiene la misma sección que las fases, la protección contra sobrecargas se hará con un dispositivo que proteja solamente las fases, por el contrario si la sección del conductor neutro es inferior a la de las fases, el dispositivo de protección habrá de controlar también la corriente del neutro"*. Además debe de colocarse una protección para cada circuito derivado de otro principal.

Los dispositivos más empleados para la protección contra sobrecargas son:

- Fusibles calibrados, tipo gT o gF (nunca aM)



- *Interruptores automáticos magnetotérmicos (PIA)*
- *Relés térmicos*

Para los circuitos domésticos, de alumbrado y para pequeños motores, se suelen emplear los dos primeros, al igual que para los cortocircuitos, siempre y cuando se utilice el tipo y la calibración apropiada al circuito a proteger.

#### *Protección contra electrocución*

#### *Peligros de la corriente eléctrica*

Bajo los efectos de una corriente eléctrica, puede sobrevenir la muerte de una persona, por las causas siguientes:

- Paralización del corazón
- Atrofia de los músculos del tórax (asfixia)
- Carbonización de los tejidos
- Electrólisis de la sangre (solamente en c.c.), etc.

Aunque los cuerpos humanos reaccionan de diferente manera unos de otros y dependiendo de las condiciones del momento, podemos decir que la corriente eléctrica empieza a ser peligrosa, cuando atraviesan el cuerpo humano **más de 25 mA, durante más de 0,2 segundos.**

Se ha comprobado que **la resistencia del cuerpo humano**, con piel sana y seca, depende de la tensión que se le aplique, pudiendo variar entre 2.500 y 100.000 ohms. Esta resistencia también disminuye debido a la humedad, la transpiración, las heridas superficiales, al aumentar la masa muscular de las personas, si el contacto es inesperado, etc. También y por causas aún desconocidas se sabe que en las altas frecuencias la corriente eléctrica deja de ser peligrosa para el cuerpo humano (a partir de unos 7.000 Hz aproximadamente), y por tal motivo se emplea mucho en electromedicina.

Debido a todo lo anteriormente expuesto, cuando se hacen cálculos sobre la seguridad contra electrocución, y con el fin de trabajar con un buen margen de seguridad, ***se considera que la resistencia del cuerpo humano es de 1.000 ohms.***

Por eso los reglamentos electrotécnicos fijan como **tensiones peligrosas**, exigiendo la instalación de protecciones contra electrocución, las siguientes:

- **50 V**, con relación a tierra, en locales secos y no conductores.
- **24 V**, con relación a tierra, en locales húmedos o mojados.
- **15 V**, en instalaciones para piscinas

***Función de los sistemas de protección (SdP):***

- Remover del servicio cualquier equipo que comienza a operar en forma anormal (rápidamente).
- Sacar de servicio el equipo en falta (rápidamente).
- Limitar el daño a los equipos.
- Mantener la integridad y estabilidad del sistema de potencia.

***Elementos de maniobra y protección:***

- *Térmicos*: Para cortes lentos. Son dos metales con distinto coeficiente de dilatación soldados entre sí, por efecto joule se curvan produciendo desconexión.
- *Magnéticos*: Para cortes rápidos. Es una bobina con núcleo de hierro que acciona un interruptor cuando recibe sobreintensidad.
- *Termo magnético*: Combinación, más usados. Actúa ante cualquiera de los casos anteriores. Actúa por una característica que hace que con 1,45 veces de la corriente nominal interrumpa dentro de los 60 minutos de producida la sobrecarga.
- *El fusible*: Actúa con una característica que con el 1,45 veces de la corriente nominal interrumpa la misma en menos de 60 minutos.
- *Selección de interruptor*: Se consideran: tensión nominal del circuito a proteger (la  $U_0$  del interruptor no debe ser menor a la del C E.), Cantidad de polos (unipolares, bi, tri, tetra), In (no debe exceder más de un 25% a

la I de carga nominal del C a proteger), Valor de I de CC (debe ser mayor o = al calculado), Limitadores de corriente, Datos en interruptor (marca, tipo, U de servicio,) Capacidad de ruptura en un rectángulo, Tipo de curva y In., Condiciones de operación (20°C, 6KA en 380V o 3KA en 220V).

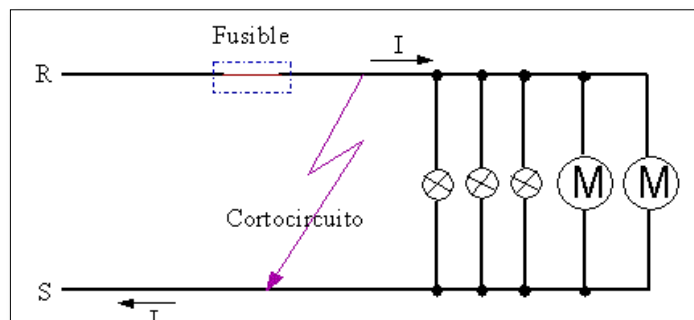
- *Interruptores Termo magnéticos*: Tiene disparador térmico contra SC y magnético contra CC. Ambos con desconexión libre. Color gris con palanca de accionamiento azul. Curvas de desconexión: Tienen características de disparo C y D de las IRAM. Soportan I de conexión de las lámparas sin interrupciones y de motores.

## Fusibles

### Definición

CASTAÑO, S. (Primera Edición) expresa que *“El fusible es el dispositivo de sobrecorriente más común y económico en la protección de sistemas de distribución. Es también uno de los más confiables pues prestan servicio sin mantenimiento por muchos años”*

(p.400)

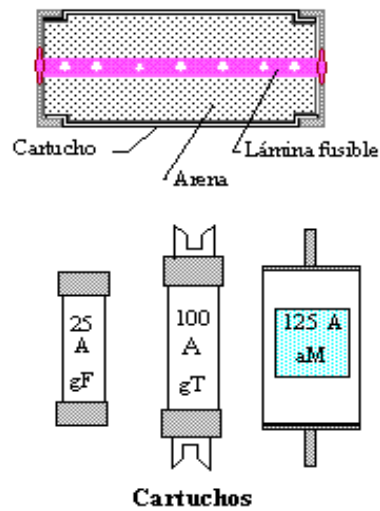


**Gráfico N. 11:** Fundamento del cortocircuito o fusible

**Elaborado por:** Investigador

### Partes del fusible

Los fusibles están constituidos por los siguientes elementos:



**Gráfico N. 12:** Estructura interna del fusible (\*)

### *Función*

Interrumpir y disponer de un ambiente dieléctrico para prevenir el restablecimiento del arco cuando la corriente pasa por cero. El siguiente es el proceso:

- Detección: Calentamiento y fusión.
- Iniciación del arco: Separación.
- Manipulación del arco: Alargamiento, refrigeración desionización, presurización.
- Interrupción de corriente: Corriente cero.

Para que el fusible funcione apropiadamente, este debe:

- Detectar las condiciones difíciles de proteger.
- Interrumpir la falla rápidamente.
- Coordinarse con otros dispositivos de protección para minimizar el número de usuarios afectados por la acción del fusible.

## *Tipos de fusibles*

### – *Fusibles de potencia*

Usados en subestaciones y equipos de interrupción encapsulados, tienen rangos de corriente más altos y las características nominales de interrupción y de corriente están dadas a voltajes más altos.

Existen los siguientes tipos básicos:

- De expulsión: Ácido bórico, tubo de fibra.
- Limitadores de corriente: Arena.
- Sumergibles en líquido: Tetracloruro de carbón.
- Fusible electrónico.

### – *Fusibles de distribución.*- Existen los siguientes tipos:

*De expulsión:* Usado principalmente donde la expulsión de los gases no causa problemas como en los circuitos aéreos y equipos no cubiertos.

Existen las siguientes clases:

- En tubo de fibra (encerrado y de intemperie).
- Sin portafusible (listón a la intemperie).

*Limitadores de corriente:* Usados en interiores, para proteger transformadores PadMounted, equipos encerrados donde se requiere limitación de energía.

Ambos tipos son empleados en sistemas de distribución, diferenciándose principalmente en su capacidad interruptiva y tensión de aplicación.

Los fusibles inmersos en aceite tienen aplicación principalmente en instalaciones subterráneas, siendo necesario en ciertas ocasiones instalarlos en equipos sumergibles.

De la selección adecuada de un fusible, cualquiera que sea su tipo dependerá del éxito que se tenga en la aplicación. De manera general, para una correcta selección, es necesario conocer:

- Tensión del sistema.
- Nivel de aislamiento.
- Máxima corriente de cortocircuito en el lugar de instalación.
- Relación  $X / R$ .
- Máxima corriente de carga (incluyendo tasa de crecimiento).
- Tipo de sistema aéreo o subterráneo, en delta o en estrella multiaterrizado.

Estos factores permitirán establecer la tensión, corriente de operación y capacidad interruptiva que deberá tener el fusible seleccionado.

#### ***Aspectos generales para la selección de fusibles de distribución.***

##### *Fusibles de distribución.*

- En fusibles de distribución, la selección depende de la filosofía de protección que se aplique al sistema, en general, los fusibles K (rápidos) desconectan al sistema de fallas en menos tiempo y coordinan mejor con los relevadores.
- Los fusibles T (lentos) soportan corrientes transitorias mayores (corrientes de arranque de motores, etc.) y coordinan mejor con otros fusibles de la misma clase o diferentes.
- Para escoger el tamaño mínimo del fusible se debe considerar no sólo la máxima carga normal del lugar de la instalación sino la corriente de arranque y carga fría. En la tabla N.2 se indican las capacidades de fusibles (K y T, de acuerdo con normas NEMA) que puede llevar una carga continua del 15 % de su valor nominal.
- Las temperaturas ambiente extremas y precargas grandes afectan las curvas tiempo-corriente de los fusibles; por tanto, deben considerarse cuando la instalación del fusible trabaje bajo estas condiciones.

**Tabla N. 3:** Capacidad continua de corriente de fusibles de distribución tipos K, T, H, y N de estaño.

Fusible de alta descarga	Corriente continua (A)	Nominal	Corriente continua (A)	EEI-NEMA K o T nominal	Corriente continua (A)	EEI-NEMA K o T nominal	Corriente continua (A)
1 H	1	25	25	6	9	40	60*
2 H	2	30	30	8	12	50	75*
3 H	3	40	40	10	15	65	95
5 H	5	50	50	12	18	80	120+
8 H	8	60	60	15	23	100	150+
		75	75	20	30	140	190
<b>N Nominal</b>		85	85	25	38	200	200
5	5	100	100	30	45		
8	8	125	125				
10	10	150	150				
15	15	200	200				
20	20						
<p>* Solo cuando es usado en cortacircuitos de 100 o 200 Amperios.                      + Solo cuando es usado en cortacircuitos de 200 Amperios.                      Limitado por corriente de régimen continuo del cortacircuito.</p>							

**Fuente:** NEMA

### *Fusibles de potencia*

- En lo que respecta a tensión, estos fusibles deben ser seleccionados con base en la máxima tensión entre fases que se puede presentar en el sistema en donde se apliquen, independientemente de la clase de puesta a tierra que tenga.
- La capacidad interruptiva del fusible de potencia debe ser mayor siempre a la máxima disponible en el lugar de instalación. Estos fusibles están normalizados con base en una relación X / R mayor a 15 para capacidad de cortocircuito simétrico y para su capacidad de cortocircuito asimétrico. En cuanto a su capacidad de corriente de trabajo nominal, deberán tomarse en consideración todos los aspectos indicados para los fusibles tipo distribución.
- En la selección de fusibles de potencia tipo limitadores, además de las consideraciones anteriores se deberán tomar en cuenta también otras más

tales como: tipo de conexión del transformador, efecto del arco de operación en los pararrayos, etc.

**Tabla N. 4:** Valores nominales de fusibles limitadores (de potencia)

Tensión (kV) del sistema		Tensión nominal recomendada			
Nominal	Máxima	4 - Hilos multiterrizado		Delta	
		1 $\phi$	3 $\phi$	1 $\phi$	3 $\phi$
6.9	7.26	--	--	8.3	8.3
6.93/12	7.3/12.7	8.3	15.5	--	--
13.2	14.5	--	--	15.5	15.5
13.2/22.9	14/24.2	15.5	23	--	--
34.5	36.5	--	--	38	38
19.9/34.5	21.1/36.5	23	38	--	--

**Fuente:** CASTAÑO, S. *Protección de Sistemas Electrónicos*. Primera Edición. (p.404)

Para la correcta selección del tipo de fusible adecuado, cualquiera que sea su clase, será necesario siempre conocer sus curvas tiempo-corriente de operación.

### **Fusibles de Expulsión**

Este tipo de fusibles consta básicamente de los siguientes componentes: Un cilindro interior aislante de material ablativo, el cual puede ser fibra vulcanizada, papel aislante impregnado de resina fenólica, resinas termoplásticas o termofijas con o sin material de relleno.

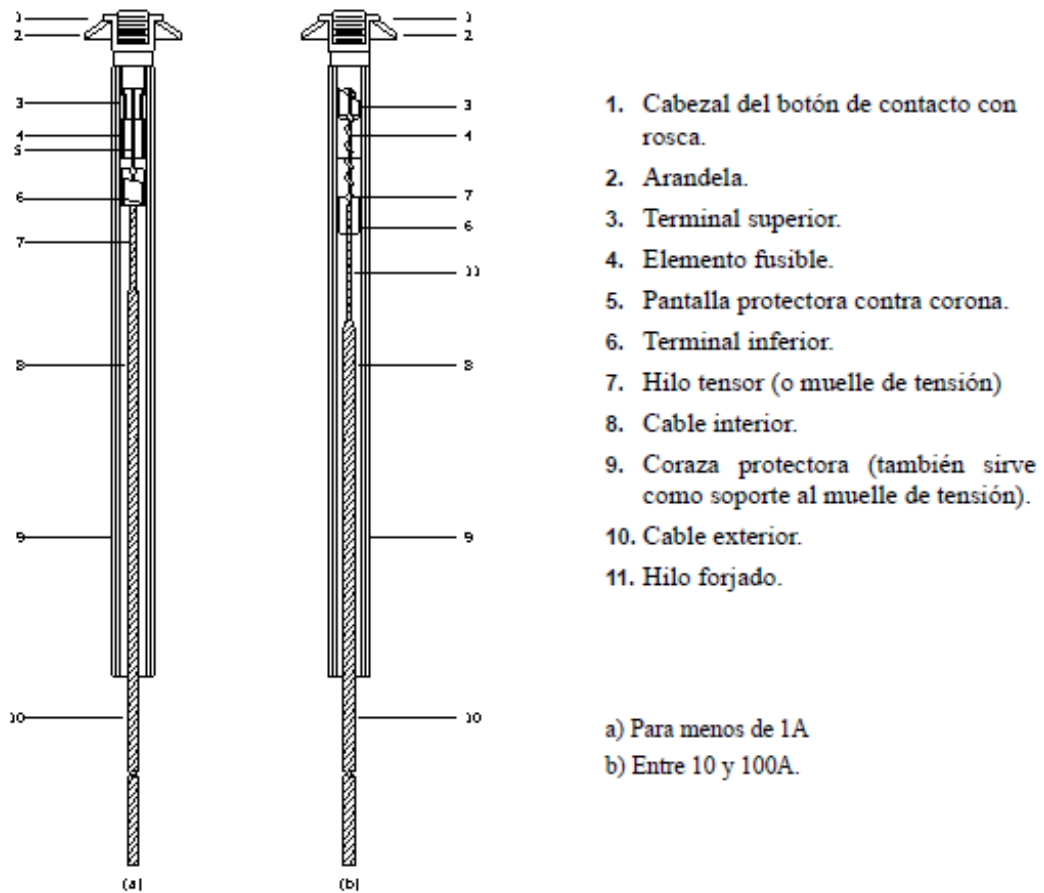
#### ***Partes del fusible de expulsión***

El elemento sensible a la corriente (fusible) está constituido por:

- un alambre o cinta, de sección transversal casi siempre constante y de longitud muy corta (entre 2 y 5 cm). El material de este elemento puede ser plata, cobre, aleaciones de plata o cobre, aleación níquel-cromo,



plomo, estaño, o aleaciones de plomo-estaño. Además tiene un botón cabezal y el conductor inferior.



**Gráfico N. 13:** Eslabón fusible típico usado en cortacircuitos de distribución tipo intemperie.

**Elaborado por:** CASTAÑO, S (Primera Edición)

Los diseños más comunes son:

- Una combinación de soldadura eutéctica y elemento de alta corriente para eslabones fusible de descarga ratados de 1 a 8 A.
- Un elemento de hilo para fusibles de estaño ratados de 5 a 20 A y de fusibles de plata ratados de 5 a 100 A.
- Un elemento fundido a troquel para fusibles de estaño ratados de 25 a 100 A.
- Un elemento de disparo para fusibles de estaño ratados sobre 100 A.

Los eslabones fusibles descritos por 2, 3, 4 tienen un hilo tensionado de alta resistencia que protege el elemento fusible contra rotura mecánica accidental. La longitud y el diámetro del elemento fusible determinan la corriente y el tiempo necesario para fundir el elemento.

El elemento puede ser largo o corto.

- *El elemento largo*: a bajas corrientes gradualmente desarrolla un punto caliente en el centro y rompe tan pronto se alcanza la temperatura de fusión.
- *El elemento corto*: a la misma corriente desarrolla un punto caliente que no alcanza la temperatura de fusión dejando el fusible calentado pero no fundido.

A altas corrientes ningún elemento tiene tiempo de sacar el calor hacia afuera.

### ***Operación***

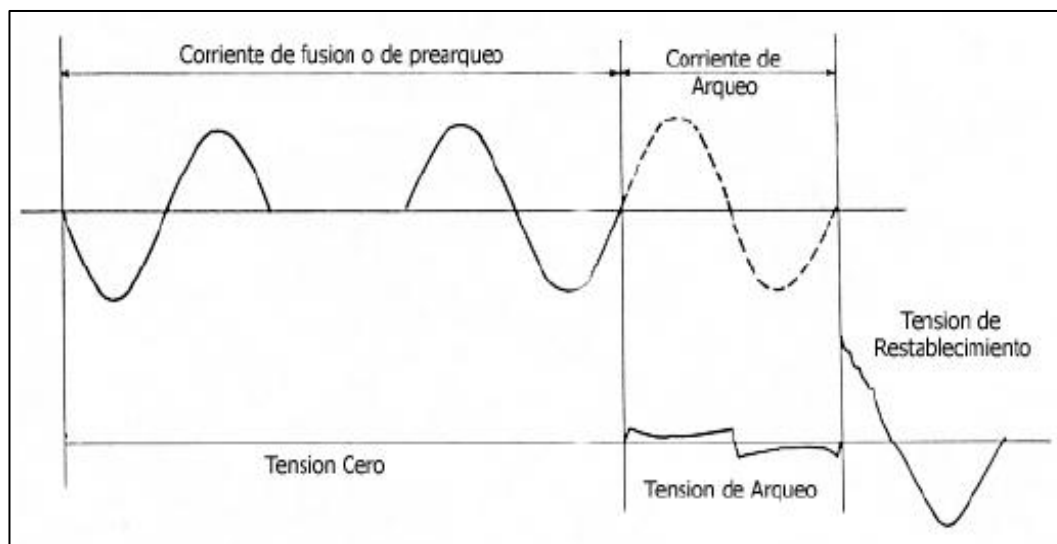
Una vez que ha operado el elemento sensible a la corriente, la interrupción se logra no sólo por la reacción del tubo aislante de material ablativo y por la expulsión del cable de cobre estañado, sino también por la acción de caída del tubo portafusible, haciéndose visible la operación y la ubicación de la falla.

En algunos diseños de fusibles de baja corriente nominal se agrega un resorte interior de tensión o compresión que ayuda a separar más rápido al cable de cobre estañado del contacto interior fijo, sujetado de alguna forma al contacto superior. Inmediatamente después de que ocurre la fusión (o prearqueo) del elemento sensible a la corriente aparece el arco, cuya temperatura es superior a 12 000 °K, que al estar en contacto con el material ablativo forma una capa envolvente de vapor a una temperatura del orden de los 3000 °K. En este tipo de fusibles el arco es enfriado por convección, siendo el flujo refrigerante generado por la vaporización del material aislante por el arco.

La extinción del arco se logra por la acción de dos agentes:

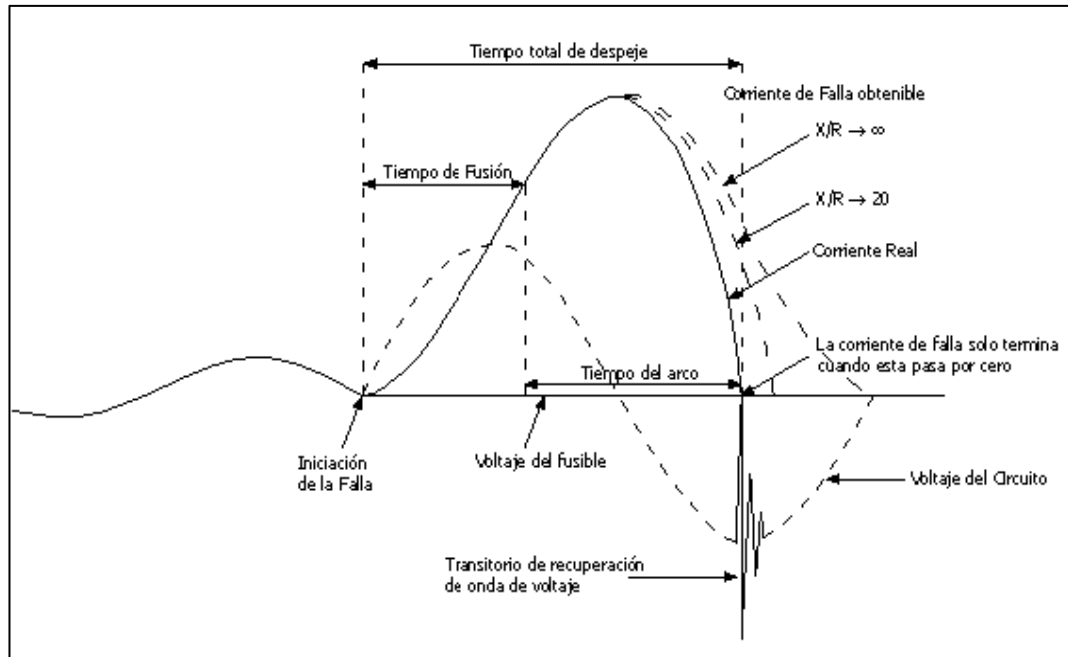
- Enfriamiento por convección de los gases desionizantes que se generan a alta presión.
- La expulsión hacia el exterior del cable de cobre estañado, al cual estuvo conectado previamente el elemento sensible a la corriente.

En la medida que la corriente de falla es mayor, la duración del periodo de arqueado será menor. Sin embargo, la interrupción siempre ocurrirá hasta que la corriente pase por su valor cero en uno o más semiciclos. En los siguientes gráficos se representa la característica de operación de estos fusibles bajo la acción de corriente de falla de baja y alta magnitud a la tensión del sistema.



**Gráfico N. 14:** Interrupción de una corriente de falla de baja magnitud

**Elaborado por:** CASTAÑO, S (Primera Edición)



**Gráfico N. 15:** Interrupción de una corriente de falla de alta magnitud y diferentes asimetrías.

**Elaborado por:** CASTAÑO, S (Primera Edición)

En el siguiente gráfico se muestra las señales típicas de corriente, voltaje y tiempo que se presentan durante la interrupción normal del fusible de expulsión. Puede observarse que no hay limitación de corriente y al final del tiempo de interrupción el voltaje puede rápidamente restablecerse pero antes se presenta un alto transitorio de recuperación de voltaje.

### ***Valores nominales de los fusibles de expulsión***

Fueron establecidas Normas (EEI–NEMA) que especifican los valores nominales de corrientes y las características  $t-i$  para prever la intercambiabilidad eléctrica de fusibles de todos los fabricantes de la misma característica nominal. Las categorías de las corrientes nominales son las siguientes:

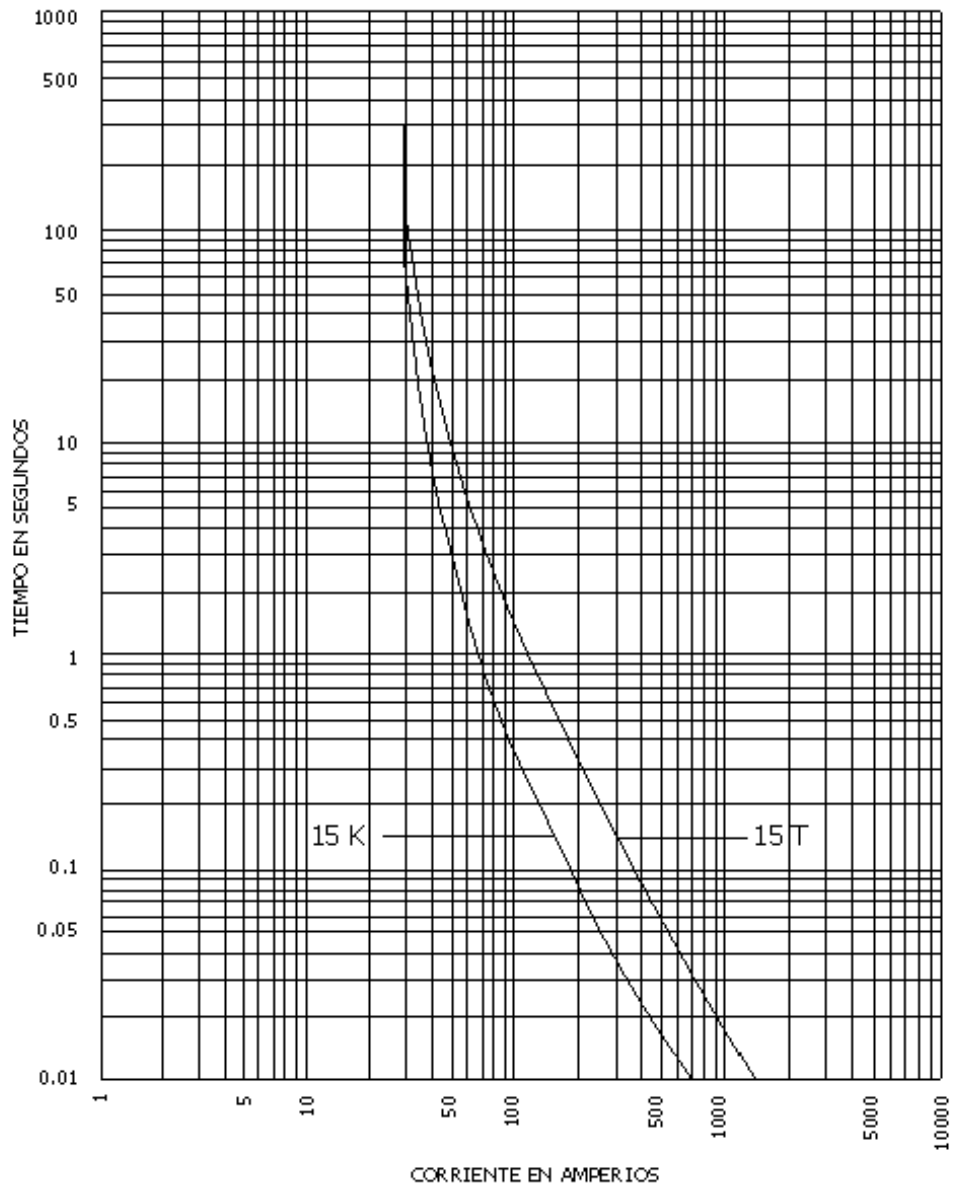
- Tamaños preferidos: 6, 10, 15, 25, 45, 65, 100, 140, 200 A.
- Tamaños no preferidos: 8, 12, 20, 30, 50, 80 A.
- Por debajo de 6 Amperios: 1, 2, 3, 5 A.

Si se mezclan fusibles adyacentes de categorías 1 y 2 se limita el rango de coordinación.

***Fusibles lentos, fusibles rápidos y de alta descarga***

Las normas EEI-NEMA han dividido a los fusibles de expulsión en dos tipos: rápidos y lentos, los cuales son designados por las letras K y T, respectivamente.

Los eslabones K y T del mismo valor nominal tienen puntos idénticos a los 300 segundos. En el siguiente gráfico se muestra que tienen curvas distintas de tiempo-corriente y que el tipo T es más lento en altas corrientes de falla que el tipo K.



**Gráfico N. 16:** Curvas de fusión mínima de fusibles 15K y 15T

**Elaborado por:** NEMA

La diferencia entre los dos tipos es la relación de velocidad, la cual es la relación entre la corriente de fusión a 0.1 segundos y 300 segundos para los eslabones nominales por debajo de 100 amperios, y de 0.1 segundos y 600 segundos para eslabones nominados por encima de 100 amperios. Por ejemplo, un fusible tipo K nominado en 10 amperios tiene en 0.1 segundos, una corriente de fusión de 120 amperios, y en 300 segundos una corriente de fusión de 18 amperios; la relación de velocidad es, entonces,  $120/18 = 6.67$ .

Se han diseñado otros eslabones fusibles con relaciones de velocidad diferentes a la de los tipos K y T; dichos eslabones son designados por las letras H y N. Los fusibles tipo H son diseñados para proveer protección de sobrecarga y evitar la operación innecesaria durante las ondas de corrientes transitorias de corta duración asociadas con arranque de motores y descargas atmosféricas; los eslabones N se diseñan con valores nominales de uno, dos, tres, cinco y ocho amperes. La Tabla muestra las corrientes mínimas y máximas de fusión y la relación de rapidez para fusibles tipo K y T.

**Tabla N. 5:** Datos característicos de eslabones tipo K y T.

Tipo del fusible	300 s		10 s		0.1 s		Relación de rapidez	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
	x In.	x In.	x In.	x In.	x In.	x In.		
K	2	2.4	2.25	3.4	12	14.3	6	7.6
T	2	2.4	2.5	3.8	20	24	10	13

**Fuente:** NEMA

Los fusibles T y K del mismo valor nominal tienen diferentes puntos 300 segundos 600 segundos, pero como lo muestra la figura 10.13 tiene diferentes curvas t-i. A altas corrientes el fusible T es más lento que el fusible k del mismo tamaño.

La diferencia entre los 2 fusibles la da la relación de velocidad así:

- Relación de velocidad =  $\frac{I \text{ de fusión a } 0.1 \text{ s}}{I \text{ de fusión a } 300 \text{ s}}$  para fusibles <100A
- Relación de velocidad =  $\frac{I \text{ de fusión a } 0.1 \text{ s}}{I \text{ de fusión a } 600 \text{ s}}$  para fusibles >100A

***Relación de velocidad***

- Los fusibles lentos T tienen relación de velocidad entre 10 y 13.
- Los fusibles rápidos K tiene relación de velocidad entre 6 y 8.1

- Los fusibles de alta descarga de 1, 2, 3, 5, 8 A para la protección de pequeños transformadores, son tipo H. Protegen contra sobrecarga y evitan operación durante descargas de corriente transitoria de corto tiempo asociadas con arranques de motores y descargas atmosféricas.

### ***Ventajas***

- Una vez quemado el fusible, puede ser recargado con mucha facilidad.
- Otra ventaja es que el portafusible admite una amplia variedad de eslabones fusible y de posibilidades de coordinación. Después que la corriente de arco se reduce a cero, para asegurar la interrupción definitiva de la corriente de falla, la rigidez dieléctrica del fusible debe ser mayor que la tensión de restablecimiento.
- Hasta el instante de interrupción de la corriente de arco, la tensión en los bornes del fusible tiene un valor muy reducido, pero inmediatamente después la tensión de restablecimiento se incrementa para alcanzar o rebasar el valor cresta de la tensión del sistema.

### ***Factores de selección para elementos fusible y cortacircuitos***

- *Para selección de cortacircuitos.*

Los valores nominales para cortacircuitos de distribución son listados en las tablas 10.2 y 10.3.

Los datos requeridos para facilitar la selección de los cortacircuitos de un sistema de distribución son:

- La seguridad
- La economía
- La localización
- Uso preferente
- Voltaje del sistema
- Tipo de sistema
- Relación X/R



- Corriente de falla máxima presentada.
  - Corriente de carga
  - Régimen continuo de corriente
  - Capacidad de interrupción
- *Selección de la corriente nominal.*

$$I_{\text{nominal continua}} \geq \text{Corriente de carga continua}$$

En la determinación de la corriente de carga del circuito se debe considerar la corriente de sobrecarga normal incluyendo los armónicos sostenidos.

- *Selección de voltajes nominales (Fusibles de expulsión).*

El voltaje nominal es determinado por las siguientes características:

- Voltaje f-t ó f-f máximo del sistema.
- Sistema de puesta a tierra.
- Circuitos 1 $\Phi$  o 3 $\Phi$

Voltaje de restauración  $\leq$  Voltaje máximo nominal del cortocircuito.

- *Reglas de selección.*

1. En sistemas subterráneos: V régimen máx.  $\geq$  V f-f máximo del sistema.
2. En sistemas 3 $\Phi$  efectivamente puestos a tierra:

a) *Para 1 $\Phi$  cargas de derivaciones de línea:*

V régimen máximo fusible  $\geq$  V máximo f-t del sistema.

b) *Para 3 $\Phi$  aplicaciones:*

Las reglas dictan el uso de voltajes nominales f-f.

Sin embargo, las fallas que producen condiciones donde un cortocircuito 1 $\Phi$  pueda interrumpir voltaje f-f son raras en estos sistemas. Existe entonces la tendencia a emplear cortacircuitos que tienen voltajes nominales duales como 7.8/13.5 kV y 15/26 kV.

## **Curvas de Comportamiento de los fusibles de media tensión**

### ***Definición***

*Las curvas de comportamiento de los fusibles de media tensión tienen el propósito de dar a conocer las características de corriente en fusión al tiempo de cada tipo de elemento de protección.*

### ***Características de las Curvas***

- La escala del tiempo consta de cinco secciones de: 0.01 a 0.1, de 0.1 a 1.0, de 1.0 a 10, de 10 a 100 y de 100 a 1000 segundos.
- Las cinco secciones tienen idénticas subdivisiones y son de la misma longitud.
- La escala de la corriente en amperios consta de cuatro divisiones: de 1 a 10, de 10 a 100, de 100 a 1000 y de 1000 a 10000 A.
- Los amperios en la escala de corriente son amperios simétricos. La escala del tiempo empieza en 0.01 segundos, valor poco menor que un ciclo (0.0167 segundos).
- Las curvas características de fusión no empiezan en un tiempo igual a cero debido a que cuando los fusibles operen en el rango entre cero y un ciclo una sola línea no llega a tener significado. Esta es el área donde las curvas de corriente pico y las  $I^2t$  proporcionan la información necesaria para una aplicación adecuada de fusibles.
- Si se observa la parte superior de la escala del tiempo, se nota que las curvas de fusión terminan en 300 segundos; sin embargo, algunas normas consideran hasta 600 ó 1000 segundos.

### ***Tipos de curvas***

Existen tres tipos de curvas:

- Las curvas características promedio de fusión tiempo-corriente.- aplica para todo tipo de fusibles.

- Las curvas instantáneas de corriente pico.- aplica para los fusibles limitadores.
- Las curvas  $I^2t$ .- aplica para los fusibles limitadores.

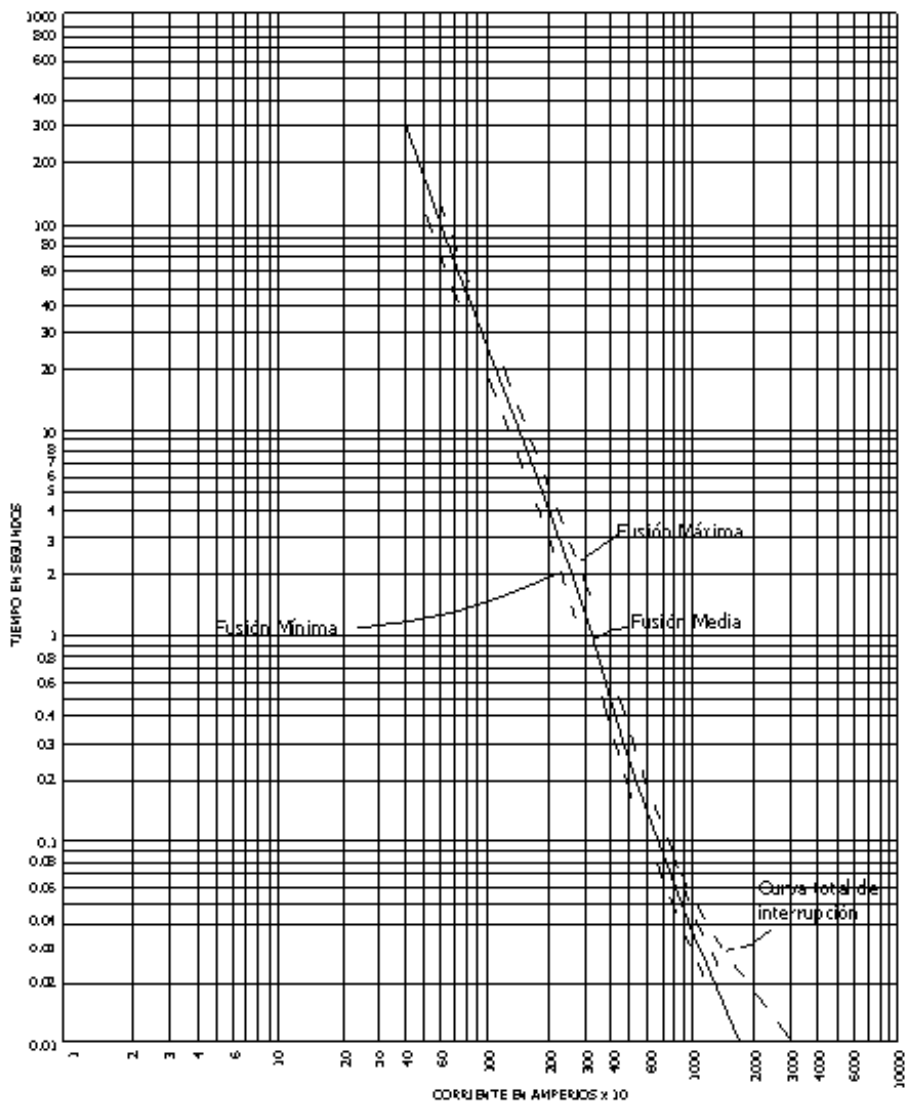
*Las curvas características tiempo-corriente de fusión.-* son curvas promedio; esto se debe a que a pesar de que se usen los mismos elementos en la fabricación de los fusibles y las mezclas sean las mismas en cada proceso, es imposible fabricar dos fusibles exactamente iguales y cuyas características sean idénticas.

Consecuentemente, dos fusibles de una capacidad de conducción igual y de la misma clase no se fundirán en el mismo tiempo cuando circule por ellos la misma corriente.

*La corriente de fusión.-* no debe variar más o menos del 10 % para un tiempo dado. Así, en vez de una sola línea que muestre la característica tiempo corriente de un fusible, es más conveniente hablar de una banda que se considera puede variar más o menos 10 % de la línea promedio.

### ***Ejemplo***

En el gráfico se muestra la curva promedio característica de un fusible de 225 amperios de baja tensión en la que se ha indicado con líneas punteadas el ancho de la banda para cinco diferentes valores de corriente a 700, 1500, 2500, 5000 y 10000 amperios. En la escala del tiempo en el lado izquierdo se han indicado los tiempos mínimos, promedio y máximo para cada una de las corrientes consideradas. La línea punteada de la izquierda representa la mínima característica de fusión del fusible y la de la derecha representa la máxima característica de fusión.



**Tabla N. 6:** Curva característica de un fusible de baja tensión

**Elaborado por:** CASTAÑO, S (Primera Edición)

***Parámetros para la obtención de las curvas***

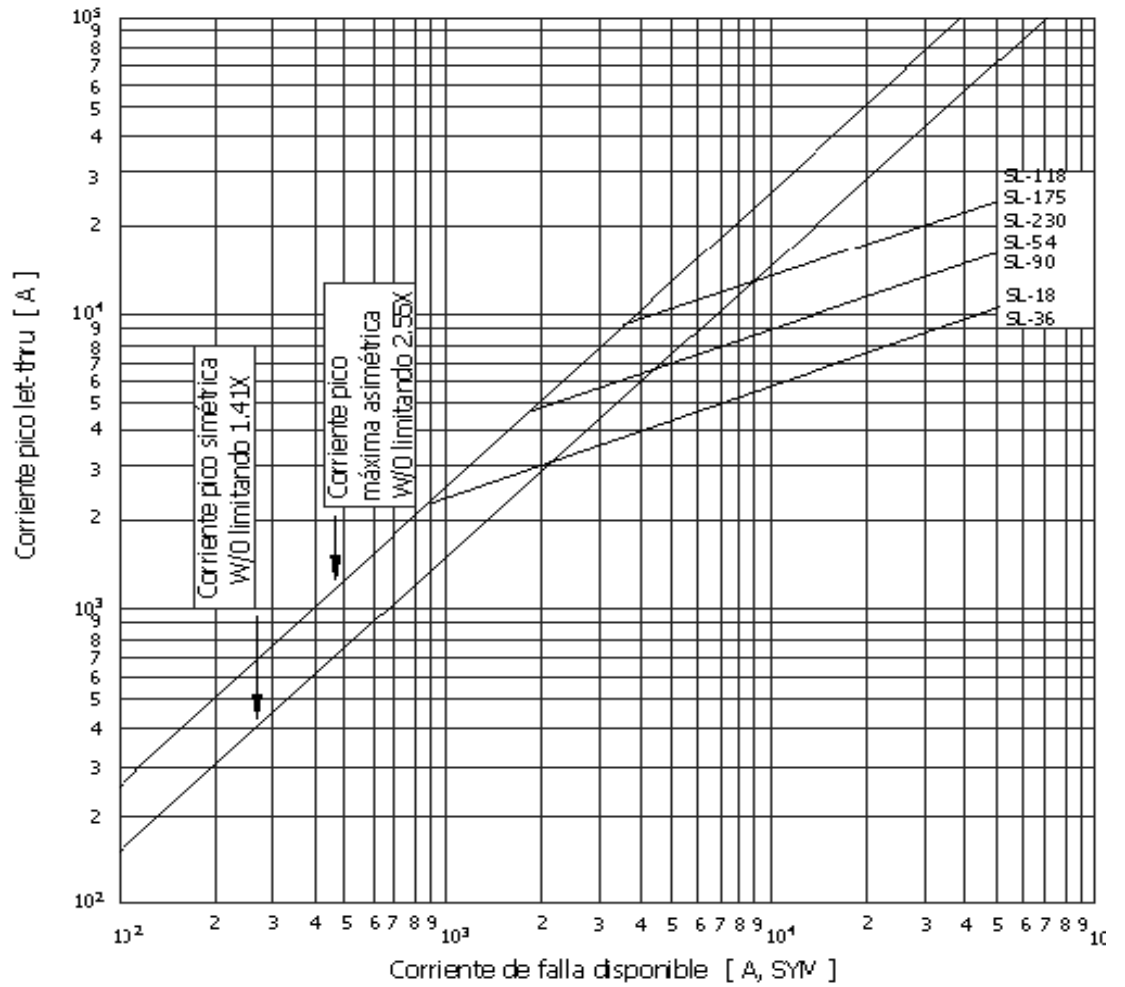
- Los fusibles que no han sido sometidos a precarga, es decir, los fusibles no han conducido ninguna corriente antes de la prueba.
- La temperatura ambiente en que se hace la prueba es de 25 °C.
- La instalación del fusible es al aire, no en un interruptor u otro dispositivo.
- La interrupción de un circuito por la operación de un fusible se lleva a cabo en dos partes:

- La corriente que pasa por el elemento fusible debe calentar al elemento y cambiarlo al estado líquido.
- En el instante en que el elemento fusible cambia al estado líquido el elemento se empieza a abrir y se establece un arco a través de los extremos del elemento en el punto donde este se interrumpió. Las otras partes se siguen fundiendo y el arco se alarga hasta que finalmente no puede continuar y se extingue, interrumpiéndose el circuito.
- El tiempo del arco se mide en ciclos y varía de 0.5 a 2 ciclos.
- La curva total de tiempo de interrupción está compuesta por el tiempo de fusión y el tiempo de arqueo. El tiempo de fusión es muy grande en comparación con el tiempo de arqueo, de tal modo que dos ciclos de tiempo de arqueo en el área entre 0.01 y 0.08 segundos aumenta solamente 0.03 segundos en el total del tiempo.

Por lo regular el fabricante de fusibles proporciona dos juegos de curvas características tiempo-corriente para cada clase de fusibles:

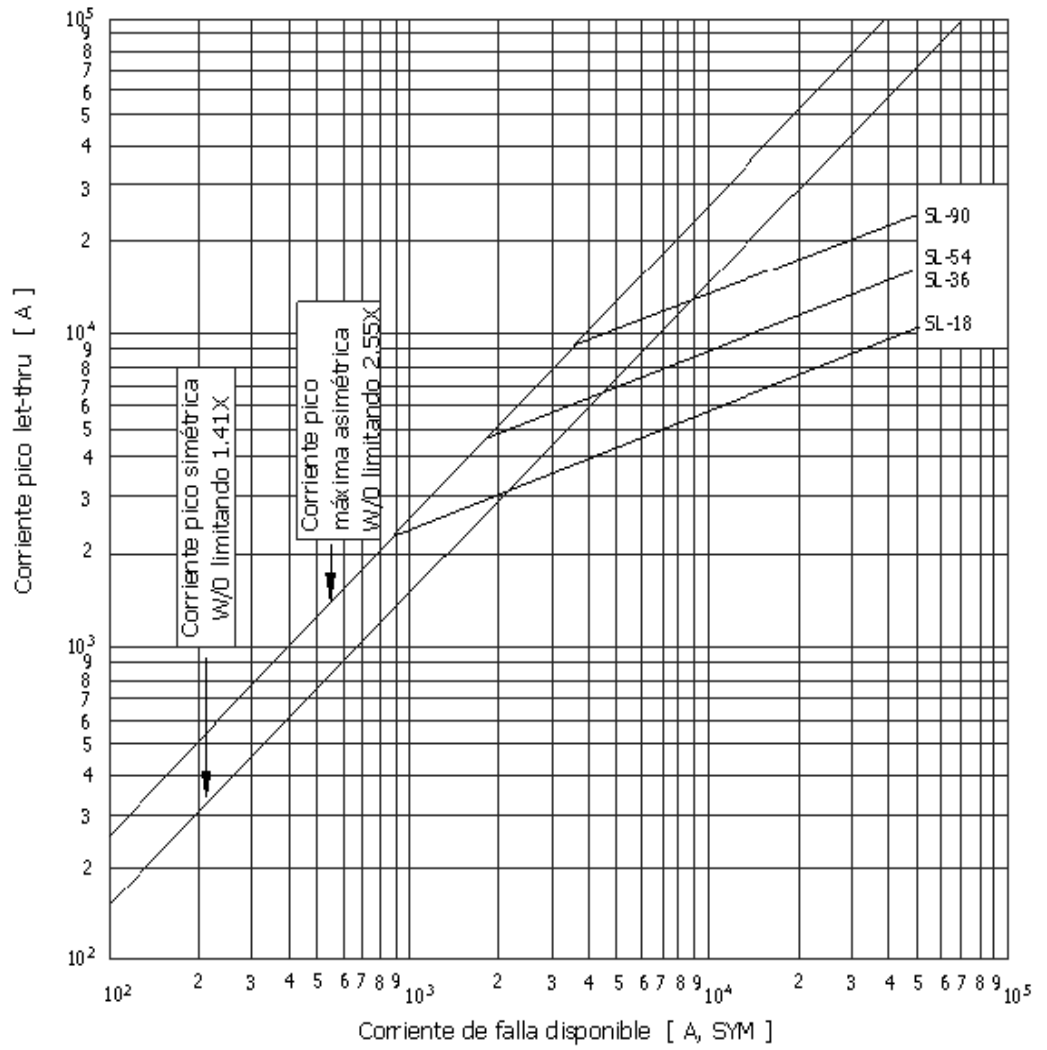
- Una es la familia de curvas de tiempo mínimo de fusión y la otra la familia de curvas de tiempo total de interrupción.
- En el área entre 0.08 y 0.01 segundos, la zona de mayor cortocircuito, lo más probable es que la línea de fusión máxima no sea igual al tiempo total de interrupción. En esta región de operación del fusible el tiempo de arqueo puede ser igual o mayor que el tiempo de fusión, lo cual depende de:
  - El valor instantáneo de la onda de tensión en que ocurre el cortocircuito.
  - El valor de la relación  $X / R$ .
  - La rapidez de crecimiento de la corriente de cortocircuito durante el primer medio ciclo.
- Cuando los fusibles operan en un rango comprendido entre cero y un ciclo, en las curvas características de tiempo-corriente, este rango está representado en una parte muy pequeña de la escala logarítmica. Para

ayudar a representar la característica de los fusibles en esta región se emplean las curvas de corriente pico de entrada y las curvas de energía I2t. Las primeras se muestran en los siguientes gráficos y las segundas se observan en los gráficos posteriores.



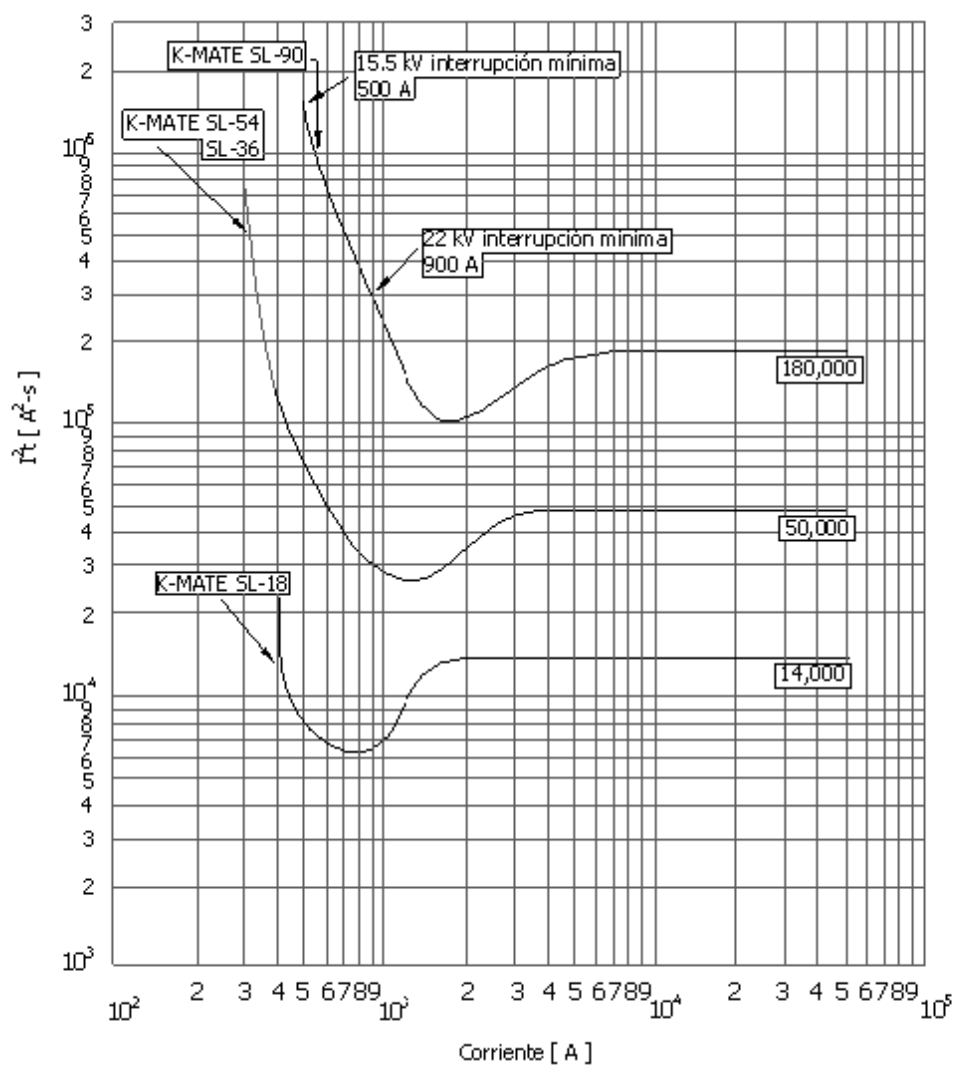
**Gráfico N. 17:** Características de corriente de paso libre para FLC (sistemas 3 $\Phi$  - 15 kV y 1 $\Phi$  - 8.3 kV) CHANCE K-MATE

**Fuente:** CASTAÑO, S (Primera Edición)



**Gráfico N. 18:** Características de corriente de paso libre para FLC (sistemas 3Φ - 25 kV, 1Φ - 15.5 kV, 3Φ - 35 kV, 1Φ - 22 kV) CHANCE K-MATE.

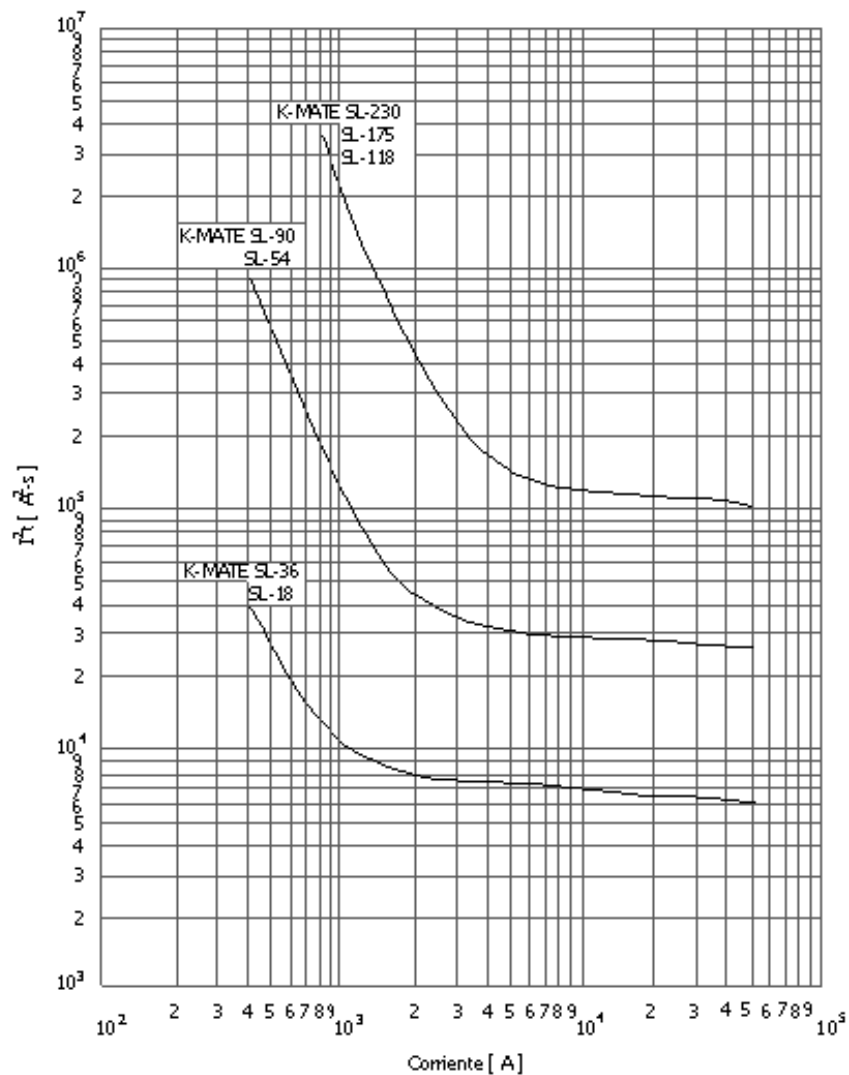
**Fuente:** CASTAÑO, S (Primera Edición)



**Gráfico N. 19:** Curvas características  $I^2t$  de despeje total para fusibles limitadores de corriente CHANCE K-MATE de 15.5 kV y 22 kV

**Elaborado por:** CASTAÑO, S (Primera Edición)





**Gráfico N. 20:** Curvas características  $I^2t$  de fusión mínima para fusibles limitadores de corriente CHANCE K-MATE de 8.3 kV

**Elaborado por:** CASTAÑO, S (Primera Edición)

- El eje horizontal marca la corriente de cortocircuito simétrica y el eje vertical la corriente pico de entrada de cualquier fusible; este se puede encontrar seleccionando la curva del fusible en cuestión y leyendo el valor de la corriente de falla.
- El punto en que la curva intercepta la línea de corriente simétrica pico es el punto de entrada, es decir, el punto donde el fusible empieza a operar como limitador de corriente. Estas curvas sirven para comparar las corrientes pico de entrada de los fusibles con la energía  $I^2t$  de daño de los equipos que protegen.

Las curvas de energía  $I^2t$  de los fusibles permiten coordinar fusibles en tiempos menores de 0.01 segundos. Para esto se debe mantener el valor de energía  $I^2t$  del fusible dado arriba del valor  $I^2t$  del fusible de menor capacidad instalado dentro del circuito que se considere.

- De acuerdo con lo anterior, la coordinación con fusibles incluye una comparación de curvas de fusión mínima y de interrupción total para corrientes que funden al elemento en tiempos mayores de 0.01 segundos y una comparación de valores de energía  $I^2t$  para corrientes que funden al fusible en tiempos de 0.01 segundos. Las curvas de corriente pico de entrada sirven para verificar que la energía de entrada al equipo que se protege con un fusible no sobrepase a la energía  $I^2t$  del equipo protegido.

## REFERENCIAS DE EQUIPOS PARA PROBAR FUSIBLES EXISTENTES EN EL MERCADO

Mediante la investigación de las siguientes referencias de equipos para comprobar las curvas de comportamiento de los fusibles de media tensión existentes en el mercado se pudo establecer las posibles características que debería tener el equipo y el principio de funcionamiento que debería tener para cumplir con el objetivo planteado, según:

- *Fuentes de corriente alterna programable*



**Gráfico N. 21:** Fuente de corriente alterna programable

**Elaborado por:** [http://es.wikipedia.org/wiki/fuente\\_decorriente](http://es.wikipedia.org/wiki/fuente_decorriente)

**Características:**

- Las fuentes programables F5-6, generan una onda senoidal ajustable en tensión, frecuencia y potencia.
- Estos equipos, permiten la verificación de equipos en producción, simulando las tensiones y frecuencias de trabajo en campo de los mismos. Si bien sus prestaciones no son las de un equipo de laboratorio, ya que no permiten calibración, pueden en muchas aplicaciones sustituir a éstos con una diferencia de coste muy notoria.
- Un LCD en el frontal, permite visualizar el estado del equipo y los parámetros fundamentales de uso, tales como tensión, corriente de salida, potencia suministrada, corriente de limitación del equipo y frecuencia entregada.

- *Fuentes alterna variable*



**Gráfico N. 22:** Fuente alterna variable

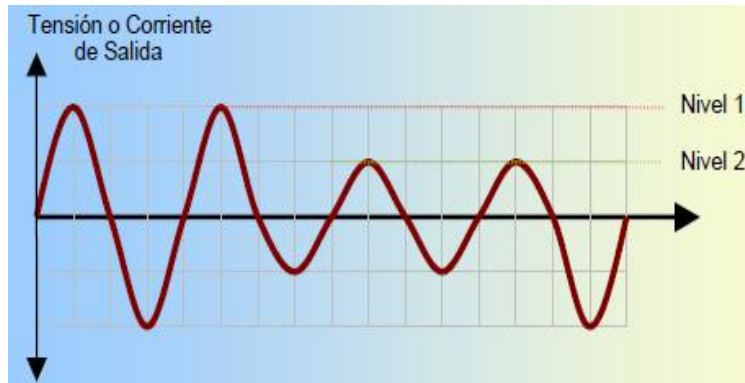
**Elaborado por:** <http://es.wikipedia.org/wiki/fuentealternavariab>

**Características:**

- Los modelos F5V, permiten variar la tensión alterna, procedente de red (50Hz), pero con la particularidad que permiten un control preciso de la tensión y corriente suministrada, e independientes de la tensión de entrada.
- Durante su construcción, intercalando un transformador 230v -Nv, se podrá suministrar una tensión variable de 0v hasta N, pero con

una corriente superior en 230/N a la de entrada. Un ejemplo de tales aplicaciones, son fuentes de 0 a 6v y 100 A de salida.

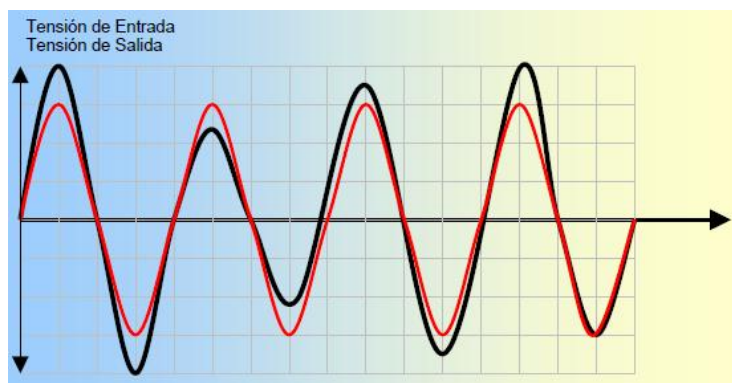
- Sus posibilidades de funcionamiento son:
  - Modo Tensión Variable.- el equipo permite seleccionar y alternar, entre dos referencias de tensión de salida y prefijar la corriente máxima a suministrar, si se supera esta, entraría en modo potencia constante. Un relé con salida exterior indicará tal situación.
  - Modo Corriente Constante.- en este caso se selecciona la corriente deseada y la tensión máxima a aplicar. En caso de requerir este valor, el relé de alarma realizaría la indicación. En estos dos modos de funcionamiento, el equipo permite efectuar ciclos automáticos de trabajo, es decir pasa de la Ref. 1 a la 2 cada cierto tiempo así varía la relación de tiempos entre ellas.
  - Modo Tensión Constante (Estabilizador).- permite realizar ensayos de hasta 99 ciclos, cada uno de hasta 99h 99min y 99seg de marcha-paro, a corriente constante, el equipo interrumpe y memoriza el ciclo y tiempo transcurrido al variar la corriente de salida un 10% del valor prefijado de ensayo.
  - Modo Remoto.- el gobierno del equipo se realiza externamente, vía RS232, desde un ordenador, en cuyo caso se pueden programar todos los parámetros y configurar los ensayos que se deseen.
- Cualquiera de estos modos, existen dos niveles de referencia, de modo que la tensión o corriente de salida podrán permutarse entre ambos. Bajo demanda, el control puede En efectuarse por RS-232



**Gráfico N. 23:** Modo de corriente o voltaje de salida

**Elaborado por:** <http://es.wikipedia.org/wiki/fuentedecorriente>

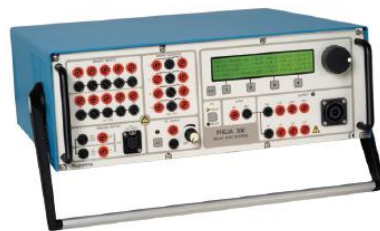
- El suministro de salida, puede inhibirse mediante un interruptor frontal, a la vez que puede habilitarse o no, un Soft - Start al arranque.
- Un LCD en el frontal, permite visualizar el estado del equipo y los parámetros fundamentales de uso, tales como tensión, corriente consumida, etc.



**Gráfico N. 24:** Curva de tensión entrada y tensión salida

**Elaborado por:** <http://es.wikipedia.org/wiki/fuentedecorriente>

- ***FREJA 300***



**Gráfico N. 25:** Freja 300

**Elaborado por:** FREJA

### Características:

- El FREJA 300™ es un sistema de simulación y ensayos de relé asistido por ordenador. El peso del FREJA 300™ es de sólo 15 kg. El hardware se ha diseñado para su uso en el lugar de trabajo sometido a un amplio espectro de temperaturas con la posibilidad de utilizar software inteligente para realizar un rápido ensayo, simulación y análisis para la protección de sistemas de potencia.
- El FREJA 300™ puede funcionar sin PC. Al ponerlo en modo Local es posible su utilización como producto único sin PC. Las entradas analógicas de bajo nivel (normalmente 0,01%) son de gran precisión y se han diseñado para mediciones de transductores. Las entradas de alto nivel pueden utilizarse como un amperímetro y un voltímetro normales.
- El FREJA 300™ puede generar 4x150 V, 82 VA y 3x15 A, 87 VA o con el amplificador externo opcional, CA3™, seis intensidades distintas. Cada salida puede modificarse independientemente y es posible superponer en amplitud y fase hasta cinco frecuencias. Se pueden realizar ensayos dinámicos y estáticos como, por ejemplo, generación de falta y prefalta, establecimiento de rampas simultáneas y la edición en forma de ondas.

– ***Fuente de poder de tensión CA/CD B10E***



**Gráfico N. 26:** Fuente de poder de tensión CA/CA

**Elaborado por:** <http://fuentedepoderdetension.com>

**Características:**

- Fuente de poder confiable y estable para prueba de interruptores de circuito.
- Salida variable continuamente de 24-250 VCA o CD.
- Salidas separadas para bobina de cierre, bobina de disparo y tensión de motor cargador de resorte.
- Disparo directo para prueba de tensión mínima de disparo.
- El B10E es un equipo de prueba portátil auto contenido diseñado específicamente para uso en subestaciones e instalaciones industriales, para probar interruptores de circuito de media tensión. Usando la tecnología más reciente, el B10E ofrece una fuente variable de CD libre de rizado para operar las bobinas del interruptor, y motores cargadores de resorte para evaluar la condición de estos aparatos con respecto a las especificaciones originales del fabricante.

**Análisis:**

Las características básicas que debería poseer el equipo de prueba de fusibles son las siguientes:

- Las magnitudes que se deben controlar y medir son: corriente, voltaje y tiempo.
- Contar un amplio rango de corriente para que se pueda realizar la prueba de fusibles de altos valores de corriente.
- Se deberá contar una base de datos que permita la elaboración de una gráfica que indique los valores de corriente vs tiempo.
- La corriente debe ser inyectada en forma gradual, lo que permitirá visualizarse de una mejor manera la operatividad de cada fusible.
- Establecer indicadores de encendido y apagado del equipo.
- Deberá tener valores de corriente entre 0 y 100 A y voltaje entre 0 y 6A.

- La presión deberá ser alta, ya que mientras mayor sea esta los datos obtenidos serán mucho más reales y adecuados para la mejor utilización de los fusibles en los sistemas de protección.
- El equipo deberá ser netamente de laboratorio, es decir se lo utilizara solo para la prueba de los fusibles mas no debe estar en campo.
- Fácilmente de manipular y operar por el personal que está encargado de la recepción de los fusibles.

## **EEASA**

### ***Misión***

“Suministrar Energía Eléctrica, con las mejores condiciones de calidad y continuidad, para satisfacer las necesidades de los clientes en su área de concesión, a precios razonables y contribuir al desarrollo económico y social”.

### ***Visión***

"Constituirse en empresa líder en el suministro de energía eléctrica en el país".

### ***Principios***

- Disponer de recursos humanos capacitados, motivados y comprometidos con los objetivos constitucionales.
- Practicar una gestión gerencial moderna, dinámica, participativa, comprometida en el mejoramiento continuo.
- Disponer de un sistema eléctrico confiable, utilizando tecnología adecuada.
- Tener procesos automatizados e integrados.

### ***Aspectos Generales***

La EEASA, fue fundada como compañía anónima en el año 1959. Desde esa fecha, excepto los cortos períodos de encargo, la han administrado únicamente 7



gerentes y/o presidentes ejecutivos, lo cual demuestra una **alta estabilidad y manejo técnico, cuyo evidente resultado es su alto posicionamiento en el contexto nacional, como Empresa Categoría A**, conforme a la clasificación realizada por el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables MEER;

El capital actual asciende a **USD 60'878.311,00**. De éste, el **63,44%** corresponde al Ministerio de Electricidad y Energías Renovables MEER, el **15,71%** al Consejo Provincial de Tungurahua, el **6,67%** al I. Municipio de Ambato y el resto a las entidades seccionales de Tungurahua, Pastaza, Morona Santiago, Napo y Cámaras de Comercio y de Industrias de Tungurahua;

**El área de concesión es de 40.805 km<sup>2</sup>, la más grande del País**, incluye a las Provincias de Tungurahua y Pastaza, en su totalidad; la parte sur de la provincia de Napo; y, los Cantones Palora, Huamboya y Pablo Sexto en la Provincia de Morona Santiago;

**El índice de penetración o servicio es el 97%, el más alto del País**, pues siempre se tuvo como objetivo social la atención a las áreas rurales.

### *Aspectos Técnicos*

El Sistema de Subtransmisión está constituido por 12 subestaciones a 69 KV/13.8 KV (10 Tungurahua, 1 Pastaza y 1 Napo), con una potencia total de 165 MVA. La longitud de las líneas a 69 KV, es de 139 Km, destacándose que:

- Para el cantón Ambato, se **construyó un anillo de subtransmisión a 69 KV, controlado a través de un Sistema SCADA.**
- La longitud de las **redes de media tensión es de 3.570 Km**; y, las de **baja tensión 6.053 Km**. Están instalados **9.558 transformadores de distribución** con una potencia total de **227.81 MVA**. Existen **46.531 luminarias** con una potencia total de **7.263 KW**.
- La **demanda máxima anual** en el año 2009, fue de **84.785 KW**.

- Están operativas una pequeña central hidráulica (La Península) con una potencia máxima de 3.000 KW y 2 grupos térmicos (Lligua) con una potencia efectiva de 2.600 KW.

### *Aspectos Comerciales*

Es importante realizar algunas precisiones:

- El Sistema Eléctrico Tena fue incorporado a la EEASA en junio del año 2004 y debido a sus muy altas pérdidas de energía (alrededor del 35%) incrementó al menos un punto el índice total de la Compañía. Igual situación de deterioro se presenta con la cartera.
- La clientela de la EEASA es mayoritariamente rural con consumos específicos muy bajos.
- En el Cantón Ambato se disponen de 5 puntos de recaudación: en el edificio central; y, las agencias Loreto, Shyris, Ficoa e Izamba con un total de 15 ventanillas. Adicionalmente, se dispone de agencias de recaudación en: Baños, Patate, Pelileo, Píllaro, Puyo y Palora; y, centros autorizados de recaudación, CAR, en Quero, Cevallos, Mocha, Tisaleo, Mera, Santa Rosa, Pilahuín, Quisapincha y Mercado América; y vía internet a través de su página web.
- Para controlar el consumo, reducir las pérdidas y mejorar las lecturas, se han reubicado a la parte exterior de las viviendas un 85% de los medidores de los clientes localizados en las áreas urbanas, utilizando el correspondiente blindaje (cajas de seguridad).
- Se dispone de un sistema de atención al cliente automatizado y enlazado **con todos los puntos de recaudación** a través de una red privada de comunicaciones, respaldado con un hardware de **alta disponibilidad**.

## **Hipótesis**

¿El equipo automático para comprobar las curvas de comportamiento (Corriente Vs Tiempo) de los fusibles de media tensión, permitirá tener correctamente protegidos los sistemas eléctricos?

## **Variables**

### **Variable independiente**

Diseño de un equipo automático.

### **Variable dependiente**

Curvas de comportamiento (Corriente Vs Tiempo) de los fusibles de media tensión.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **Enfoque**

El enfoque de este proyecto fue cualitativo-cuantitativo, ya que estuvo encaminado a determinar las causas de la problemática y orientado a la solución de esta. Por ello se realizó un estudio y medición de todas las variables que intervinieron en el diseño del equipo automático para comprobar las curvas de comportamiento (Corriente Vs Tiempo) establecidas en los fusibles de media tensión dentro de la Empresa Eléctrica Ambato.

El enfoque cualitativo, determinó los actores y principales afectados por el incumplimiento de los parámetros establecidos en las curvas de comportamiento de los fusibles de media tensión; el cual, ayudó a encontrar los problemas presentados por el personal técnico, tales como: desconocimiento de las características, modos de operación y aplicaciones reales de los elementos de protección, debido a la información errónea presentada en los catálogos. Haciendo el trabajo mucho más complejo de lo normal, por lo tanto es necesario realizar nuevas selecciones, conexiones y reemplazos de los equipos o transformadores.

La Empresa Eléctrica Ambato, presentó pérdidas de dinero, debido al inapropiado uso de los fusibles en los equipos y sistemas eléctricos, además la empresa no estuvo cumpliendo a cabalidad con la misión de suministrar un constante y eficiente servicio. Sin dejar a un lado a los usuarios, implicando para ellos suspensiones y daños en los aparatos eléctricos, problemas reflejados en el desarrollo de las actividades diarias.

El enfoque cuantitativo, buscó todas las características, causas y efectos que provocaron sistemas eléctricos parciales o completamente desprotegidos, trabajo infructuoso, reemplazos en el caso de no utilizar los fusibles correctos, uso inapropiado, desperdicio de tiempo y dinero, significando realizar nuevas adquisiciones de elementos de protección. Incluso provocar daños mayores como recalentamiento, explosión, destrucción o inadecuado funcionamiento de transformadores y equipos de protección.

### **Modalidad básica de la investigación**

#### ***Investigación de campo***

Para la realización de este proyecto se realizó una investigación de campo, en E.E.A.S.A. dentro del departamento encargado a las redes de distribución eléctrica de 13,8KV ubicada en la Av. 12 de Noviembre 11-29 y Espejo, utilizando para las protecciones de los sistemas eléctricos fusibles de media tensión de todo tipo entre ellos: H, T, K, Dual. En este establecimiento se conoció los problemas y dificultades encontradas en las curvas de comportamiento (Corriente Vs Tiempo) establecidas para los fusibles de media tensión, y las posibles causas que indican sistemas eléctricos, parciales o completamente desprotegidos, inapropiado uso de los fusibles, desperdicio de tiempo y dinero, daños mayores como recalentamiento, explosión, destrucción o inadecuado funcionamiento de transformadores y equipos de protección.

#### ***Investigación experimental***

Se consideró experimental en virtud de que se realizaron varias pruebas en la búsqueda del diseño mas idóneo del equipo automático, permitiendo determinar las reales curvas de comportamiento (Corriente vs Tiempo) de los fusibles de media tensión, teniendo como resultado un funcionamiento adecuado de los sistemas y equipos de protección eléctricos con lo cual se busca reducir el impacto económico y material para la Empresa.

### ***Investigación documental – bibliográfica***

La investigación bibliográfica facilitó conocer, ampliar, profundizar y comparar diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones de una variedad de autores sobre los fusibles de media tensión, características, capacidades, tipos, curvas de comportamiento reales que permitan tener sistemas de eléctricos correctamente protegidos para sustentar teóricamente las variables planteadas.

### ***Proyecto factible***

El desarrollo de la propuesta se pudo realizar, ya que se contó con la información de los fusibles de media tensión, necesidades, exigencias y misión de los sistemas de protección eléctricos, sin olvidarse de la ayuda del personal técnico y aprobación por la E.E.A.S.A; con ello, se pudo determinar las características, conexiones, materiales a utilizar y diseño del equipo automático para comprobar las curvas de comportamiento establecidas para los fusibles de media tensión. El diseño de este equipo contó con la asesoría directa del personal técnico del Departamento de Operación y Mantenimiento, quienes fueron pilares fundamentales para que se pueda cumplir con todas las características de funcionamiento del proyecto.

### **Nivel o tipo de investigación**

El nivel exploratorio permitió determinar todas las causas, factores predominantes para el mejoramiento y eliminación de las posibles deficiencias de los sistemas de protección eléctricos encontrados en las redes de distribución eléctrica de 13,8KV debido al incumplimiento de las curvas de comportamiento (Corriente Vs Tiempo) establecidas para los fusibles de media tensión. Se pasó al nivel descriptivo cuyo fin fue realizar una profundización de las variables independiente y dependiente las cuales nos permitieron tener una visión mucho más clara de las posibles, características, capacidades, modos de operación, conexiones, lista de materiales y diseño y planos que deberá tener el equipo automático.

En el nivel correlacional se buscó técnicas, normas, formas, procedimientos que nos ayudarán a realizar un análisis mucho más extenso de los requisitos, especificaciones, elementos, modos de operación, entradas y salidas de corriente, indicadores que se deberán tener en cuenta en el diseño del equipo automático para comprobar fusible de media tensión. Permittiéndonos hacer comparaciones entre lo que esta pasando y lo que pudo, mejorar, ayudar, economizar, si se dio paso a la solución de dicho problema.

## **Población y muestra**

### ***Población***

En la presente investigación la población se constituyó por: el Director del Departamento de Operaciones y Mantenimiento y el personal técnico del mismo, pues el trabajo es netamente experimental y se apoyará de las diferentes pruebas que se registren hasta la obtención del funcionamiento correcto del equipo.

**Tabla N. 7:** Población

<b>Población</b>	<b>Cantidad</b>
Director Departamento de Operaciones y Mantenimiento	1
Personal Técnico	1
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>

### ***Muestra***

Al contar con un número reducido de poblacion, los integrantes de la misma pasará a ser parte de la muestra a estudiar.

*Operacionalización de las variables*

**Tabla N. 8:** Operacionalización de las Variable Independiente (\*)

<b>OPERACIONALIZACIÓN: Objeto N°01: Variable Independiente</b>				
<b>Conceptualización</b>	<b>Categorías</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítems</b>	<b>Téc- Inst.</b>
Es un equipo de prueba de fusibles, capaz comprobar protecciones de sobreintensidad o de máxima / mínima tensión. Se podrá conocer el tiempo en que el fusible deja de funcionar.	Protección  Sobreintensidad  Tiempo de funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resiste los cortocircuitos.</li> <li>- Evita el reemplazo, explosión, destrucción de transformadores.</li> <li>- Niveles de interferencia y contaminación.</li> <li>- Manejo de niveles de voltaje.</li> <li>- Capacidades de trabajo.</li> <li>- Corrientes Nominales</li> <li>- Constante paso de corriente.</li> <li>- Sobrecargas</li> <li>- Corriente de fusión del fusible</li> </ul>	<p>¿En los sistemas de protección tiene cortocircuitos por desconexión con disparo instantáneo?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si</li> <li>• No</li> </ul> <p>Los niveles de interferencia y contaminación se da entre:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Equipos y aparatos</li> <li>2. Componentes y accesorios</li> <li>3. seres humanos</li> </ol> <p>¿Que tipo de sobrecargas se tienen?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• por desconexión térmica retardada</li> <li>• muy elevadas</li> </ul>	<p><b>Técnica:</b> Entrevista</p> <p><b>Instrumento:</b> Guia de Entrevista</p>



**Tabla N. 9:** Operacionalización de las Variable Dependiente (\*)

<b>OPERACIONALIZACIÓN: Objeto N°02: Variable Dependiente</b>				
<b>Conceptualización</b>	<b>Categorías</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítems</b>	<b>Téc- Inst.</b>
<p><b>Corriente-tiempo promedio.-</b> Presentan la relación entre la corriente simétrica rcm aplicada y el tiempo promedio en que opera el fusible. El punto donde cada curva deja de ser continua, corresponde aproximadamente a la corriente mínima de interrupción que el fusible puede interrumpir con plena seguridad.</p> <p><b>Limitación de corriente.-</b>Estas curvas muestran los valores máximos de la corriente pico instantánea de paso libre que cada fusible permite circular bajo condiciones de falla para diferentes corrientes de corto circuito.</p>	<p>Relación Corriente Vs Tiempo Tiempo promedio de operación. Curva continua Corriente mínima de interrupción Valores máximos corriente pico.</p>	<p>– Sistemas protegidos – Seguridad – Suministro eléctrico constante. – Control de calidad. – Proporciona uso más eficiente de los equipos eléctricos. – Ahorro de tiempo y dinero. – Alta capacidad de interrupción. – Interrupción de corrientes de falla.</p>	<p>¿Cómo se protegen los sistemas eléctricos? ¿Qué factores se toman en cuenta en las curvas de operación? • corriente – tiempo • corriente de paso • corriente presunta • corriente nominal Señale los tipos de curvas de disparo que conozca: • B D • C Z</p>	<p><b>Técnica:</b> Entrevista <b>Instrumento:</b> Guia de Entrevista</p>

## CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### Recolección de la información

#### *Plan de recolección de la información*

Para la recolección de la información que será un pilar importante, predominante y necesaria para el desarrollo de esta investigación, se dirigirá una entrevista al Directo del Departamento de Operación y Mantenimiento de la E.E.A.S.A., lugar que permitió constatar el incumplimiento de las curvas de comportamiento (Corriente Vs Tiempo) establecidas para los fusibles de media tensión.

La entrevista estará orientada al conocimiento e información de los efectos que traen las curvas de comportamiento (Corriente Vs Tiempo) establecidas para los fusibles de media tensión y las posibles causas del incumplimiento de las curvas e inapropiado uso de estos fusibles en los sistemas de protección eléctricos y por ende en las redes de distribución eléctrica de 13,8KV.

**Tabla N. 10:** Técnicas de procesamiento de información (\*)

<b>Tecnicas</b>	<b>Actividades – Involucrado</b>
<b>Observacion</b>	– En el laboratorio
<b>Entrevista</b>	– Director del Departamento de Operaciones y Mantenimiento
<b>Experimentacion</b>	– Con el armado del equipo piloto

### ***Procesamiento de la información***

Para el procesamiento de la información se utilizó herramientas informáticas que permitieron la tabulación de cada una de las preguntas realizadas en la entrevista. Realizando las siguientes actividades:

- Revisión de la información recogida.
- Se analizará los resultados obtenidos, destacando tendencias o relaciones fundamentales de acuerdo a los objetivos del tema.

### **Análisis de los Resultados**

#### ***Interpretación de datos de la Entrevista Realizada***

- **Pregunta N°01:** ¿En los Sistemas de Protección tienen cortocircuito por disparo instantáneo?
- **¿A quién?:** Director del Departamento de Operaciones y Mantenimiento

**Respuesta:** NO

#### **Análisis:**

Los sistemas de protección utilizados en la EEASA, carecen de un cortocircuito de disparo instantáneo.

- **Pregunta N°02:** ¿Qué tipo de sobrecarga se tiene?

**Respuesta:** Las sobrecargas presentadas en los sistemas de protección son tanto por desconexión térmica retardada y muy elevadas.

### **Análisis:**

Los tipos de sobrecargas que se presentan en los sistemas de protección manejados en la EAASA son tanto por: desconexión térmica retarda y muy elevadas por dicha razón se deberá utilizar los fusibles para evitar que las sobrecargas dañen principalmente la aislación de los cables de la instalación eléctrica y también pueden dañar los bobinados de los motores conectados a la misma. Por ende se deberá siempre conocer los reales valores de corriente y fusión.

- **Pregunta N°03:** ¿Qué factores se tomen en cuenta en las curvas de operación de los fusibles?

**Respuesta:** Los factores a tomar considerar son la Corriente y Tiempo.

### **Análisis:**

En la entrevista realizada mencionan que los factores que deben ser comprobados y se deben indicar son tanto la corriente como el tiempo de fusión de los fusibles de media tensión, ya que mediante dichos valores se podrá evitar la instalación equivocada de estos elementos en los sistemas y equipos de protección.

- **Pregunta N°04:** ¿Cuáles son los daños más frecuentes en los equipos o sistemas de protección?

**Respuesta:** Los daños presentados en lo equipos son: el recalentamiento de elementos y destrucción de transformadores.

**Análisis:**

Entre los daños frecuentes se cita el recalentamiento de elementos y destrucción de transformadores permitiendo concluir que los inconvenientes causados se traducen a pérdidas de tiempo y dinero, adicionalmente se ve reflejado en el nivel de servicio que la Empresa ofrece siendo este deficiente ya que al tener estos problemas se podría tener suspensión en el servicio eléctrico.

- **Pregunta N°05:** ¿Indique los tipos de curvas de disparo que conoce?

**Respuesta:** La Curva de Disparo tipo B

**Análisis:**

La curva de disparo seleccionada corresponde a la B, dicha curva está dada por los siguientes valores de disparo magnético entre  $3I_n$  y  $5I_n$  cuya aplicación se orienta a la protección de cables eléctricos.

- **Pregunta N°06:** Los niveles de interferencia y contaminación se dan entre:

**Respuesta:** Se presentan en los: equipos y aparatos y seres humanos

**Análisis:**

Los niveles de interferencia y contaminación se presentan principalmente entre los equipos y aparatos y los seres humanos, para que estos sean mínimos se deben establecer equipos de protección que cumplan con los valores de corriente adecuados.

- **Pregunta N°07:** ¿Cuáles son los problemas más frecuentes que se dan por no disponer de un equipo para probar fusibles?

**Respuesta:** Los problemas más frecuentes son:

- Mala coordinación de protecciones
- Protección inadecuada de equipos
- Mal funcionamiento de los relés de protección

**Análisis:**

Entre los principales problemas que el personal del Departamento de Operaciones y Mantenimiento tiene al no contar con un equipo de prueba de fusibles están la mala coordinación de las protecciones, la inadecuada protección de los equipos y el mal funcionamiento de los relés de protección. Provocando molestias y falla en las operaciones de cada equipo.

- **Pregunta N°08:** Entre las siguientes características de un equipo de prueba de fusibles, indique las más importantes:

**Respuesta:** Alta capacidad de respuesta y conexiones fáciles de realizar.

**Análisis:**

Las características que se indica deben ser las principales esta la capacidad de respuesta esperando que esta sea la ideal, indique valores reales y en tiempo real, adicionalmente que las conexiones sean las más adecuadas es decir que sean fáciles de hacerse ya que en el caso de alguna avería sea posible su reparación.

- **Pregunta N°09:** ¿En el equipo automático que magnitudes se deberían medir?

**Respuesta:** Corriente y Tiempo

**Análisis:**

Las magnitudes a medirse en el prototipo deben ser la corriente y tiempo, con dichas variables se podrá tener una guía y fundamentación para la instalación y utilización de los fusibles en los sistemas y equipos de protección.

- **Pregunta N°10:** ¿Qué ventajas debería proporcionar el equipo automático para comprobar fusibles de media tensión?

**Respuesta:** Las principales ventajas:

- Datos correctos y reales de los fusibles en cuanto corriente y tiempo de fusión
- Valores medidos inmediatos y en tiempo real
- Fácil manejo
- Manejable

**Análisis:**

El equipo para probar fusibles deberá tener ventajas tales como proporcionar datos correctos y reales, valores medidos inmediatos en tiempo real, fácil manejo y manejable las que permitirán cumplir con el objetivo de comprobar las curvas de comportamiento (corriente vs tiempo). Los valores de corriente y tiempo de fusión deben indicarse inmediatamente culminada la prueba de dicho fusible.

- **Pregunta N°11:** ¿Cuáles serían las herramientas o equipos se deben utilizar para la construcción del equipo automático?

**Respuesta:** Las herramientas a utilizarse son:

- Bobinadora
- Cortadora
- Soldadora
- Amperímetro
- Taladro

**Análisis:**

Las herramientas que se deben tener para la construcción del equipo son los siguientes: bobinadora, soldadora, taladro, amperímetro y cortadoras, que permitirán cumplir con las características solicitadas por la EEASA.

- **Pregunta N°12:** ¿Cuál sería el principio de funcionamiento del equipo para probar fusibles?

**Respuesta:** En principio se inyectaría alimentación al transformador, el mismo que suministra corriente a los fusibles (de prueba) hasta su colapso midiendo el tiempo para esta acción.

**Análisis:**

La base del funcionamiento del equipo debe ser la inyección de corriente para lo cual se deberá crear un transformador el mismo deberá generar una corriente entre 0 y 100 A dicho se regulan mediante un mecanismo que permita la alimentación de valores ascendentes de corriente al fusible de prueba, adicionalmente se deberá indicar el valor de corriente y tiempo en que colapso el elemento protector.



- **Pregunta N°13:** ¿Enumere las características que debería tener el equipo automático?

**Respuesta:** Precisión, operatividad y fácil manejo

**Análisis:**

El equipo debe contar con las siguientes características: *precisión*.- permitirá conocer los valores exactos y reales para un adecuado uso de los elementos de protección, *operatividad*.- capacidad de comprobar los valores indicados en los catálogos entregados por los fabricantes de fusibles y *fácil manejo*.- que permita el manejo y manipulación del equipo por parte del personal encargado del ingreso de fusibles a la Bodega.

- **Pregunta N°14:** ¿Por qué la Empresa no cuenta con este equipo para realizar los trabajos de prueba de fusibles?

**Respuesta:** Porque a nivel nacional no ha existido interés en investigar lo relacionado con el uso adecuado de los fusibles.

**Análisis:**

El no contar con un equipo de prueba no solo es un inconveniente que presenta la EEASA, si no que a nivel nacional tanto se ha mostrado interés en la adquisición de dicho equipo, ya que se cree ciegamente en las características presentadas en los catálogos y no ha existido la proyectos que permitan establecer un método de uso adecuado de los fusibles.

- **Pregunta N°15:** ¿Cuáles serían los riesgos que presenta el personal técnico cuando manipula los fusibles de media tensión?

**Respuesta:** Ninguna ya que no deberían ser utilizados por los operadores, excepto para las pruebas donde se deberá mantener una distancia de 3m.

**Análisis:**

Los riesgos posibles al manipular los fusibles es nula, pero cuando se estén realizando las pruebas los operadores deben mantenerse a una distancia de 3m del equipo, ya que al inyectarse la corriente en los fusibles se genera una pequeño arco cuando este se funde, razón por la cual para evitar cualquier accidente se deberá considerar dicha recomendación.

- **Pregunta N°16:** ¿Qué beneficios tendría la Empresa con la implementación de este equipo?

**Respuesta:** Los beneficios brindados:

- Comprobar la curva de operación de los fusibles.
- Coordinación confiable de las protecciones.
- Entrega de un servicio adecuado a los usuarios.

**Análisis:**

Los beneficios que tendría la EEASA con la implementación del equipo están el poder comprobar las curvas de operación de los fusibles, la coordinación confiable de las protecciones y la entrega de un servicio adecuado a los usuarios, encaminando el diseño, construcción y pruebas al cumplimiento de los objetivos y beneficios planteados.

- **Pregunta N°17:** ¿Cuáles son los niveles de voltaje y corriente que se van a manejar en este equipo?

**Respuesta:** De corriente: 0 - 100 A y voltaje: 0 - 10 V

**Análisis:**

Los valores de voltaje que se manejarán están entre 0 y 10 V y los valores de corriente entre 0 y 100A valores que se establecieron en función de los fusibles utilizados en la EEASA siendo estos fusibles de hasta 100 A (LUHFSER), pero en muchos de los casos el fusible de 100A no se fundirá con dicho valor se tendrá que establecer una más\menos de 20A para poder cumplir con el propósito de inyectar corriente hasta que el fusible colapse.

- **Pregunta N°18:** Cite algunas características adicionales que podría tener el equipo:

**Respuesta:** Las características serían:

- Aplicar el amperaje
- Colocar una cámara para excitación de arco (Fundición del fusible)
- Almacenamiento de información

**Análisis:**

El equipo debe poseer características fácilmente mejorables que permitan obtener un mayor control y manejo de los valores presentados en las pruebas realizadas. Adicionalmente se pretende poseer una base de datos o histórico que sirva como información complementaria para la presentación de resultados.

- **Pregunta N°18:** ¿Qué tipo de fusibles de media tensión utilizados en la Empresa se van a comprobar en el equipo?

**Respuesta:** Tipo dual, K, H, T.

**Análisis:**

Los tipos de fusibles Dual, K, H, T son utilizados en la Empresa por dicha razón las pruebas se realizan con estos fusibles, las variables establecidas en las curvas de comportamiento como corriente y tiempo de fusión deben ser comprobadas y demostradas, en base a las características y parámetros para la obtención de dichas gráficas.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones**

- En la Empresa Eléctrica Ambato S.A. se logró establecer que no se cuenta con valores reales de corriente y tiempo de fusión de los fusibles de media tensión utilizados en los sistemas y equipos de protección; por dicha razón, se deberá contar con un equipo; el cual, permita conocer las verdades características de los elementos de protección.
- Los daños presentados tales como: recalentamiento de elementos, inadecuado funcionamiento y protección de los equipos y en ciertos casos transformadores, los cuales, conforman o son parte de los sistemas de protección, permitieron establecer los parámetros a considerar para la construcción del equipo de prueba de fusibles, a fin de reducir o eliminar los problemas ocasionados por el inadecuado uso de los fusibles.
- Se considerará las normas (IRAN y NEMA), reglas establecidas para los sistemas de protección, elementos de maniobra y fusibles de media tensión, a considerarse para el trabajo y manipulación.
- Las curvas de comportamiento de los fusibles de media tensión deben ser comprobadas en función a la corriente y tiempo, valores que deberán ser inyectados gradualmente para poder visualizar la manera como se incrementa el valor de corriente hasta lograr la fusión completa del elemento protector. Se deberá generar una nueva curva de operación con los valores obtenidos durante las pruebas realizadas, tales datos permitirán establecer las formas reales de las curvas; las cuales, permitirán identificar el funcionamiento y aplicación de los fusibles, a fin de conseguir una oportuna y adecuada protección de los sistemas y equipos eléctricos.

## **Recomendaciones**

- Se indique al personal encargado del ingreso de nuevos fusibles a la Bodega de la EEASA, la comprobación de los valores de corriente y tiempo de fusión indicados en los catálogos proporcionados por los fabricantes.
- Se designe un área, el tiempo adecuado y número de revisiones a efectuarse, de las características presentadas por los fusibles de media tensión.
- Se informe al personal las características, aplicaciones y forma seguras de manipulación de los fusibles antes de la utilización en equipos y sistemas de protección.
- Se conozca los niveles de corriente y voltaje manejados en los sistema de protección; es decir, los valores reales a circular por cada elementos y equipo que necesita la instalación de un fusible de media tensión.
- Se cuente con un histórico o base de datos con el comportamiento y operación de los fusibles; para con ello, establecer la posible reacción de los elementos de protección en el lugar que se desee instalarlos.
- Se implante el equipo de prueba de fusibles para comprobar las características de corriente y tiempo de fusión, el cual determinara el funcionamiento y aplicación adecuada de los elementos de protección en los sistemas de suministro eléctrico.
- Se realice charlas y/o capacitaciones al personal encargado de la manipulación de los fusibles; la cual, permita tener una visión mucho más clara de los métodos, técnica y procedimientos a utilizar para la comprobación de las características de funcionamiento y operación de los elementos de protección.

## **CAPÍTULO VI**

### **LA PROPUESTA**

#### **Datos informativos**

- **Tema:** “ELABORACIÓN DE UN EQUIPO AUTOMÁTICO PARA COMPROBAR LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO (CORRIENTE Vs TIEMPO) ESTABLECIDAS PARA LOS FUSIBLES DE MEDIA TENSIÓN EN LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO”
- **Institución ejecutora:** Empresa Eléctrica Ambato S.A.
- **Beneficiarios:** Departamento de Operaciones y Mantenimiento.
- **Ubicación:** Provincia de Tungurahua, cantón Ambato, parroquia La Matriz, calles Av. 12 de Noviembre 11-29 y Espejo.
- **Tiempo estimado para la ejecución: Inicio:** Julio/2010 – **Fin:** Julio/2011.
- **Equipo técnico responsable:** Ing. Luis Pomaquero, Ing. Iván Naranjo.
- **Costo:**

#### **Antecedentes de la propuesta**

Empresa eléctrica Ambato S.A. no cuenta con un equipo de prueba de fusibles, la adquisición e ingreso a Bodega de los fusibles de media tensión se realiza sin la debida verificación de las características indicada en los catálogos entregados por los fabricantes. Es importante mencionar que el poco o nulo conocimiento del funcionamiento y aplicación de los fusibles debido al desconocimiento de valores reales de corriente y tiempo de fusión provocan que los problemas tales como recalentamiento de los elementos de protección, destrucción de los

transformadores den como resultado una mala coordinación de las protecciones y un ineficiente servicio eléctrico a los usuarios. En la Empresa no se ha realizado ningún proyecto para la construcción de un equipo de prueba que permita minimizar el desperdicio de tiempo y dinero que implican dichos problemas.

### **Justificación**

El diseño y construcción de un equipo para comprobar las curva (corriente vs tiempo) es el principio para que el personal de la EEASA realice una utilización más adecuada de los fusibles en los sistemas y equipos de protección, logrando reducir problemas como recalentamiento de elementos de protección, destrucción de transformadores, mala coordinación de los sistemas y más inconvenientes que se presentan. Este equipo permitirá la visualización y presentación de valores reales de corriente y tiempo de fusión, con lo cual se podrá direccionar de una manera más adecuada el sistema en donde se utilizará cada elemento de protección.

La importancia de realizar una entrevista al Director del Departamento de Operaciones, se ve reflejada en poder conocer las necesidades, inconvenientes y posibles características constructivas y operativas del equipo de prueba de fusibles. Mediante una investigación comparar los equipos ya existentes en el mercado y establecer las magnitudes a medirse, los valores tanto de corriente como voltaje máximos y mínimos que se manejarán en el equipo. La información proporcionada ayudó a tener una vista preliminar sobre las necesidades y propósito del diseño y construcción del prototipo, encaminado a la obtención de información real.

El equipo de prueba permitirá crear en el personal que manipula y realiza el ingreso a Bodega de fusibles de media tensión, una cultura de revisión y verificación de cada paquete adquirido, con ello se realizará una comparación entre los valores y formas de las curvas indicados en los catálogos de fabricantes con los indicados en las pruebas efectuadas. Siendo una tarea que encamina de



mejor manera la utilización, vida útil y operatividad de cada sistema y equipo de protección establecido en las redes de distribución de energía eléctrica.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

- Elaborar un Equipo Automático para comprobar las curvas de comportamiento (Corriente Vs Tiempo) de los fusibles de media tensión en la Empresa Eléctrica Ambato.

### ***Objetivos Específicos***

1. Establecer las características y principio de funcionamiento del equipo automático para probar fusibles que permitan al personal conocer los reales valores de tiempo y corriente de fusión.
2. Investigar los métodos, técnicas y procedimientos necesarios para la construcción interna que permitan la generación del campo magnético (corriente) que se inyectará a los fusibles de media tensión.
3. Determinar los materiales, equipos y formas de entrega de información que servirán para la construcción y posterior prueba de los tipos de fusibles DUAL, T, H y K, logrando la comprobación de las curvas de comportamiento de cada uno de ellos.

## **Análisis de factibilidad**

### ***Política***

La empresa posee una gestión gerencial moderna, dinámica, participativa y comprometida en el mejoramiento continuo y disposición de un sistema eléctrico

confiable, mediante procesos automatizados e integrados; los cuales, utilizan tecnología adecuada, y recursos humanos capacitados, motivados y comprometidos con los objetivos constitucionales.

### ***Tecnológica***

Es posible desarrollarlo, porque se dispone de los conocimientos y habilidades en el manejo de equipos, materiales y software que permitan la realización del equipo automático. Adicionalmente se cuenta con la disponibilidad de los elementos que se utilizan en la Empresa para su posterior análisis.

### ***Organizacional***

Este aspecto es posible, porque la EEASA cuenta con una estructura funcional y divisional de tipo formal que apoya y facilita los proyectos de mejora y actualización de equipos y métodos que se encuentran relacionados con las posibles necesidades de la propuesta planteada.

### ***Económico – financiera***

Con el desarrollo de la propuesta planteada se podrá tener una optimización de los elementos protección (fusibles); por ello, se utilizaran en los sistemas y equipos adecuados dando como resultado un eficaz y eficiente servicio eléctrico a los usuarios.

La propuesta elaborada deberá ser analizada y aprobada por los beneficiarios (Departamento de Operación y Mantenimiento), a fin de obtener capital en efectivo necesario para la adquisición de los materiales y equipos utilizados para el diseño y construcción del equipo automático.

## **Fundamentación científico – técnica**

El equipo automático para comprobar las curvas de comportamiento (Corriente Vs Tiempo) de los fusibles de media tensión es un diseño completo y automático, que incluye la verificación y comprobación de las magnitudes establecidas y permitiendo la adecuación de nuevas herramientas para el mejoramiento de las características propias tales como: niveles de corriente y voltaje mayores a los descritos inicialmente, incremento de variables de medida como temperatura en el momento de la fusión y la resistencia que se genera cuando se realiza la respectiva inyección de corriente en el proceso de prueba. El objetivo de esta propuesta es el correcto uso de los fusibles de media tensión siempre hacia el mejoramiento y cumplimiento de la operatividad de los sistemas de protección. Además involucra la investigación técnica, experimentación y uso de herramientas y materiales que permitan obtener medidas en tiempo real. Debe establecerse como política de ingreso de nuevos fusibles la revisión y verificación de los mismos con la ayuda y operación del equipo que compruebe los valores indicados en los catálogos.

### **Metodología: Modelo Operativo**

## **DISEÑO DE UN EQUIPO AUTOMÁTICO PARA COMPROBAR LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO (CORRIENTE VS TIEMPO) EN LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO**

### **Introducción**

El diseño y construcción del equipo para comprobar las curvas de comportamiento (corriente vs tiempo) de los fusibles de media tensión en la Empresa Eléctrica Ambato, tiene como principal objetivo, conocer mediante las pruebas realizadas encontrar los valores reales de corriente y tiempo de fusión.

Para el desarrollo de la propuesta se utilizará métodos, técnicas, procedimientos, herramientas, materiales y equipos tales como: amperímetro, transformador de

corriente, DAQ (Tarjeta de adquisición de datos), selectores, resistencias variables permitiendo la estructuración y funcionamiento del equipo.

El principio de funcionamiento se basa en la generación de datos, posterior a la inyección de corriente hacia el fusible de prueba; donde, los niveles de corriente dependerán de un mecanismo de regulación, definido por el valor de corriente que especifique el fusible.

El presente equipo está encaminado al mejoramiento, adecuación de nuevos elementos y variables de medida, razón por el cual lo hace totalmente flexible. Adicionalmente, es posible ampliar el rango de generación de corriente, permitiendo la prueba de fusibles de mayor valor y de diversos tipos de elementos de protección.

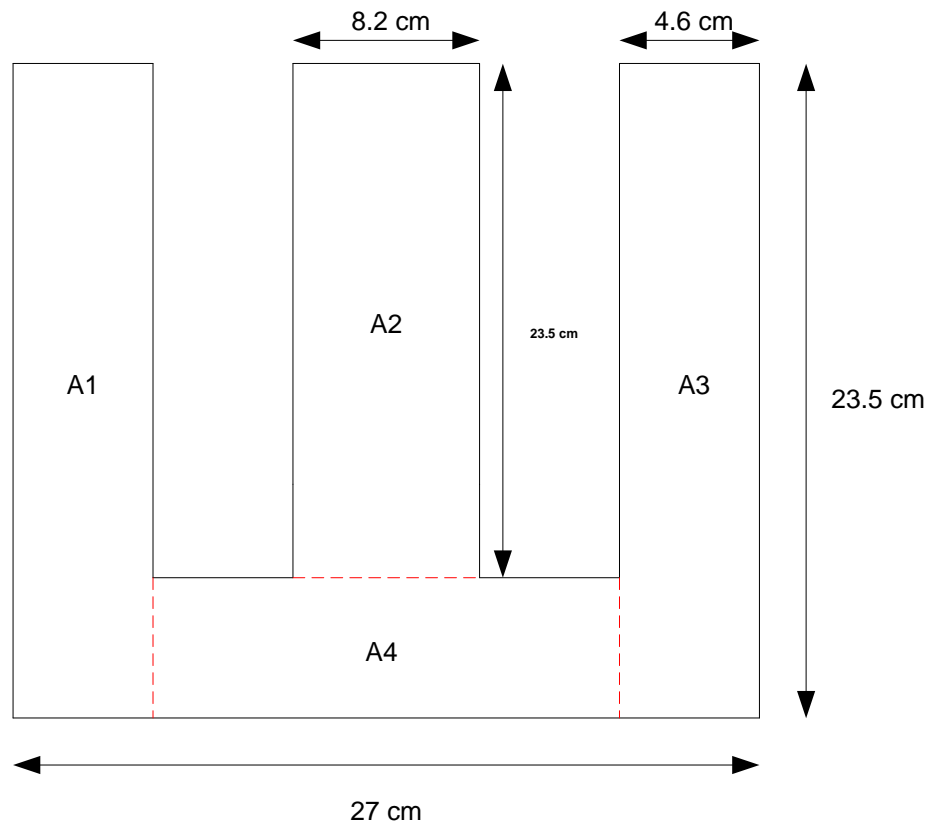
## **Desarrollo de la Propuesta**

### **Caracterización del diseño**

#### ***– Selección de la estructura interna del equipo***

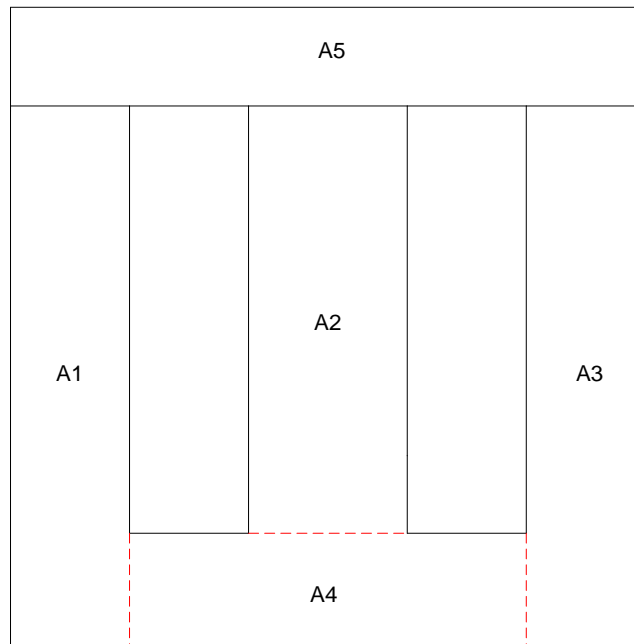
**1.-** La estructura interna del equipo obedece a la constitución de un transformador eléctrico normal, pero se realiza las respectivas adecuaciones según las necesidades del proyecto, así:

- Consta de un núcleo de hierro silicio:



**Gráfico N. 27:** Estructura Interna del núcleo (\*)

- Para realizar el cierre del núcleo se establece lo siguiente:



**Gráfico N. 28:** Estructura interna completa núcleo (\*)

El área comprendida del núcleo está dada por lo siguiente:

$$A1 = 23.5 * 4.6$$
$$A1 = 108.1 \text{ cm}^2$$

$$A2 = 18.9 * 8.2$$
$$A2 = 154.98 \text{ cm}^2$$

$$A3 = A1$$

$$A5 = 27 * 4.6$$
$$A5 = 124.2 \text{ cm}^2$$

$$A4 = (4.8 + 4.8 + 8.2) \text{ cm} * 4.6$$
$$A4 = 81.88 \text{ cm}^2$$

$$\text{Sección _ núcleo} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$
$$= 557.28 \text{ cm}^2$$

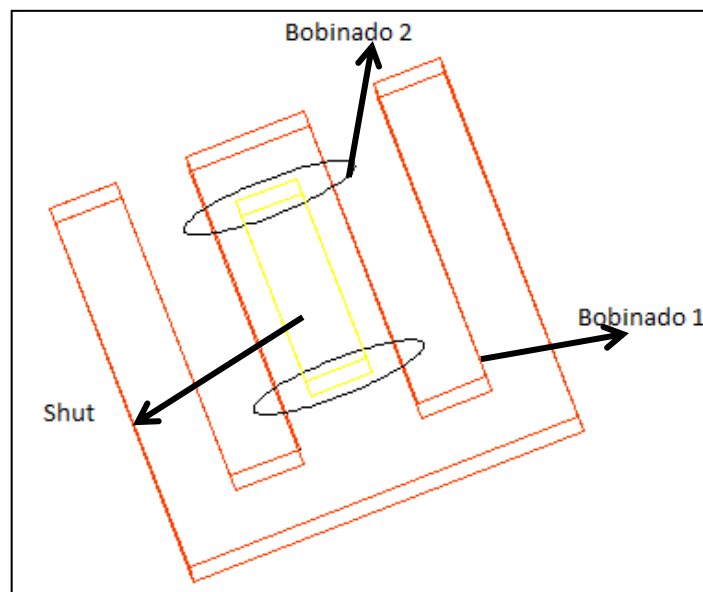
#### **Componentes del núcleo:**

- *Hierro.*- El hierro puro tiene una dureza que oscila entre 4 y 5. Es blando, maleable y dúctil. Se magnetiza fácilmente a temperatura ordinaria; es difícil magnetizarlo en caliente, y a unos 790 °C desaparecen las propiedades magnéticas. Químicamente el hierro es un metal activo. Se combina con los halógenos (flúor, cloro, bromo, yodo y astato) y con el azufre, fósforo, carbono y silicio. La formación de orín es un fenómeno electroquímico en el cual las impurezas presentes en el hierro interactúan eléctricamente con el hierro metal. Se establece una pequeña corriente en la que el agua de la atmósfera proporciona una disolución electrolítica.
- *El silicio* es un semiconductor; su resistividad a la corriente eléctrica a temperatura ambiente varía entre la de los metales y la de los aislantes. La conductividad del silicio se puede controlar añadiendo pequeñas cantidades de impurezas llamadas dopantes. La capacidad de controlar las propiedades eléctricas del silicio y su abundancia en la naturaleza han posibilitado el desarrollo y aplicación de los transistores y circuitos integrados que se utilizan en la industria electrónica.

*El acero de silicio, que contiene de 2,5 a 4% de silicio, se usa para fabricar los núcleos de los transformadores eléctricos, pues la aleación presenta baja histéresis.*

2.- Adecuacion de las bobinas a utilizar en el núcleo de hierro silicio.

Para las generación del campo magnético, se establece colocar en el centro del núcleo de hierro silicio los bobinados encargados de inyectar la corriente para la prueba de los fusibles. Así:



**Gráfico N. 29:** Estructuración del núcleo y bobinados (\*)

### *Características fundamentales en los bobinados*

- *Magnetismo.*-La manifestación más conocida del magnetismo es la fuerza de atracción o repulsión que actúa entre los materiales magnéticos como el hierro. Sin embargo, en toda la materia se pueden observar efectos más útiles del magnetismo.
- *Las líneas de fuerza magnética forman lazos cerrados.*-las líneas existen dentro del imán y continúan externamente hasta cerrar el lazo.
- *Las líneas son direccionales.*-todas las líneas emergen de un área general del imán, el polo norte y vuelve a entrar por un área diferente.

Internamente, la dirección de las líneas es sur a norte; externamente, norte a sur.

- *Las líneas no se interceptan.*-dos líneas no pueden ocupar el mismo espacio o pasar a través de un punto común.
- *Las líneas se repelen mutuamente.*-dos líneas de inducción cercanas experimentan fuerzas que tienden a separarlas (polos iguales se repelen).
- *Las líneas son tensionables.*-la trayectoria de una línea de fuerza esta determinada por el balance entre las adoptar la trayectoria mas corta posible.
- *Las líneas buscan caminos de baja reluctancia.*- la reluctancia se opone a la creación de líneas de fuerza. Los materiales ferromagnéticos poseen baja reluctancia.
- *Reluctancia.*-Resistencia que ofrece un circuito al flujo magnético.
- *El campo magnético.*- Los campos magnéticos suelen representarse mediante ‘líneas de campo magnético’ o ‘líneas de fuerza’. En cualquier punto, la dirección del campo magnético es igual a la dirección de las líneas de fuerza, y la intensidad del campo es inversamente proporcional al espacio entre las líneas.

En los extremos del imán, donde las líneas de fuerza están más próximas, el campo magnético es más intenso; en los lados del imán, donde las líneas de fuerza están más separadas, el campo magnético es más débil.

Los campos magnéticos influyen sobre los materiales magnéticos y sobre las partículas cargadas en movimiento. En términos generales, cuando una partícula cargada se desplaza a través de un campo magnético, experimenta una fuerza que forma ángulos rectos con la velocidad de la partícula y con la dirección del campo. Como la fuerza siempre es perpendicular a la velocidad, las partículas se mueven en trayectorias curvas. Los campos magnéticos se emplean para controlar

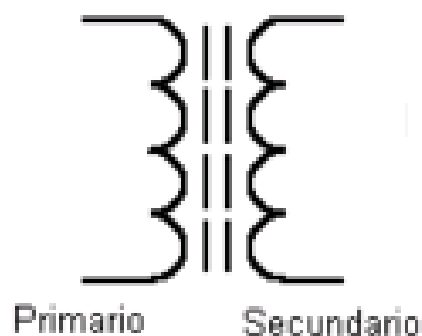


las trayectorias de partículas cargadas en dispositivos como los aceleradores de partículas o los espectrógrafos de masas.

*El silicio, es un elemento semimetálico. El acero de silicio, que contiene de 2,5 a 4% de silicio, se usa para fabricar los núcleos de los transformadores eléctricos, pues la aleación presenta baja histéresis, El silicio es un semiconductor; su resistividad a la corriente eléctrica a temperatura ambiente varía entre la de los metales y la de los aislantes.*

**Los Bobinados (devanados) utilizados en la estructuración son:**

- Las bobinas con *núcleo magnético cerrado* son las *más susceptibles* de captar ruido externo. Le siguen las de núcleo magnético cerrado y las de núcleo de aire.



**Gráfico N. 30:** Bobinados (\*)

**3.-** Shut magnético variable para la regulación de la corriente generada en el núcleo de hierro silicio.

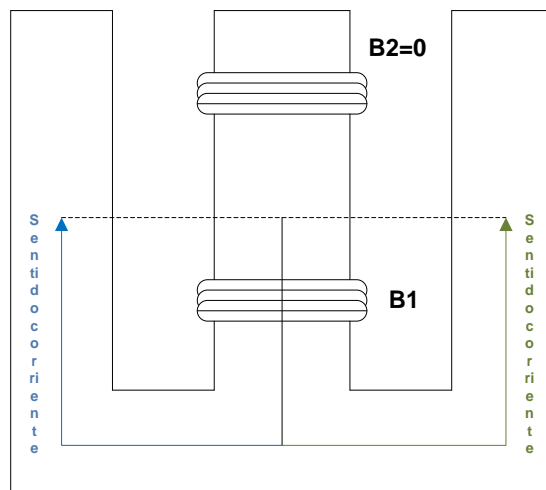
Las características de shut magnético variable con las siguientes:

- Permite una regulación
- Corta el campo magnético
- Limita la corriente

– *Principales partes que conforman la estructura interna*

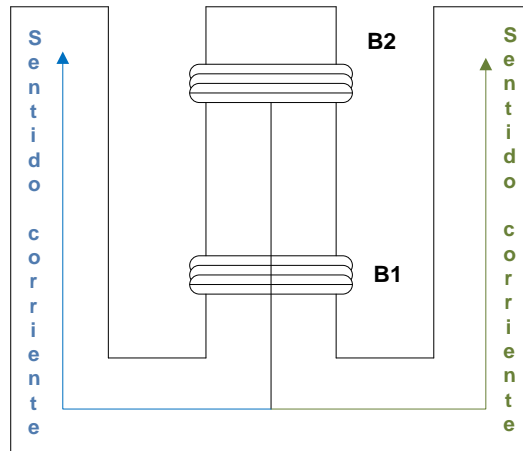
La estructura interna del equipo para probar fusibles está compuesto por:

- Una estructura de hierro silicio cuya sección corresponde a  $557.28 \text{ cm}^2$  en donde se ubican dos bobinados. Dicha estructura tiene la forma de una I cerrada perfectamente diseñada para la generación del campo magnético.
- Bobinas compuestas y diseñadas con alambre de cobre material utilizado para la formación las espiras necesarias para la generación del campo magnético entre 0 y 100 A. El número de bobinas y cantidad de vueltas de cada una de ellas están diseñan en función de la necesidad de corriente y voltaje, de manera que se logre el control de la corriente en función de los mecanismos de regulación.
- La regulación del shut magnético variable, mecanismo utilizado para la manipulación y control de la corriente generada en el núcleo de hierro silicio, de manera que se comporta según:
  - Cerrado



**Gráfico N. 31:** Shut magnético activado (\*)

– Abierto

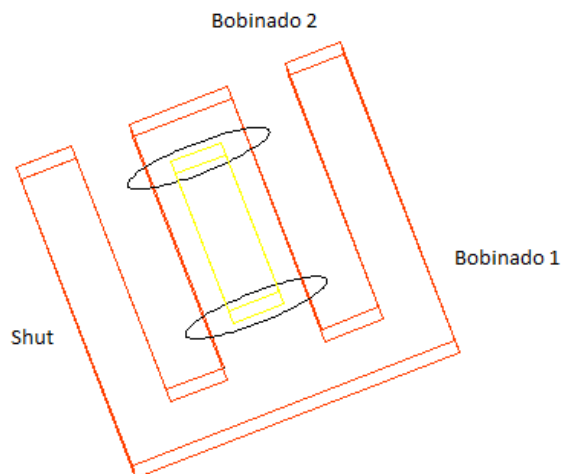


**Gráfico N. 32:** Shut magnético desactivado (\*)

**Hipótesis planteadas para el diseño de la estructura interna del equipo**

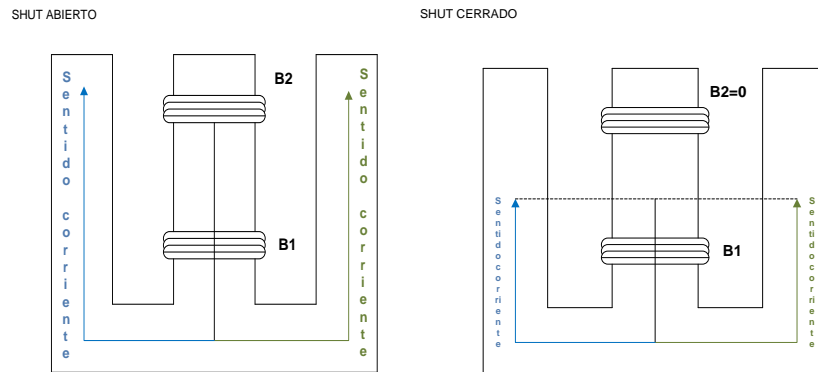
Para llegar al diseño y estructuración interna definitiva se tuvieron que manejar 3 alternativas que permitieron establecer las conexiones, método, mecanismos de regulación y diseño para lograr el objetivo final. A continuación se cita las pruebas que se realizaron:

– *Dos bobinas y regulación de shut magnético variable.*



**Gráfico N. 33:** Núcleo y bobinas (\*)

Se cuenta con dos bobinas de alambre de cobre, la bobina del primario está formada de 110 número de espiras de alambre esmaltado de cobre #19 y el bobinado secundario está formando de 130 números de espiras de alambre esmaltado de cobre #17, y una regulación de shut magnético que permite el funcionamiento de las dos bobinas a la vez (cuando el shut se encuentra abierto) y solo el primer bobinado (cuando el shut está cerrado).



**Gráfico N. 34:** Funcionamiento del shut magnético (\*)

Se realizan las pruebas respectivas y se llega a las siguientes conclusiones:

- a. Mediante el shut magnético variable no se puede realizar la regulación de valores menores a 30A.
- b. El bobinado secundario no logra regularse para valores pequeños.
- c. No se podrá realizar pruebas para fusibles menores a 30A
- d. La regulación no es exacta.

*Debido a lo mencionado anteriormente el método 1 se descarta y se procede a realizar nuevas adecuaciones a la estructura interna del equipo.*

– *Dos bobinas y dos tipos de regulación*

Para el segundo método se cuenta con dos tipos de regulación:

- a. Resistencia Variable (para valores menores/igual a 30A)
- b. Shut magnético variable (para valores mayores a 30A)

Con los tipos de regulación los que funcionan independientemente el uno del otro, según el valor de fusible que se vaya a probar, pero en las pruebas realizadas se cuenta con las siguientes observaciones:

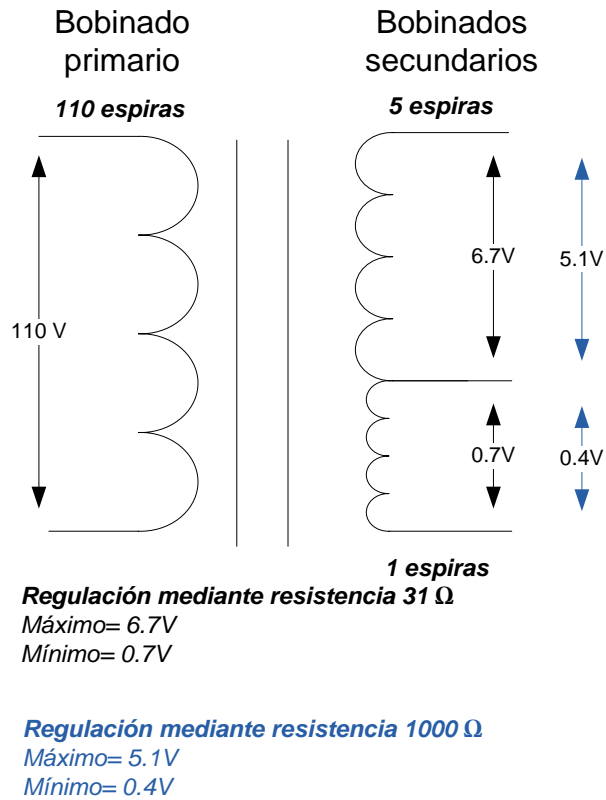
- a. El valor de la resistencia variable no muy bajo para valores corriente mayores 50A, cuando se inyecte estos valores hay la posibilidad que la resistencia se queme.
- b. La regulación aun no es la adecuada ya que no se puede llegar o aproximarse al valor 0 como inicio de regulación.

*Con lo anteriormente detallado se concluye que la Alternativa 2 no satisface y no cumple con el funcionamiento buscado para nuestro equipo, por ello se decide cambiar el valor de resistencia para que no se tenga la posibilidad de que en algún valor de corriente no soporte y por tanto se queme.*

- *Tres bobinas, dos tipos de regulación y cambio de valor de resistencia variable.*
  - Se cuenta con dos resistencias variables de los siguientes valores:
    - Resistencia variable de 1000  $\Omega$  y corriente de (0.387A)
    - Resistencia variable de 31 $\Omega$  y corriente de (4.5 MA)
  - Se consigue la generación de entre 2 y 150 A. Adicionalmente se decide realizar la adecuación de un selector mecánico, que permita escoger la regulación de la resistencia variable de 1000 $\Omega$  o 31 $\Omega$ , dependiendo de los valores y necesidades de corriente.
  - Se cuenta finalmente con tres tipos de regulación:  
*Resistencia Variable:*
    - Resistencia variable de 1000 $\Omega$  cuando se necesite valores de hasta 15A.
    - Resistencia variable de 31A cuando se necesite valores de 15A hasta 90A.

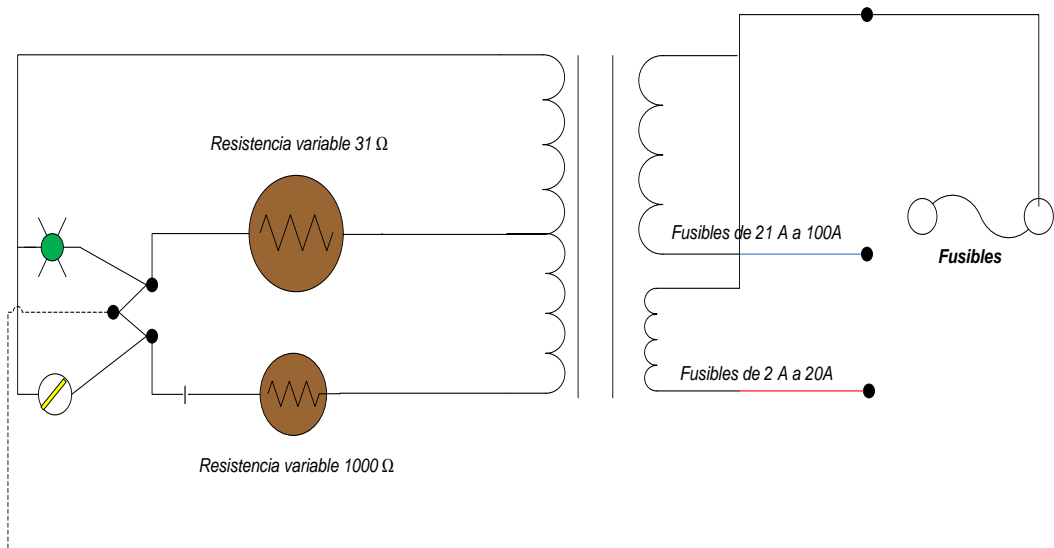
- Como complemento de la resistencia variable de 31A y para conseguir la regulación de corrientes mayores a 90A se utiliza el shut magnético con el que se logra valores de corriente de hasta 150A.
- Se realiza un cambio de la estructura del bobinado secundario, siendo ahora 2 secundarios así:
  - El *secundario 1* está formado de 5 espiras de alambre esmaltado de cobre #17 y *el secundario 2* está formado de una espira de alambre esmaltado de cobre #11.
  - El voltaje generado en el secundario 1 es de 6.7 V y en el secundario 2 es de 0.7V.
- Se consigue que la potencia de entrada sea igual o aproximadamente a la potencia de salida con una pérdida del 2%, dicha pérdida dependerá netamente de la calidad del alambre con los que estén formados cada uno de los bobinados.

*Con las adecuaciones y pruebas realizadas en lo anteriormente detallado se concluye que la Alternativa 3 es la correcta y es la que se adapta perfectamente a la necesidad tanto de corriente y voltaje para la estructuración interna del equipo.*



**Gráfico N. 35:** Diagrama de bobinados primario y secundario (\*)

**Conexiones**



**Gráfico N. 36:** Conexión del núcleo y sistema de regulación de corriente (\*)

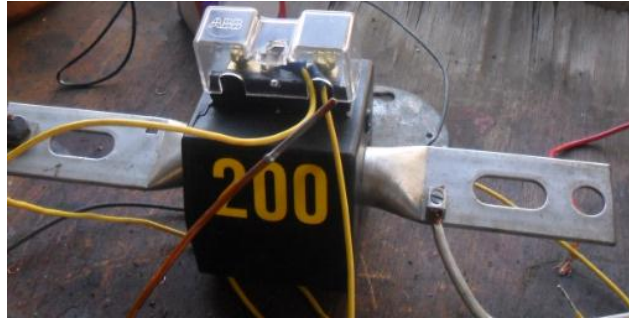
**Sistema reductor de corriente**

Para la reducción de la corriente generada por el campo magnético, se estableció diseñar un circuito reductor compuesto por:

- Transformador de corriente clase 0.2 con escala de 200A a 5A
- Una resistencia de  $0.123\Omega$ .

***Descripción de los elementos utilizados:***

*Transformador de corriente clase 0.2*



**Foto N. 1:** Transformador de corriente clase 0.2 (\*)

- *Definición*

Son aparatos en que la corriente secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente desfasada.

- *Características*

- 1.- Transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.
- 2.- El primario del transformador, que consta de muy pocas espiras, se conecta en serie con el circuito cuya intensidad se desea medir y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que requieran ser energizados.
- 3.- Los grados de precisión se dividen en dos grupos: ***clases de precisión normales*** y ***clases de precisión especiales***.
- 4.- Los transformadores de clase de precisión especial son los que se utilizan para aquellos equipos de medida que garantizan su exactitud entre el 20 y el 120 % de la corriente nominal del secundario del



transformador. El valor de corriente del secundario de estos transformadores es de 5 A.

5.- *Límites de los errores de los transformadores de intensidad para medida.* Para los transformadores de clases 0.1 -0.2 – 0.5 y 1, el error de intensidad y el desfase a la frecuencia asignada, no deberán sobrepasar los valores de la tabla 2 cuando la carga secundaria este comprendida entre el 25% y el 100% de la carga de precisión.

6.- Los transformadores de clase de precisión especial son los que se utilizan para aquellos equipos de medida que garantizan su exactitud entre el 20 y el 120 % de la corriente nominal del secundario del transformador. El valor de corriente del secundario de estos transformadores es de 5 A.

Ambas clases de precisión quedan reflejadas en las tablas siguientes:

**Tabla N. 11:** Clase de precisión de los Transformadores de Corriente

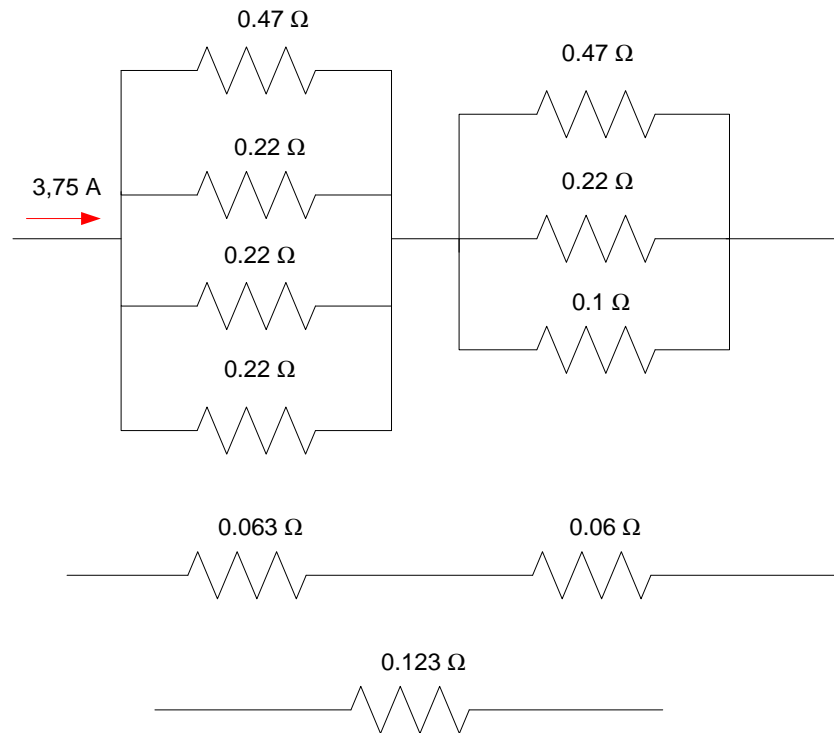
Clases de Precisión Normales de los Transformadores de Corriente de Medida.								
Clase de precisión	Error de relación ( $\pm \varepsilon_i$ ) en % para los valores de la corriente en % de la corriente nominal.				Error de fase ( $\pm \delta_i$ ) en minutos para los valores de la corriente en % de la corriente nominal.			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1	3	1,5	0,1	0,1	180	90	60	60

**Fuente:** Laboratorio Electrotécnico

*Resistencia de  $0.123 \Omega$*

Para la adquisición de datos mediante la utilización de una (DAQ.- Tarjeta de adquisición de datos) es necesario conectar entre la salida del transformador de corriente y la entrada de la DAQ, una resistencia de  $0.123\Omega$ , convirtiendo los valores entre 0 y 3.75 A a valores de voltaje entre 0 y 0.461 V.

Al no contar con el valor exacto de  $0.123\Omega$ , se opta realizar el siguiente circuito:



**Gráfico N. 37:** Circuito equivalente  $0,123\Omega$  (\*)

### **Sistema de adquisición y presentación de datos**

Para la adquisición y presentación de los datos conseguido por el equipo automático, se establece la utilización de una DAQ (Tarjeta de adquisición de datos), la que permitirá visualizar mediante un programa realizado en LABVIEW los valores de corriente y tiempo de fusión de los fusibles que se esté probando.

#### ***DAQ (Tarjeta de Adquisición de Datos)***

La **adquisición de datos** o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha

transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).



**Foto N. 2:** DAQ 6212 (\*)

*¿Cómo se adquiere la señal?*

- La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico o la propiedad física de un objeto (objeto de la investigación) que se desea medir. Esta propiedad física es el cambio de voltaje que se genera mediante la Ley de Ohm establecida entre la reducción de corriente proporcionada por el Transformado de corriente y una resistencia de  $0.123\Omega$ .
- Para que los datos sean adecuados para la DAQ, se realiza el acondicionamiento de la señal de entrada mediante la Ley indicada anteriormente. Teniendo los siguientes valores de entrada:
  - $V_{min} = 0V$
  - $V_{max} = 0.461V$
- *DAQ 6212 hardware* es la interfaces entre la señal y el PC. Tiene forma de un módulo que se conecta a la computadora mediante el puerto USB.



Foto N. 3: DAQ 6212 y puerto USB (\*)

- **Driver software** normalmente viene con el hardware DAQ (NI-DAQmx 9.17 DVD), y permite que el sistema operativo pueda reconocer el hardware DAQ y dar así a los programas acceso a las señales de lectura por el hardware DAQ. La instalación del Driver se indica en el Anexo --.

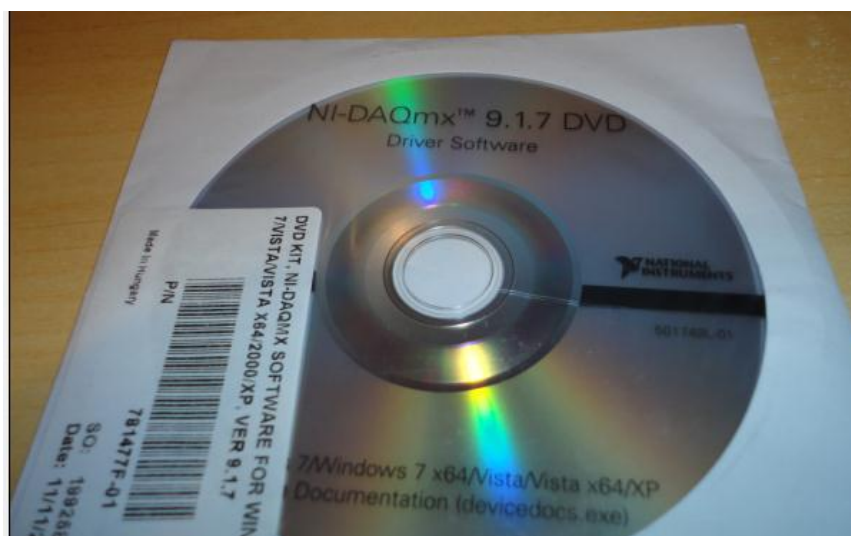


Foto N. 4: Driver NI-DAQ 9.17 (\*)

## Características de la DAQ 6212

**Tabla N. 12:** Especificaciones de la DAQ 6212

General	
Producto	USB-6212
Familia de Productos	DAQ Multifunción
Formato Físico	USB
Sistema Operativo/Objetivo	Windows
Familia de Productos DAQ	Serie M
Tipos de Medida	Codificadores de cuadratura , Voltaje
Compatibilidad con RoHS	Sí
Entrada Analógica	
Canales	16 , 8
Canales de una sola terminal	16
Canales Diferenciales	8
Resolución	16 bits
Velocidad de Muestreo	400 kS/s
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V , 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	2.69 mV
Sensibilidad Máxima del Rango de Voltaje	91.6 $\mu$ V
Rango de Voltaje Mínimo	-200 mV , 200 mV
Minima Precisión del Rango de Voltaje	0.088 mV
Minima Sensibilidad del Rango de Voltaje	4.8 $\mu$ V

**Fuente:** Data Lights (Soluciones de control e iluminación)

### *Software LABVIEW*

LABVIEW, es un entorno de programación grafica usado por ingenieros e investigadores para desarrollar sistemas sofisticados de medida, pruebas y control usando iconos gráficos e intuitivos y cables semejantes un diagrama de flujo.

Ofrece una integración incomparable con varios dispositivos de hardware y brinda bibliotecas integrada para el análisis avanzado y visualización de datos. La plataforma LABVIEW es escalable a través de múltiples objetivos y sistemas operativos, desde su introducción en 1986 se ha vuelto un líder en el mercado.

Creado por la empresa NATIONAL INSTRUMENTS, nace para la conexión de instrumentos de medición a una computadora personal. En la actualidad LABVIEW, tiene una orientación hacia la instrumentación, el control y procesamiento de señales.

### **Definición del prototipo (equipo de prueba de fusibles)**

#### ***Definición del Equipo***

Es un equipo de ensayo y prueba de fusibles tipo K, T, H y Dual de media tensión, utilizado para pruebas de laboratorio. Permite la visualización de la corriente suministrada mediante un dispositivo lector; el cual, recibe datos que se regulan con la ayuda de dos resistencias variables y un shut magnético variable. Cuenta con un software encargado de la presentación de los valores reales de corriente y fusión. Genera la curva de comportamiento (corriente vs tiempo) de los elementos de protección sometidos a las pruebas.

#### ***Descripción del equipo***

El equipo automático para prueba de fusibles consta de un núcleo de hierro silicio cuya sección es de  $453.08 \text{ cm}^2$ , adicionalmente esta formado internamente de dos bobinas cuya función será generar un campo magnético mediante tres tipos de regulación:

1. Shut Magnético variable para valores superiores a 90A
2. Resistencia Variable  $1000 \Omega$  para valores entre 2A y 20A.
3. Resistencia Variable  $31\Omega$  para valores entre 21A y 90A.

Por esta razón será necesario identificar los valores de los fusibles que se van a probar para saber con qué tipo de regulación se va a trabajar.

Se podrá realizar ensayos de fusibles de valores de hasta 100A, cuya alimentación será de 110V.

### *Características técnicas*

El equipo automático para probar fusibles está definido por las características indicadas en la siguiente tabla:

**Tabla N. 13:** Características básica del equipo (\*)

<b>Características</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidad</b>
Alimentación	110	Voltios
Corriente generada	2 – 150	Amperios (CA)
Voltaje generado	0 – 10	Voltios (CA)
Frecuencia	60	Hz
Potencia	750	VA
Sistema de regulación de corriente	Resistencia variable de 31 $\Omega$ y 1000 $\Omega$	Ohm
Porcentaje de error en presentación de valores	$\pm 0.01$	%
Error de corriente	$\pm 0.03$	A
Error de voltaje	$\pm 0.02$	V

### *Materiales*

#### *Estructura interna del equipo:*

- Alambre esmaltado de cobre #19, #17 y #11
- Láminas de hierro silicio
- Resistencias variables de 31 $\Omega$  y 1000 $\Omega$
- Shut magnético variable
- Cable conductor #8, #6
- Ángulo

#### *Sistema de control y reducción de corriente*

- Multímetro digital con escala de 200A a 5A

- Transformador de corriente de 0-200A clase 0.2
- Resistencias de (0.1 $\Omega$ , 0.47 $\Omega$ , 0.22 $\Omega$ )
- Selector de 2 posiciones
- Luz piloto

*Estructura de la caja:*

- Lamina de tol galvanizado de 1/32 pulgadas
- Tornillos
- Platinas de 2pulg.x 1/8pulg.
- Tubo cuadrado de 3/4pulg.
- Tubo rectangular 2cm x 4cm

*Sistema de adquisición de datos*

- Software LABVIEW 2010
- Software IN-DAQmx 9.1.7
- DAQ 6212(Tarjeta de adquisición de datos)
- Computador

*Equipos utilizados*

- Multímetro
- Cautín
- Soldadora
- Dobladora
- Compresor
- Taladro

*Principio de Funcionamiento*

El principio de funcionamiento del equipo para prueba de fusibles se basa fundamentalmente en:



- *De la estructura Interna (Núcleo y campo magnético)*
  1. Cuando circula una corriente alterna por el circuito primario, se forma un flujo magnético que circula por el interior del núcleo formado, recuérdese, por chapas magnéticas (estructura de hierro-silicio en forma de I cerrada), con el objetivo de favorecer precisamente este flujo.
  2. El flujo magnético, a su vez, induce en el circuito secundario una tensión que es proporcional a la tensión aplicada al primario.
  3. Generándose de esta manera la corriente requerida; la cual, está entre 2A y 150A.
  
- *Del sistema de regulación de corriente*

Una vez generada la corriente tanto en la bobina primaria como secundaria, es preciso determinar la forma de control y regulación de cada bobina. Por ello se cuenta con 3 mecanismos, cuya selección se realiza mediante un selector mecánico:

  - Regulación 1.- se utiliza una resistencia variable de 1000  $\Omega$  (*posición 1*)
  - Regulación 2.- se utiliza una resistencia variable de 31 $\Omega$  y shut magnético (*posición 2*)
  - Shut magnético variable.- se utiliza cuando la resistencia variable de 31 $\Omega$ , se encuentra en su valor máximo.

Dichas posiciones, permite el paso de la corriente según las necesidades y fusible que se desee comprobar, así:

**Tabla N. 14:** Tipos de regulación vs fusibles de prueba (\*)

<b>Tipo de regulación</b>	<b>Comportamiento del mecanismo de control</b>	<b>Valores de fusibles a probar</b>
Resistencia variable de 1000 $\Omega$	Permite el paso de corriente y trabajo del bobinado primario y	Para fusibles de valores: 2A a 20A

	secundario de $V_{maximo} = 5.1V$ y $V_{minimo} = 0.4V$	
Resistencia variable de $31\Omega$	Permite el paso de corriente y trabajo del bobinado primario y secundario de $V_{maximo} = 6.7V$ y $V_{minimo} = 0.7V$	Para fusibles de valores: 21A a 90A
Shut magnético variable	Permite el paso de corriente y trabajo del bobinado primario y secundario con sus máximos valores de corriente	Para fusibles de valores: 90A a 150A

– *Del circuito reductor de corriente*

Los valores generados o de salida del campo magnético están dentro del rango de los 150 A; dichos valores, son reducidos a 3.75A la reducción se logra mediante la siguiente adecuación:

1. El transformador de corriente de clase 0.2, se encarga de la reducción de los 150 A (Corriente máxima) a 3.75 A. Cuyo factor de transformación es 40.

La tabla generada por todos los valores posibles e ingresados al Transformador de corriente se indican en el Anexo VIII

– *Del acondicionamiento de la señal*

Para conseguir el ingreso de la señal generada al computador mediante la tarjeta de adquisición de datos, dicha señal debe ser acondicionada para que los valores sean adecuados según las especificaciones de la DAQ 6212. Considerando que los valores analógicos permitidos como en el módulo de entrada esta entre -10 V y +10V.

Se establece incluir una resistencia de  $0.123\Omega$ , cuyo objetivo es transformar los 3.75A en 0.461V, mediante la Ley de Ohm:  $I = \frac{V}{R}$

La tabla generada por la aplicación de la Ley de Ohm se indica en el Anexo IX.

– *De la adquisición y presentación de datos en el PC.*

Para la adquisición de los datos se utiliza: la DAQ 6212, el programa desarrollo en LABVIEW y el PC.

Una vez establecido el acondicionamiento de la señal de corriente generada por el Transformador de corriente a voltios, señal adecuada y permitida como entrada para la DAQ, cuyos valores permitidos están entre -10V y +10V.



**Foto N. 5:** DAQ 6212 y acondicionamiento de señal (\*)

Los valores de voltaje son ingresados al computador; los cuales, se procesan dentro de un programa en LABVIEW, mediante sumadores, condiciones de comparación, ciclos repetitivos, gráficas y elementos de conexión que permiten la obtención de:

- Corriente de fusión
- Tiempo de fusión
- Grafica con los valores adquiridos (corriente vs tiempo)

***Pasos para la elaboración del equipo***

- 1.- Elaboración del núcleo, constituido por 50 láminas de hierro silicio, con el fin de formar una I cerrada, cuya altura es de 5 cm, suficiente para crear una campo magnético de hasta 150 A.



**Foto N. 6:** Lámina de hierro silicio (\*)



**Foto N. 7:** Altura núcleo (\*)



**Foto N. 8:** Núcleo cerrado en forma de I (\*)

Para la unión de cada lámina de hierro silicio (1 mm), se utiliza soldadura eléctrica, con la finalidad de conseguir una forma compacta.

- 2.- Construcción de las bobinas, la primera se constituye de 110 números de espiras de alambre esmaltado de cobre # 19 (110V), la segunda se constituye de 2 bobinas: *segunda bobina 1* formada por 5 números de espiras de alambre esmaltado de cobre # 17 y la segunda bobina 2 formada de 1 espira de alambre esmaltado de cobre #11. La forma de cada bobina es establece mediante una molde; el cual, permitió dar la forma adecuada y funcional.



**Foto N. 9:** Formación de la bobina de cobre (\*)



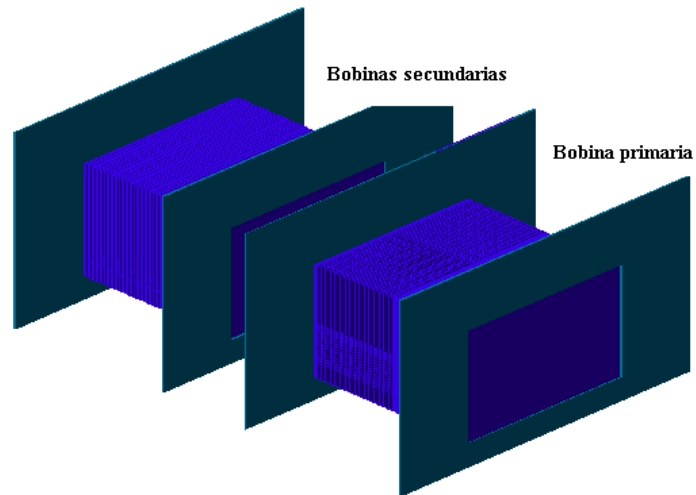
**Foto N. 10:** Alambre de cobre (\*)

Cada una de las bobinas están recubiertas, para evitar daños o saltos de chispas de soldadura, cuando se realiza los procesos de adecuación de los demás elementos que conforman el núcleo.



**Foto N. 11:** Bobinas de alambre de cobre (\*)

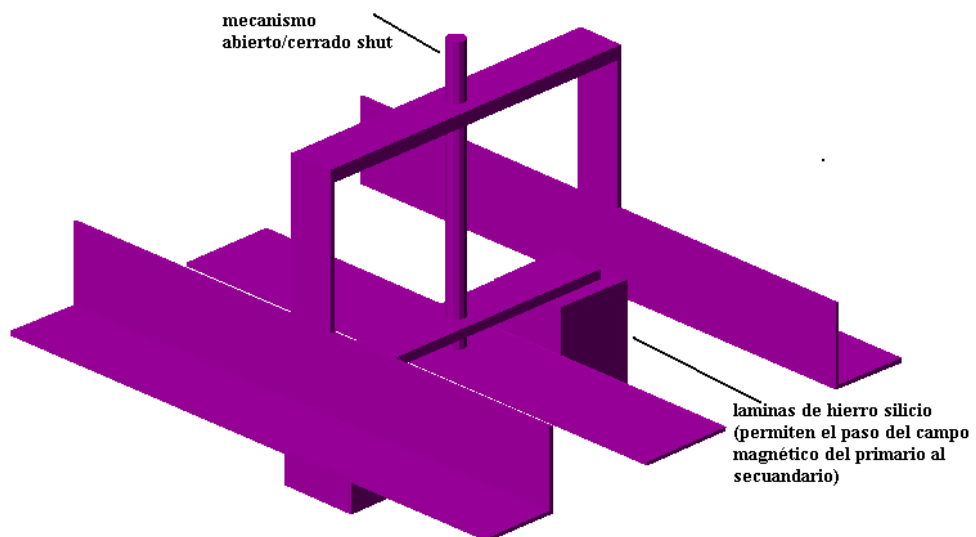
**3.-** Colocación de las bobinas en el núcleo, la bobina se ubica a cada extremo interno del núcleo, así:



**Gráfico N. 38:** Bobinas primaria y secundaria (\*)

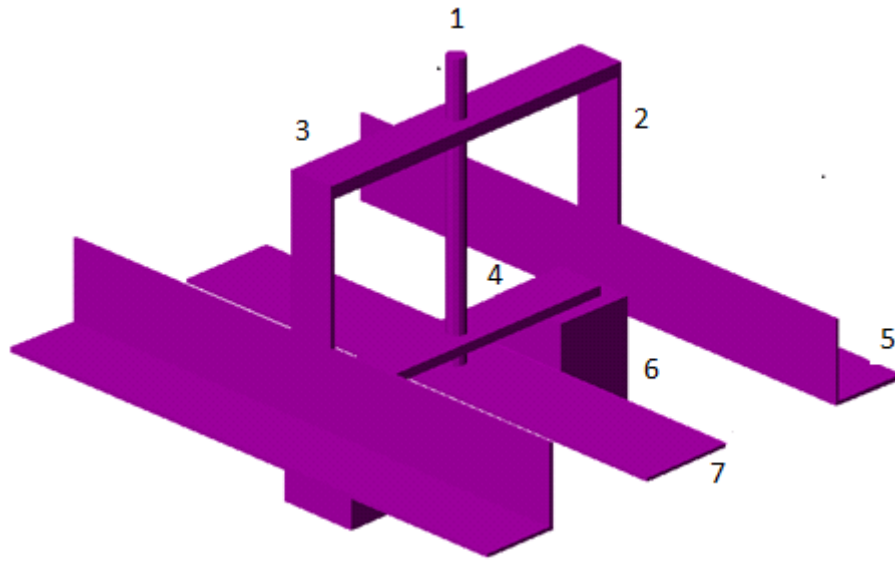
4.- Construcción del shut magnético, se basa en una estructura completamente metálica con los siguientes elementos:

- Tornillo de 20 cm.- permite el mecanismo de abertura y cierre del shut.
- Láminas de hierro silicio de 4.6 cm x 4.6 cm
- Tubo rectangular de 2.5 cm, sirve de soporte para el tornillo y láminas de hierro silicio.



**Gráfico N. 39:** Shut magnético variable (\*)

Construcción:



**Gráfico N. 40:** Partes del shut magnético variable (\*)

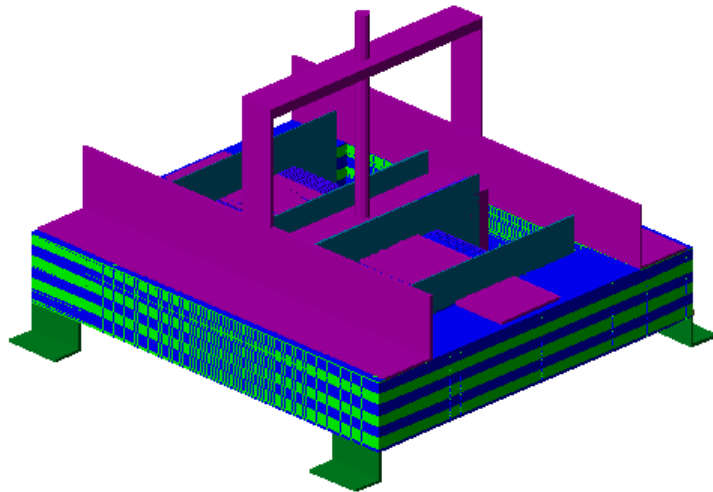
**Tabla N. 15:** Descripción de las partes shut magnético (\*)

<i>Descripción de las partes que conforman el shut magnético variable</i>			
<b>Partes</b>	<b>Medidas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Número</b>
Tornillo	20 cm largo 0.5 cm diámetro	1	1
Platina rectangular	5 cm alto 2 cm ancho	2	2
Tubo rectangular 1	17,4 cm largo 2 cm ancho	1	3
Tubo rectangular 2	15,4 cm largo 2 cm ancho	1	4
Angulo		2	5
Cuadrado solido (formado con 53 láminas de hierro silicio)	4.6 cm cada lado	2	6
Platina cuadrada	5 cm x 25cm	1	7

- Se corta 53 láminas de hierro silicio de 4,6cm x 4.6 cm x 1mm, unidas mediante soldadura, para formar cuadrados sólidos de 4,6 cm x 4,6cm x 5,3 cm; las cuales, funcionan de tal manera que al estar completamente abajo (el campo magnético o líneas de fuerza magnética circulan en la bobina primaria), y al comenzar subir el campo magnético del primario induce corriente en el secundario.
- Se corta un tornillo de 20 cm de largo y 0.5 cm de diámetro; el cual, sirve de mecanismo que la girar, sube (paso de corriente al secundario) o baja (cierre del paso de corriente al secundario), según las necesidades de corriente.
- Se corta un tubo rectangular 1; el cual sirva de soporte para la parte superior del tonillo.
- Se corta platinas de 5 cm, para el soporte del tornillo.
- Se une mediante un tubo rectangular 2, los cuadrados de hierro silicio, uno en cada extremo.
- Se ajusta mediante 2 tornillos los ángulos que se colocan en cada extremo del núcleo; los cuales, sirven de base para el shut magnético.
- Se une las platinas al cada ángulo, colocados con anterioridad ajustados al núcleo de hierro silicio. Mediante soldadura.
- Se realiza la unión del tubo rectangular 1 con las planillas colocadas en cada extremo del núcleo.
- Se realiza los agujeros de 0.5 cm en el tubo rectangular 1 y en el tubo rectangular 2, y en la parte central del núcleo, para encajar el tornillo.

**5.-** Unión del núcleo magnético con el shut, este proceso se realiza mediante la utilización de soldadura, el shut se coloca en la mitad del núcleo, a (11.4 cm) de cada extremo. Para que coincida y se ubique exactamente en el medio de la bobina primera como secundaria, de tal manera, que al estar el shut magnético activado (arriba) permita la inducción de corriente al secundario, y cuando se encuentre desactivado (abajo), solo se genere corriente en el primario, así:





**Gráfico N. 41:** Estructura interna del núcleo y el shut (\*)



**Foto N. 12:** Estructuración del núcleo y shut magnético (\*)

**6.-** Sistema de regulación de corriente para la prueba de los fusibles de media tensión.

Para dicho sistema se crea 3 tipos de regulación de corriente:

- 1.- Resistencia Variable de  $1000\Omega$ .- la cual permite la regulación de corriente para prueba de fusibles de 2A a 20A.



**Foto N. 13:** Resistencia Variable de  $1000\ \Omega$  (\*)

- 2.- Resistencia variable de  $31\Omega$ .- la cual permite la regulación de corriente para prueba de fusibles de 21A a 90A.



**Foto N. 14:** Resistencia variable de  $31\ \Omega$  (\*)

- 3.- Shut magnético variable; el cual, permite la regulación cuando el fusible a probar sea mayor a 90A.



**Foto N. 15:** Posición máxima del shut magnético (\*)

4.- Elección de los mecanismos de regulación: para la elección de los mecanismos de regulación se utiliza un selector mecánico; el cual permite trabajar:

- **Posición 1.-** Resistencia variable de  $1000\Omega$ , para valores entre 2A y 20A.
- **Posición 2.-** Resistencia variable de  $31\Omega$  para valores entre 21 A y 90A y con el shut magnético variable para valores de 91A hasta 150A.



**Foto N. 16:** Conexiones Internas del sistema de regulación (\*)

Se coloca una luz piloto; la cual permitirá conocer el estado del equipo:

- Encendido.- Funcionamiento con la regulación de la resistencia de  $1000\Omega$ .
- Apagado.- Funcionamiento con la regulación de la resistencia de  $31\Omega$  y shut magnético.



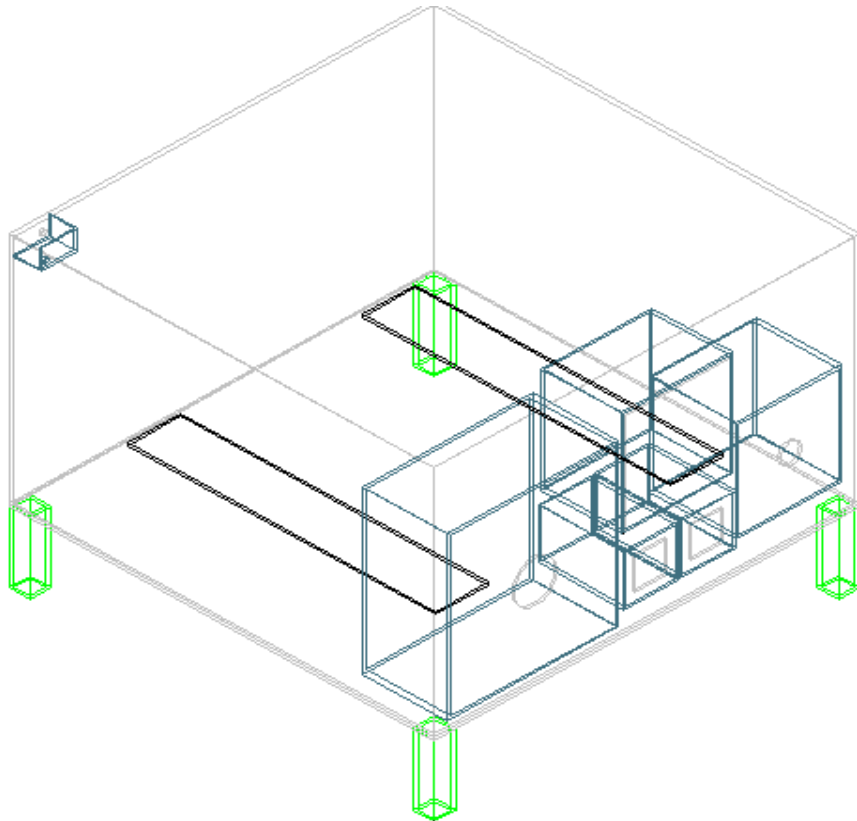
**Foto N. 17:** Conexión entre el selector y luz piloto (\*)

7.- Realización de las conexiones internas del equipo, entre ellas esta:

- Núcleo magnético y shut magnético
- Resistencias de  $1000\Omega$  y  $31\Omega$
- Selector mecánico
- Luz Piloto

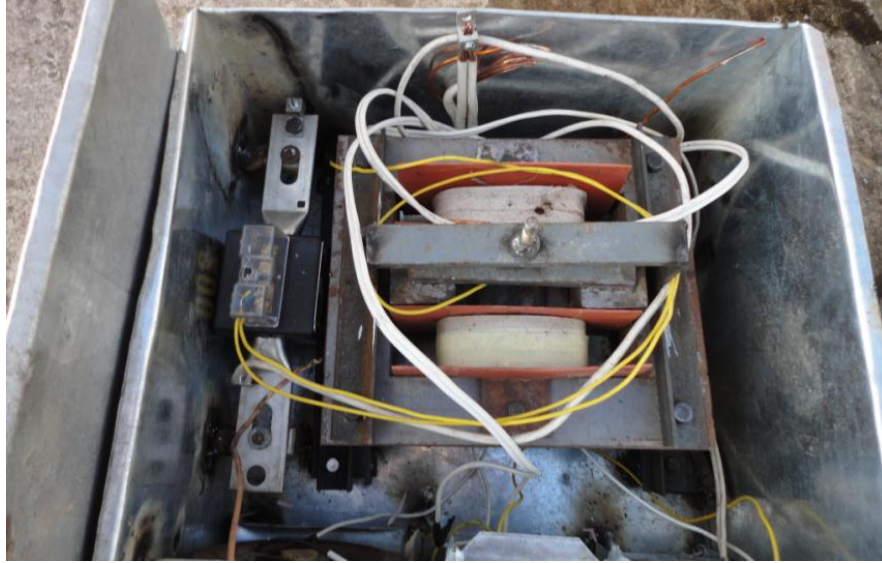
Las conexiones se indican en el Grafico N.

8.- Se realiza el diseño (Auto CAD) y la construcción de la estructura metálica, donde se ubicara todos la partes que conforman la generación y regulación del equipo, así:



**Gráfico N. 42:** Diseño estructura metálica (\*)

9.- Colocación de las partes en la estructura metálica:



**Foto N. 18:** Equipamiento de en la caja metálica (\*)



**Foto N. 19:** Parte frontal del equipo (\*)

La ubicación de los elementos y equipos se realiza de acuerdo al diseño realizado y las de conexiones.

Se realiza la verificación del funcionamiento de cada elemento que conforma la estructura interna del equipo.



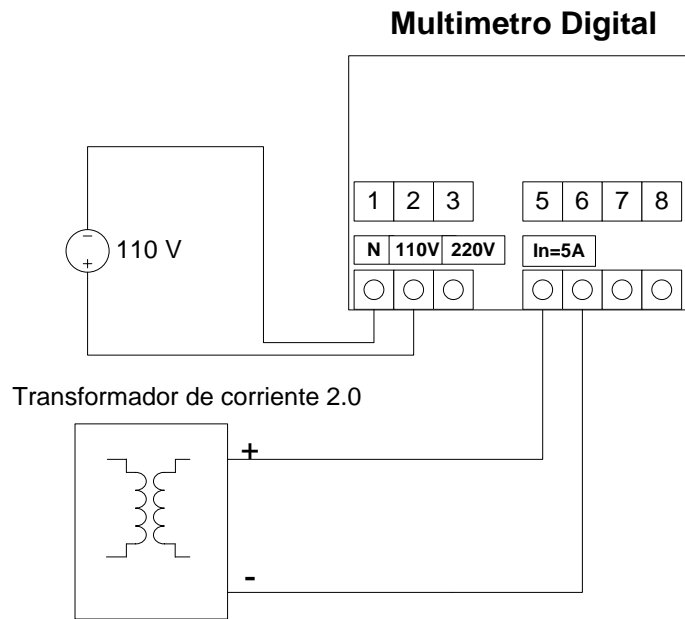
**Foto N. 20:** Verificación de los elementos del equipo (\*)

- 10.-** Acondicionamiento de la señal que se ingresa al PC. Se realiza la reducción de la corriente generada por el campo magnético, dicho proceso tiene como finalidad permitir el ingreso de datos mediante una DAQ. La misma puede recibir valores de voltaje de -10V a +10V.

Para la reducción de la corriente que se encuentra dentro de los rangos de 2A a 150A se utiliza los siguientes métodos:

- 1.-** Como parte inicial se realiza la reducción de 150A a 3.75 A, mediante un transformador de corriente y acoplamiento de un amperímetro digital con escala de 200 A a 5A; dicho circuito genera la siguiente relación:

Los valores generados por el transformador de corriente se visualizan en un multímetro digital; el cual necesita una alimentación de 110V, las conexiones se realiza así;



**Gráfico N. 43:** Conexiones para el Multímetro Digital (\*)

- La corriente de entrada al transformador de corriente se multiplica por 40 que es el factor de transformación del TC clase 0.2.

Así:

Al visualizarse 2.27 A en el amperímetro, realmente se ha generado 90.8A en el campo magnético:

***corriente generada***

*= corriente presentada en el amperímetro*

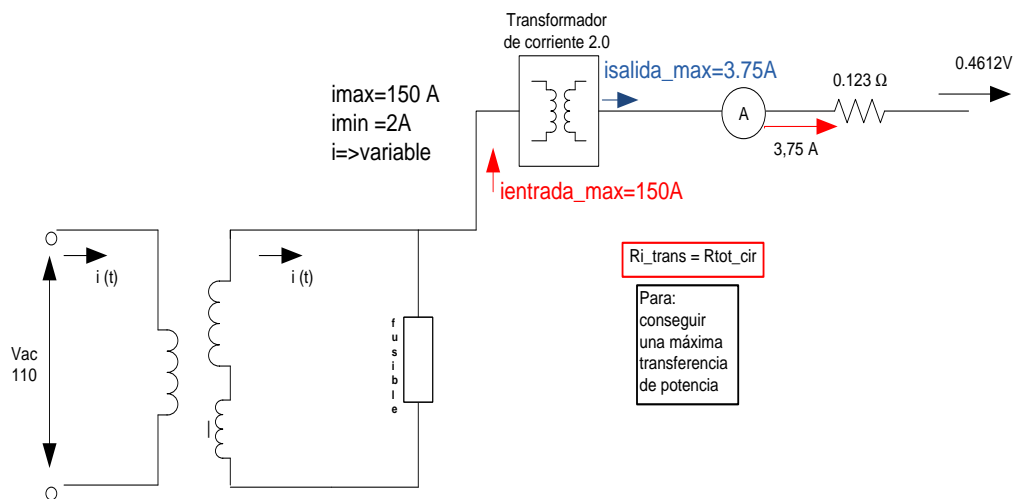
*\* facto de transformación del TC*

Entonces:

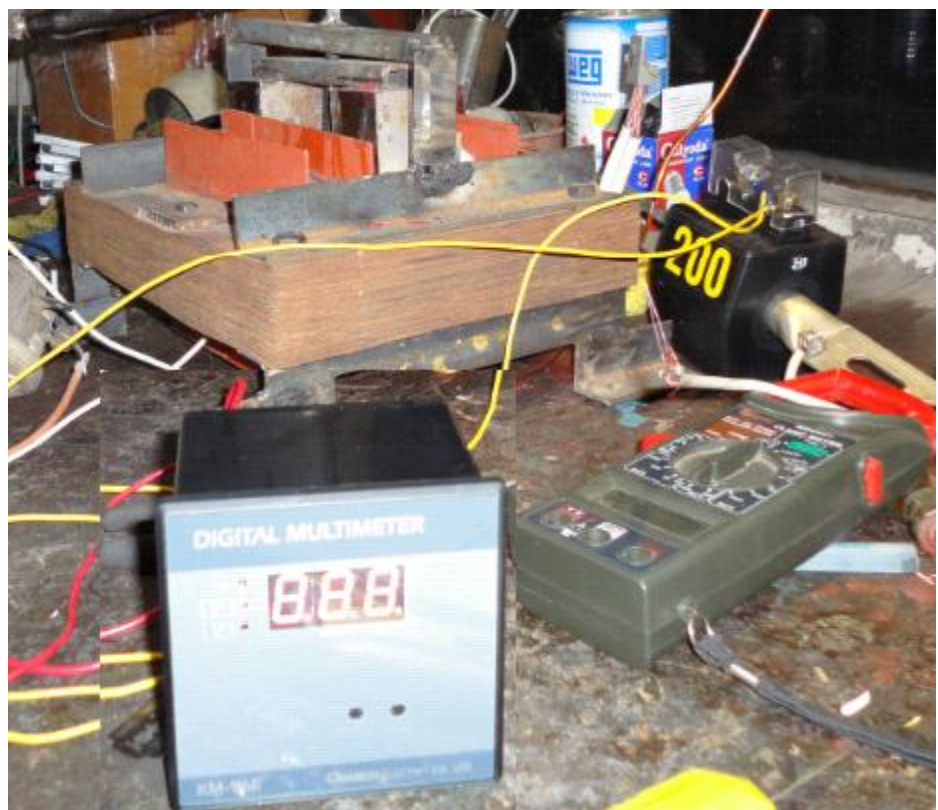
$$corriente generada = 2.27 A * 40$$

$$corriente generada = 90.8 A$$

*Circuito equivalente de la estructura generadora de corriente y la estructura de reducción de 150A a 3,75A:*



**Gráfico N. 44:** Circuito generación y reducción de corriente (\*)



**Foto N. 21:** Sistema de reducción de corriente (\*)

2.- Circuito para el ingreso de datos a la DAQ 6212, mediante una resistencia de  $0.123\ \Omega$ , al no contar con una resistencia de dicho valor



se realiza un circuito equivalente; para el cual, se utiliza los siguientes materiales:

- 3 resistencias de  $0.22 \Omega$
- 2 resistencias de  $0.47 \Omega$
- 1 resistencia de  $0.1 \Omega$
- 1 placa
- Estaño
- Cautín
- Cloruro férrico

Pasos para la realización del circuito equivalente:

1.- Circuito equivalente con resistencias:



**Foto N. 22:** Resistencias (\*)

2.- Elaboración de las pistas para los elementos eléctricos

3.- Corroer la placa

3.- Soldadura de resistencias



**Foto N. 23:** Pistas (\*)

#### 4.- Prueba de circuito



**Foto N. 24:** Circuito (\*)

La reducción de la corriente, mediante el transformador de corriente y circuito equivalente con resistencia de  $0.123\Omega$ , genera la siguiente relación:

$$\text{voltaje de ingreso a la tarjeta} = \text{corriente reducida TC} * 0.123 \Omega$$

**Ejemplo:** al tener una corriente de ingreso de 2.27 A y el valor de resistencia  $0.123 \Omega$ , se tiene:

$$\text{voltaje ingreso DAQ} = 2.27A * 0.1230.123 \Omega$$

$$\text{voltaje ingreso DAQ} = 0.279 V$$

**11.-** Para la realización de las pruebas, se utiliza un seccionador.

**Seccionador.-** el objetivo del seccionar es evitar el arco efectuado o producido cuando el fusible se funde así:



**Foto N. 25:** Seccionador (\*)

*Instalación del fusible en el seccionador*

- a. Separar el portafusible del seccionador



**Foto N. 26:** Seccionador Desarmado (\*)

- b. Colocar el fusible a probar en el interior del portafusible



**Foto N. 27:** Colocación del fusible (\*)

- c. Asegurar el fusible



**Foto N. 28:** Asegurar el portafusible (\*)

- d. Colocar el portafusible en el seccionador



**Foto N. 29:** Seccionador con portafusible (\*)

- e. Conectar el seccionador a las líneas de alimentación del equipo automático.

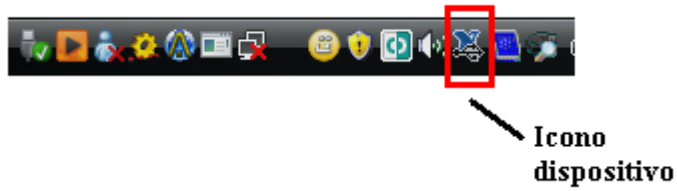


**Foto N. 30:** Alimentación del seccionador (\*)

- 12.- Ingreso de valores a la DAQ 6212, obtenidos los valores de voltaje generados por el acondicionamiento de la señal.

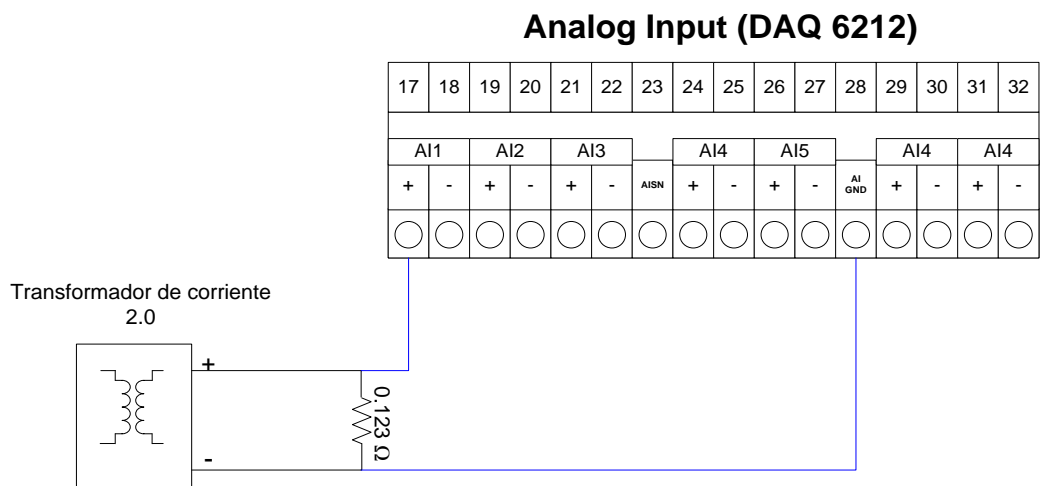
Dichos valores se procesan de la siguiente manera:

- Se instala el Driver de DAQ 6212, mediante un CD (NI-DAQ 9.17), según Anexo----:
- Se conecta la tarjeta de adquisición de datos mediante el cable USB, verificando el icono del dispositivo, así:



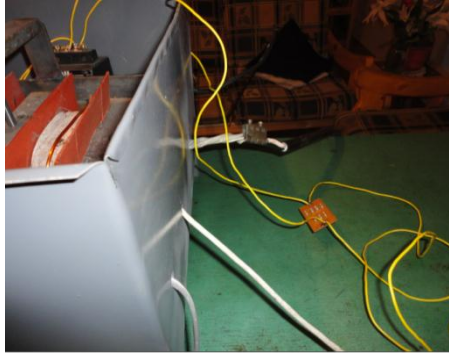
**Gráfico N. 45:** Validación de dispositivo

- Se realiza la conexión entre el circuito de resistencias equivalentes a  $0.123\Omega$  y la DAQ 6212.
- Para el ingreso de los datos se utiliza el módulo de entradas analógicas, el cableado del circuito acondicionador, se conecta al puerto 17 que corresponde a la entrada analógica *ai1*, así:

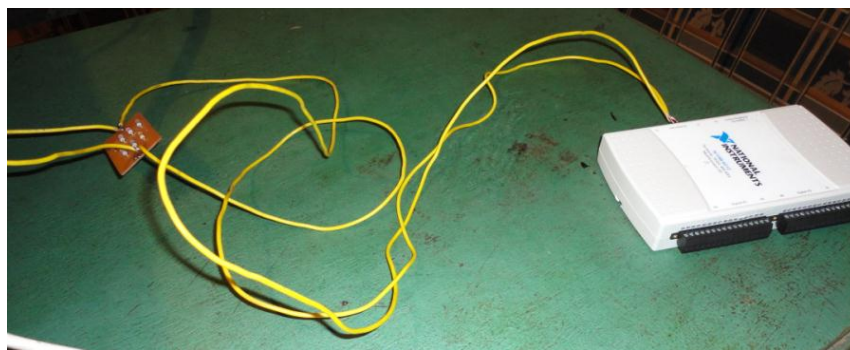


**Gráfico N. 46:** Conexión circuito acondicionador y DAQ 6212 (\*)

Antes de realizar la conexión a la DAQ del circuito acondicionamiento, comprobar los polos (+) y (-) con la ayuda de un voltímetro de la salida del transformador, dicha comprobación permitirá establecer en los terminales a utilizar en el módulo de la tarjeta.



**Foto N. 31:** Conexión de salida del equipo (\*)



**Foto N. 32:** Conexión de la resistencia a la DAQ (\*)

### 13.- Elaboración de programa en LABVIEW

Para la visualización de los valores tanto de corriente y tiempo de fusión se realiza un programa en LABVIEW; el cual consiste en:

- Como dato de entrada, mediante la adquisición de la DAQ, es el voltaje cuyo rango de operación está entre los 0 V y 0.461V.
- Variables a controlar y visualizarse: corriente y tiempo de fusión.
- Graficas a presentarse: la gráfica correspondiente al comportamiento de los fusibles (corriente y tiempo) generada en el proceso de prueba.

*Paso para la realización del programa:*

#### a. Instalación de la DAQ:

Los pasos para la instalación de la DAQ, se indican en el Anexo VII.

b. Verificación del dispositivo:

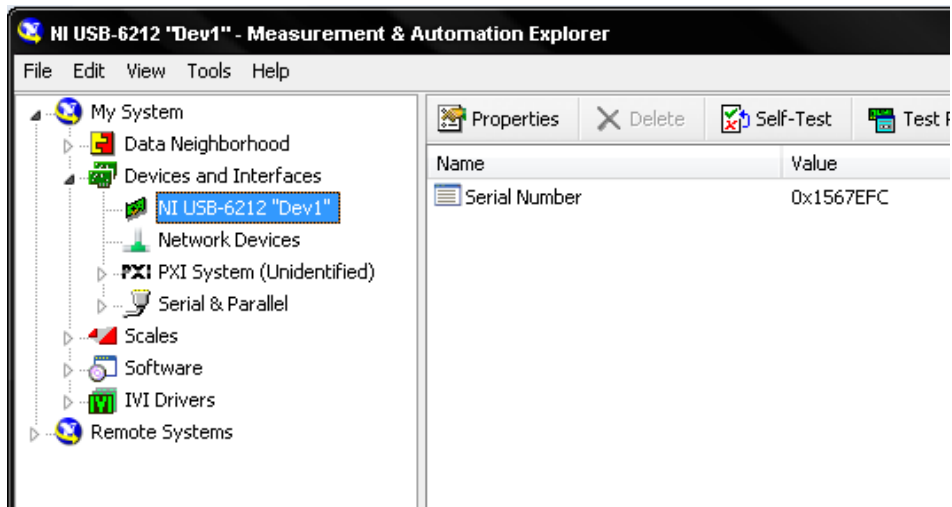


Gráfico N. 47: Validación de dispositivo (\*)

c. Configuración de la DAQ

Para la configuración de la DAQ, es necesario seguir los siguientes pasos:

- Especificar que se desea una adquisición de la señal

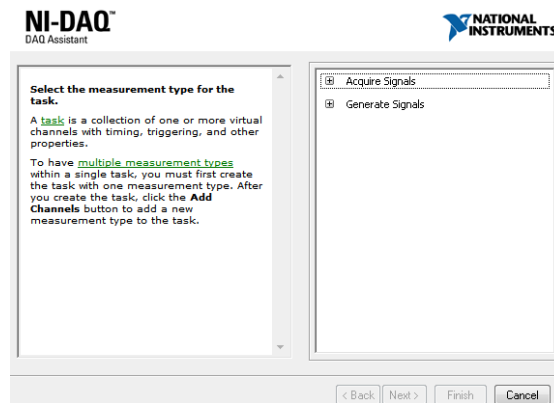
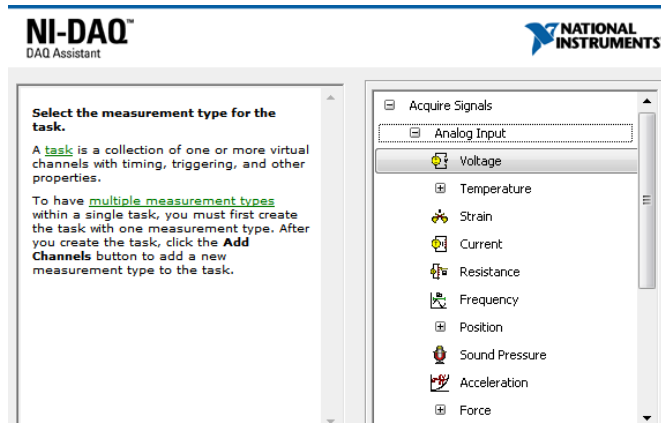


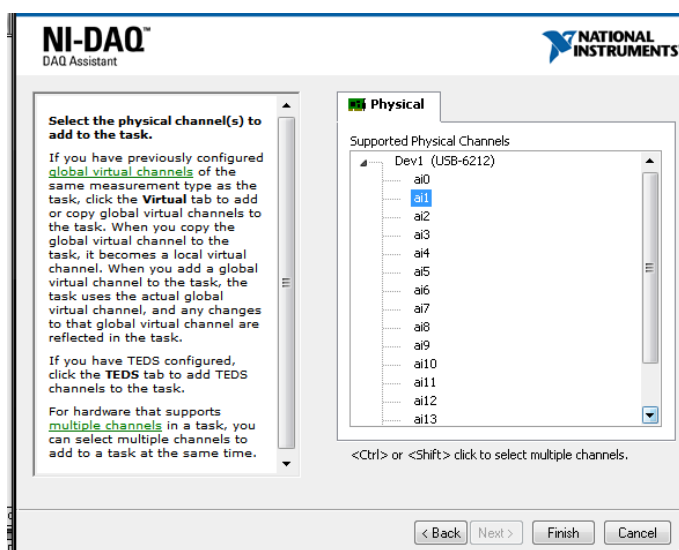
Gráfico N. 48: Validación de dispositivo (\*)

- Indicar el tipo de señal: voltaje



**Gráfico N. 49:** Validación de dispositivo (\*)

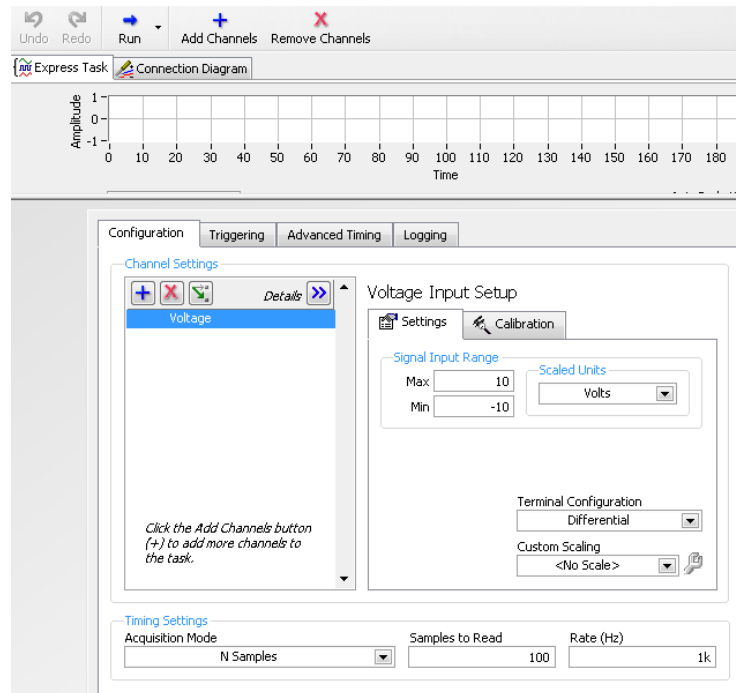
- Identificar el canal a utilizar de la DAQ



**Gráfico N. 50:** Validación de dispositivo (\*)

- Seleccionar el terminal de configuración, modo de adquisición, cantidad de datos a leerse y rate.





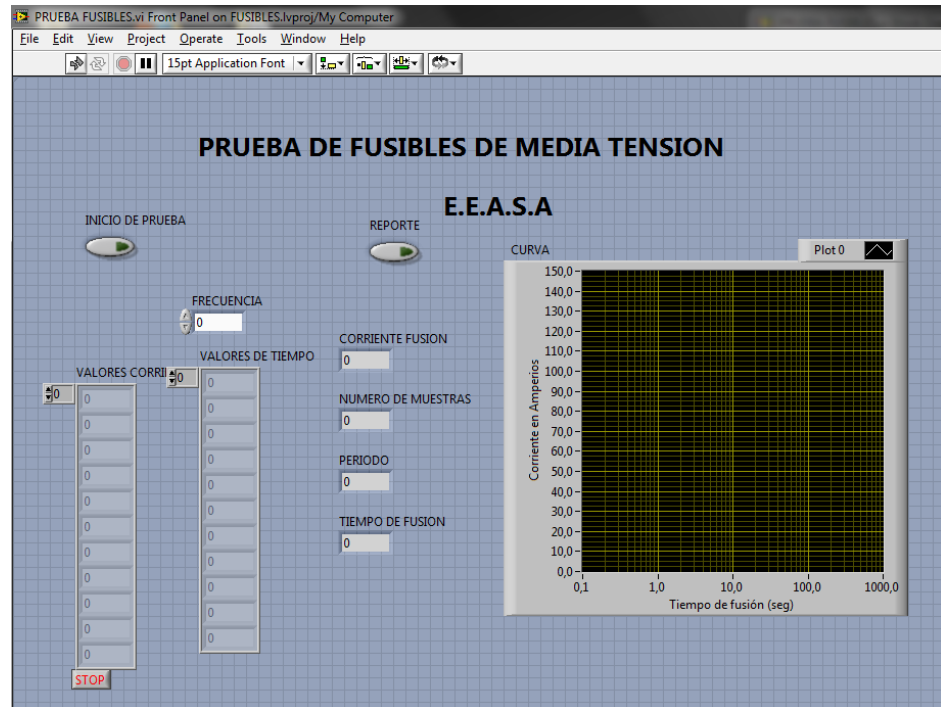
**Gráfico N. 51:** Validación de dispositivo (\*)

**d. Desarrollo del programa**

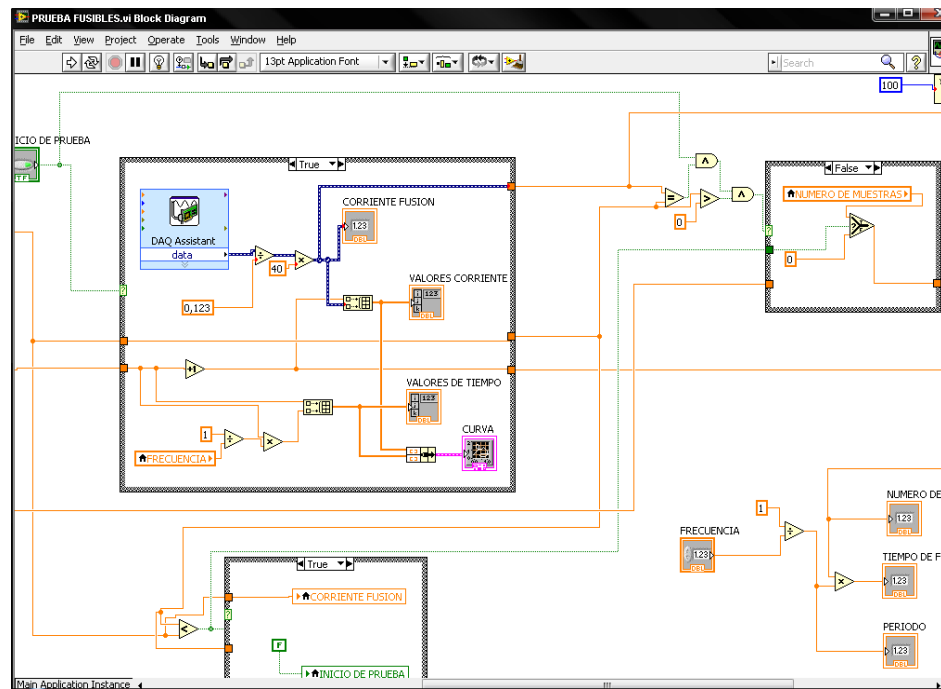
Para la presentación de los datos a en LABVIEW, se establece realizar tres programas:

- ***Prueba de Fusibles (programa principal).***- donde se indicará los controles y condiciones para la programación y visualización de datos.
- ***Reportes (programa complemento).***- programa que permite la impresión de un reporte donde se especifica la curva generada con las pruebas realizadas, tipo de fusible y valores de corriente y tiempo de fusión.
- ***Global (complemento para la realización del reporte).***- permite establecer las variables que se desea tener en el programa reporte.

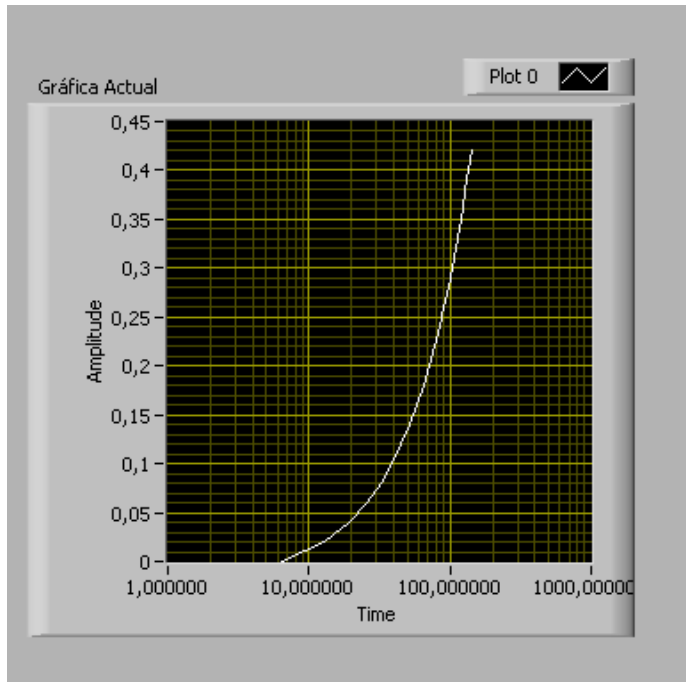
**Programa Principal (Prueba de Fusibles.vi)**



**Gráfico N. 52: Panel Frontal (\*)**



**Gráfico N. 53: Diagrama de Bloques (\*)**



**Gráfico N. 54:** Curva Generada (\*)

Elementos utilizados:

- DAQ Assistant



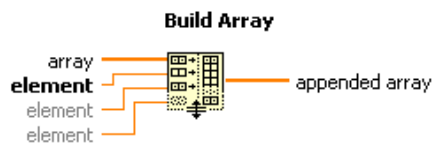
**Gráfico N. 55:** DAQ Assistant (\*)

- Sumador y Divisor



**Gráfico N. 56:** Sumador y Divisor (\*)

- Build Array

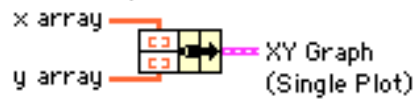


**Gráfico N. 57:** Build Array (\*)

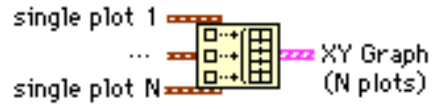
- XY Graphs

### XY Graphs:

Single Plot XY Graph:



Multiplot XY Graph:



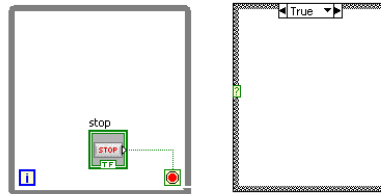
**Gráfico N. 58:** XY Graphs (\*)

- Array



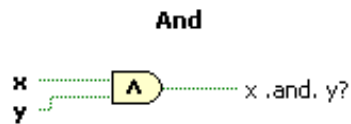
**Gráfico N. 59:** Array (\*)

- Ciclos repetitivos



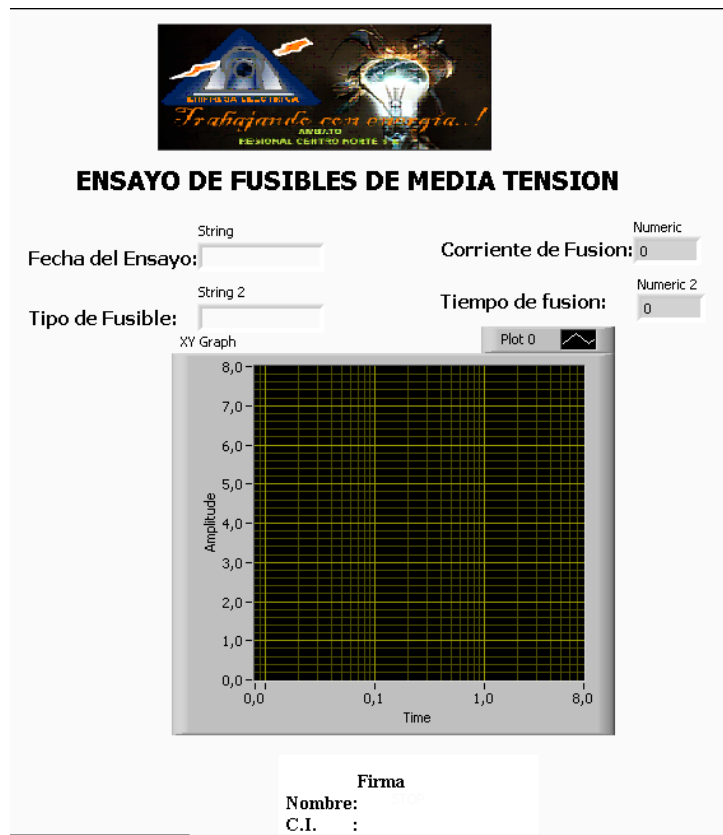
**Gráfico N. 60:** Ciclos repetitivos (\*)

- Condiciones de comparación

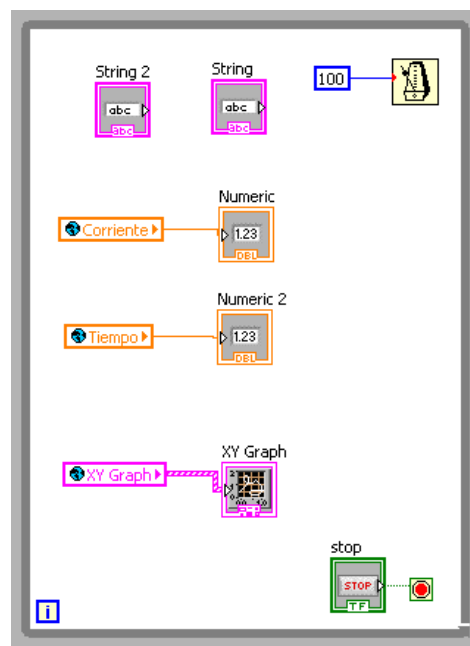


**Gráfico N. 61:** Condiciones de comparación (\*)

*Programa Complemento (Reporte.vi)*



**Gráfico N. 62:** Panel Frontal (\*)



**Gráfico N. 63:** Diagrama de Bloques (\*)

Elementos a utilizar:

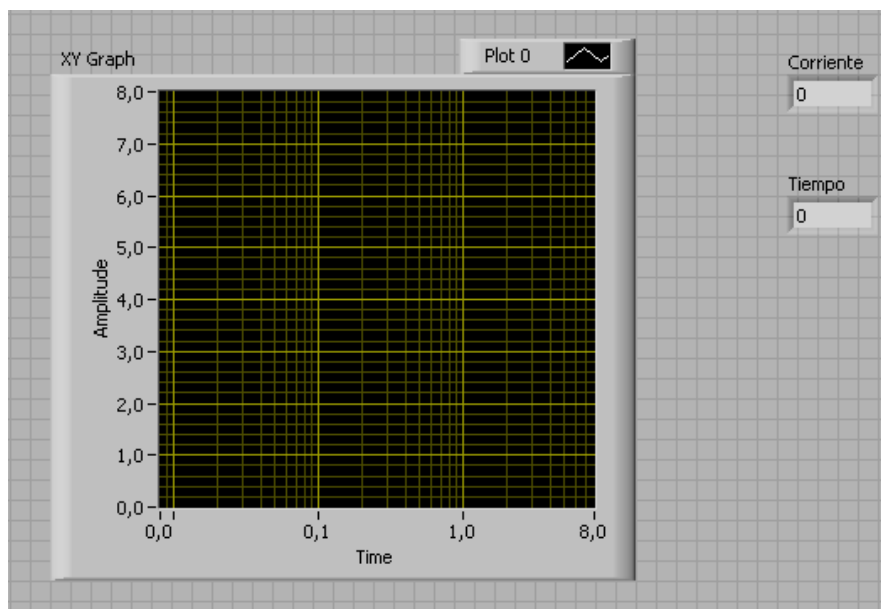
- Variables Globales.- referencia a variables de otro programa



**Gráfico N. 64:** Variables globales (\*)

### *Programa Variables Globales (Global 2.vi)*

En el programa en el panel frontal se coloca las variables que se desea indicar en el reporte, pero que se encuentran en el programa principal.



**Gráfico N. 65:** Global 2.vi (\*)

### **Realización de Pruebas**

Las variables que se van a medir en el proceso de prueba son las siguientes:

- Corriente presentada en el Amperímetro digital
- Valores indicados en el programa
- Valores medidos en la salida del equipo (Circuito reductor con la resistencia de  $0.123\Omega$ )

Para la verificación del correcto funcionamiento del equipo se realiza las siguientes pruebas:

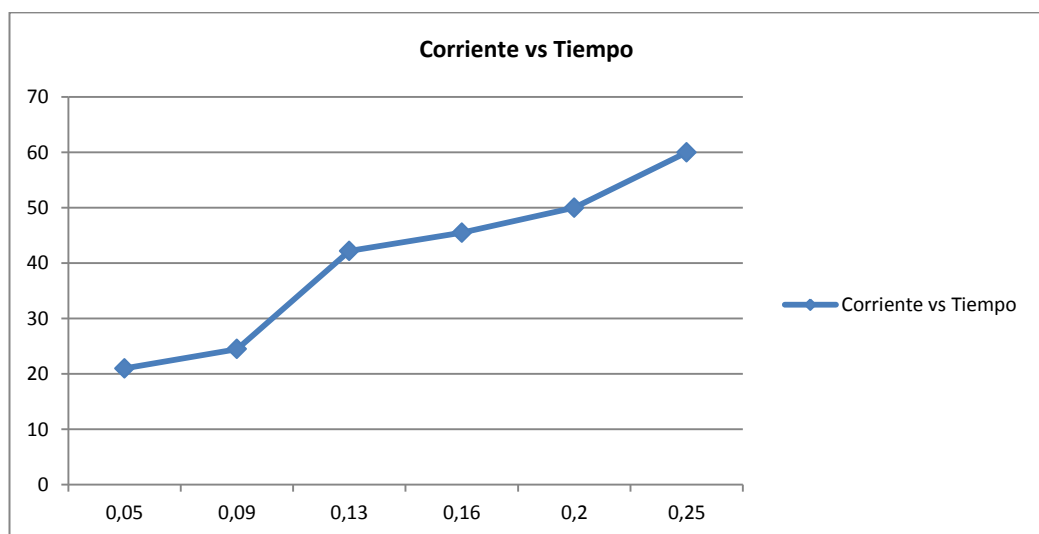
– **Prueba 1**

*Tipo Fusible:* Se realizan pruebas con hilos de cobre, cada hilo equivale a 10A por lo tanto se indica coloca 3 hilos.

*Amperaje:* 30A

**Tabla N. 16:** Prueba N°01(\*)

Corriente (amperímetro)	Corriente Medida	Voltaje (salida)	Tiempo (0,3 seg.)
0,001	0,04	0,000123	0,01
0,003	0,12	0,000369	0,02
0,01	0,4	0,00123	0,05
0,2	8	0,0246	0,07
0,45	18	0,05535	0,14
0,52	20,8	0,06396	0,18
0,58	23,2	0,07134	0,2
0,64	25,6	0,07872	0,25
0,79	31,6	0,09717	3



**Gráfico N. 66:** Corriente vs. Tiempo (\*)

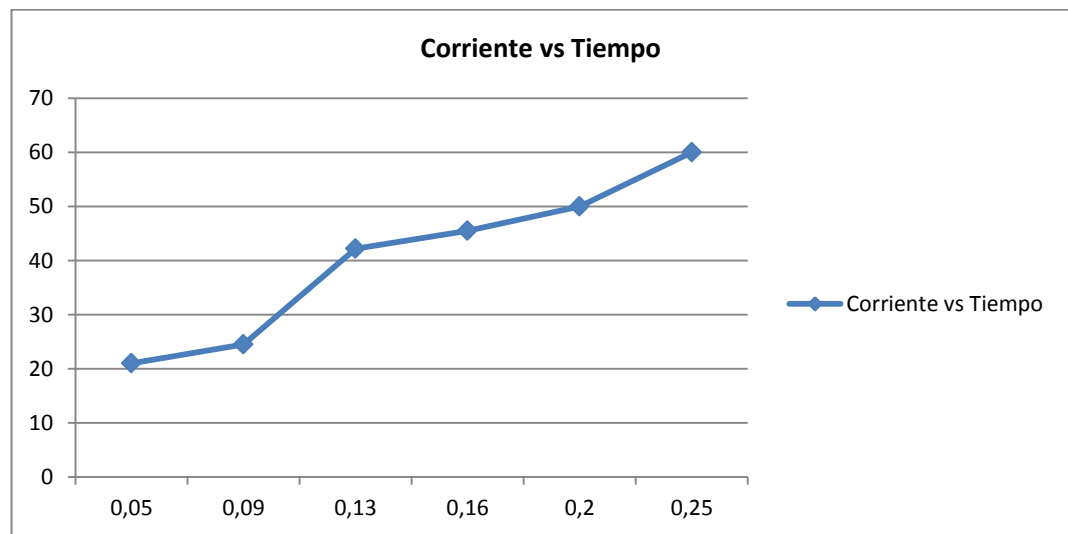
– **Prueba 2**

*Tipo Fusible:* Se realizan pruebas con hilos de cobre, cada hilo equivale a 10A por lo tanto se indica coloca 10 hilos.

*Amperaje:* 100A

**Tabla N. 17:** Prueba N°02(\*)

Corriente (amperímetro)	Corriente Medida	Voltaje (salida)	Tiempo (0,35 seg.)
0,24	9,6	0,02952	0,02
0,4	16	0,0492	0,9
0,58	23,2	0,07134	0,12
1,29	51,6	0,15867	0,22
1,55	62	0,19065	0,25
1,78	71,2	0,21894	0,3
1,95	78	0,23985	0,35



**Gráfico N. 67:** Corriente vs. Tiempo (\*)

– **Prueba 3**

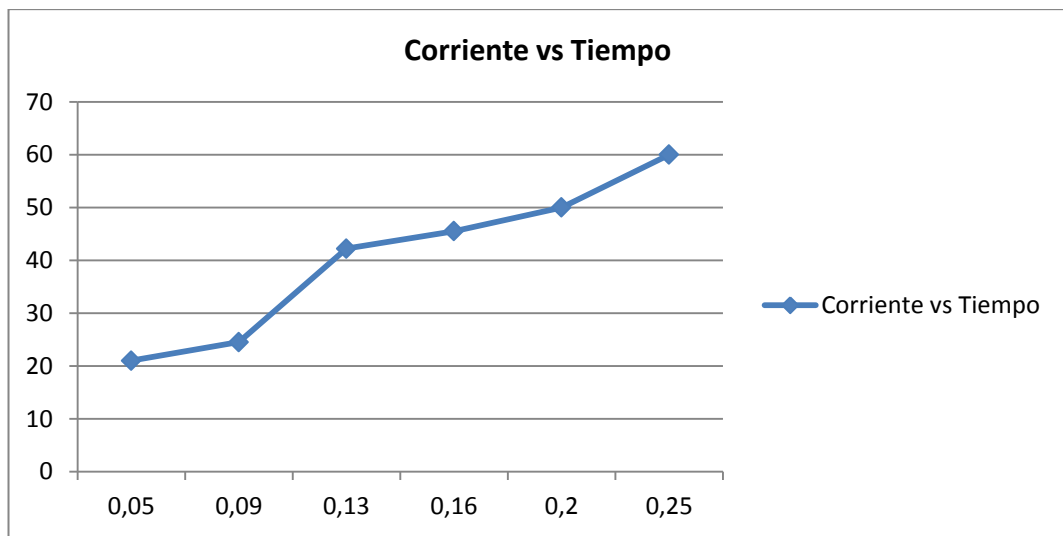
*Tipo Fusible:* Se realizan pruebas con hilos de cobre, cada hilo equivale a 10A por lo tanto se indica coloca 1 hilo.

*Amperaje:* 10A



**Tabla N. 18:** Prueba N°03(\*)

Corriente (amperímetro)	Corriente Medida	Voltaje (salida)	Tiempo (0,1 seg.)
0	3,8	0	0,01
0,07	4,84	0,00861	0,02
0,09	6,03	0,01107	0,04
0,1	6,92	0,0123	0,06
0,17	7,12	0,02091	0,1



**Gráfico N. 68:** Corriente vs. Tiempo (\*)

– **Prueba 4**

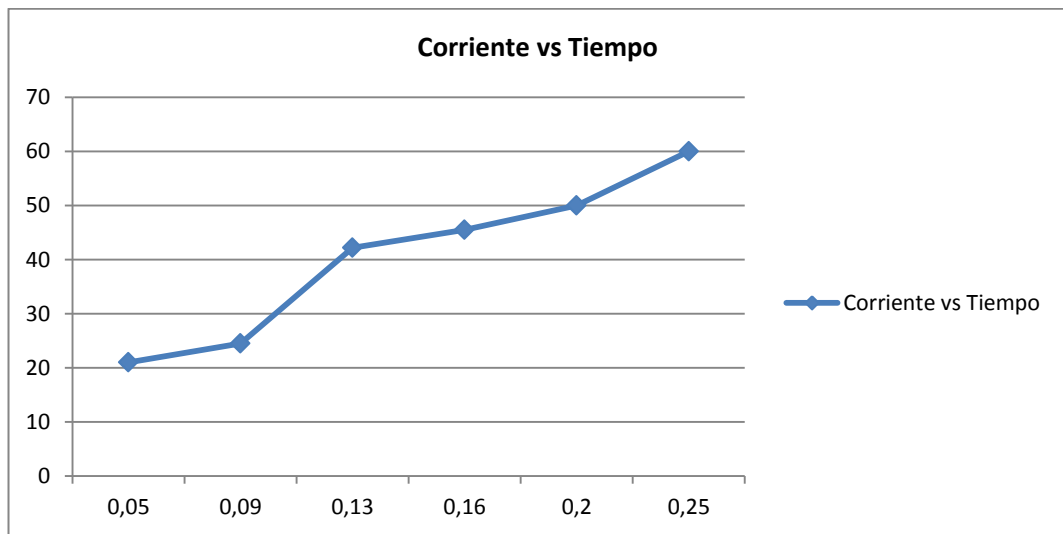
*Tipo Fusible:* Se realizan pruebas con hilos de cobre, cada hilo equivale a 10A por lo tanto se indica coloca 14 hilo.

*Amperaje:* 140A

**Tabla N. 19:** Prueba N°04(\*)

Corriente (amperímetro)	Corriente Medida	Voltaje (salida)	Tiempo (0,4 seg.)
0,5	20,1	0,08	0,01
0,58	23	0,12	0,12
1,04	40,7	0,207	0,18

1,26	50	0,222	0,21
1,51	60,1	0,215	0,25
1,77	70	0,248	0,28
2,03	80,7	0,269	0,33
2,22	88	0,3	0,38
2,23	90	0,344	0,4



**Gráfico N. 69:** Corriente vs. Tiempo (\*)

– **Prueba 5**

*Tipo Fusible:* T

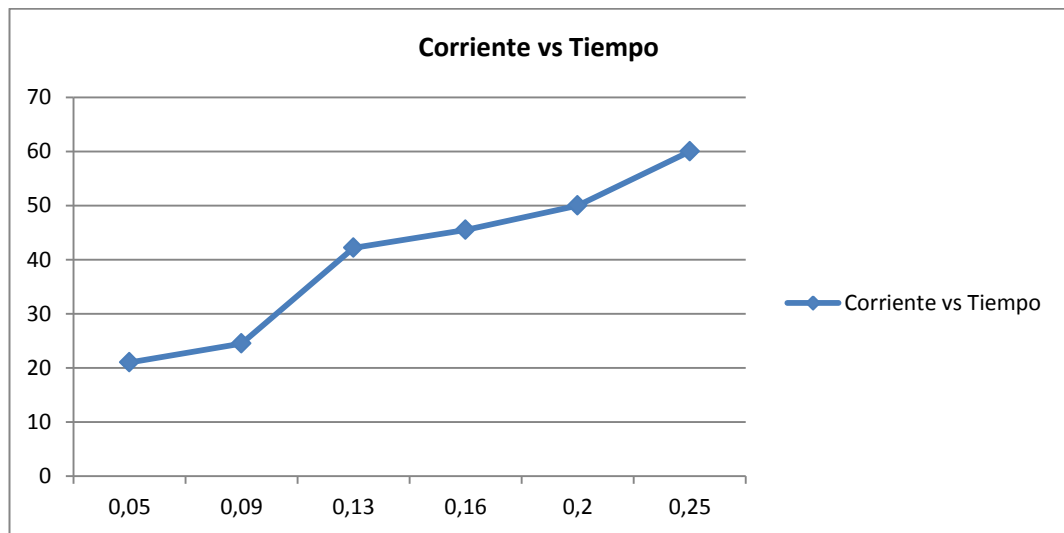


**Foto N. 33:** Tipo Fusible: T (\*)

*Amperaje:* 20A

**Tabla N. 20:** Prueba N°05(\*)

<b>Corriente (amperímetro)</b>	<b>Corriente Medida</b>	<b>Voltaje (salida)</b>	<b>Tiempo (0,25 seg.)</b>
0,52	21	0,08	0,05
0,62	24,5	0,12	0,09
1,08	42,2	0,207	0,13
1,16	45,5	0,222	0,16
1,28	50	0,215	0,2
1,53	60	0,248	0,25



**Gráfico N. 70:** Corriente vs. Tiempo (\*)

## Administración

**Tabla N. 21:** Plan de Acción (\*)

<b>Etapas</b>	<b>Metas</b>	<b>Actividades</b>	<b>Recursos</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>Responsable</b>	<b>Tiempo (semanas)</b>
<i><b>Socialización</b></i>	08-07-2010 hasta 07-11-2010 (45%)	Acercamiento a la Empresa Recolección de la información Planteamiento y aceptación de la Propuesta	Transporte Cuadernos Internet Computadoras Impresora Copias, Cámara	350,00	María Paredes Tutor Director Departamento de Operación y Mantenimiento	17
<i><b>Ejecución</b></i>	08-11-2011 hasta 07-06-2011 40%	Diseño de la estructura interna y acondicionamiento de señales del equipo	Núcleo de hierro silicio Shut magnético Resistencias variables Trasformador de corriente 0.2 Multímetro digital, DAQ Materiales y Herramientas Documentos, Impresiones	400,00 100,00 250,00 200,00 1570,00 100,00 100,00	María Paredes Tutor	38
<i><b>Evaluación</b></i>	08-06-2011 hasta 07-07-2011 (15%)	Revisiones del diseño	Pruebas Documentación	250,00	María Paredes Tutor Director Departamento de Operación y Mantenimiento	8

**TOTAL:** 3095,00

## Previsión de la Evaluación

**Tabla N. 22:** Monitoreo y evaluación (\*)

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Quiénes solicitan evaluar?	– Departamento de Operaciones y Mantenimiento.
2. ¿Por qué evaluar?	– Porque se debe implementar, ejecutar, mantener y mejorar el proceso de revisión y verificación de las curvas de comportamiento (Corriente vs Tiempo) de los fusibles de media tensión, para conocer los valores reales de fusión de los elementos de protección.
3. ¿Para qué evaluar?	– Para verificar los valores de corriente y tiempos fusión, encaminado de una mejor manera la utilización y aplicación los fusibles de media tensión en los sistemas y equipos de protección eléctricos.
4. ¿Qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Corriente de fusión</li> <li>– Tiempo de fusión</li> <li>– Cumplimiento de curvas establecidas en los catálogos de fabricantes.</li> </ul>
5. ¿Quién evalúa?	Profesionales: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Director Depto. Operación y Mantenimiento.</li> </ul>
6. ¿Cuándo evaluar?	– Se deben realizar cada vez que se realice una adquisición de fusibles.

7. ¿Cómo evaluar?	– Mediante la prueba de fusibles y utilización el equipo, seccionador y programa de LABVIEW,
8. ¿Con qué evaluar?	– Con las curvas de comportamiento entregadas y establecidas por los fabricantes, comparando con las curvas generadas en las pruebas.

### **Conclusiones**

- Para la realización del equipo automático se utilizó información de las referencias existentes en el mercado; con ellas, identificar las características que debería tener el equipo, adicionalmente se estableció como punto de partida para la generación del campo magnético encargado de la inyección de corriente, el principio de funcionamiento de un transformador eléctrico.
- El principio de funcionamiento para el equipo automático, permitió diseñar el sistema de regulación de la corriente generada; el cual, consiste en dos resistencias variables y un shut magnético, cuya principal función es establecer el trabajo de la corriente - voltaje. Limitando así, el paso de corriente a los diferentes bobinados.
- Dentro del diseño y equipamiento, se estableció un sistema de reducción de corriente, utilizando un transformador de corriente clase 0.2, encargado de transformar la corriente generada por el núcleo de hierro silicio de 150A a 3.75A de salida. La elección de dicho transformador se realizó considerando la característica de precisión del transformador de corriente como un factor predominante para la obtención de valores en tiempo real. Y, como complemento la conexión de una resistencia de  $0.123\Omega$  como parte del acondicionamiento de las señal.

- El proceso de adquisición y presentación de valores, se realizó mediante una Tarjeta de Adquisición de datos (NI USB 6212), permitiendo con ello, generar un programa en LABVIEW, que controle y presente los valores de corriente y tiempo de fusión de los elementos de protección sometidos a las pruebas. Los valores ingresados a la DAQ, proporcionan una gráfica, cuya utilización se base en la comparación y verificación de las curvas establecidas por los fabricantes de los fusibles. La tarjeta de adquisición de datos (IN-USB 6212), permite la adquisición de los datos de forma rápida y confiable, esto debido a la capacidad de respuesta y velocidad de procesamiento de los valores ingresados.
  
- Con la comprobación de las magnitudes de tiempo y corriente, sometidas a estos ensayos, permitirá direccionar de formar eficaz y eficiente los fusibles de media tensión a los sistemas de protección. Permitiendo evitar daños, destrucción o recalentamiento de transformadores; y a la vez, la EEASA, proporcionará un servicio eléctrico adecuado y perfectamente protegido.
  
- Para la construcción de la estructura interna, se debe utilizar un núcleo de hierro-silicio, material que permite un mayor control de las propiedades eléctricas, y la formación de orín; cuyo, fenómeno electroquímico hace que las impurezas actúen eléctricamente.

### **Recomendaciones**

- En caso de utilizar equipos como multímetros digitales, es necesario tener definido como funcionará el: amperímetro o voltímetro, debido a la forma de conectarse de cada equipo. Realizar la calibración y adecuación de los dispositivos desconectándolos del circuito general.
  
- Se deberá realizar la comprobación de los valores y estado de las resistencias, que forman parte del circuito equivalente para  $0.123\Omega$ , debido

al calentamiento de dichos elementos, que podrían afectar al funcionamiento y generación de los valores de resistencia-voltaje.

- Se deberá realizar una capacitación al personal técnico sobre el funcionamiento y forma de manipulación del equipo, para evitar daños o generación y presentación de datos erróneos.
- Los dispositivos que se encuentran dentro de la estructura metálica, deben presentar aislaciones, cuyo objetivo, es evitar el contacto eléctrico entre ellos. Por dicha razón se realizó aislaciones en: el transformador de corriente, bobinados, cables de alimentación y sistemas de regulación.

### **Materiales de referencia**

#### **Bibliografía**

- CASTAÑO, S (Primera Edición). *Protección de Sistemas Eléctricos*. Colombia.
- INTERELECTRICAS. LUHFSER. *Catálogos de Utilización de los Fusibles LUHFSER*
- OPSIS, (2010). *Sistema de Suministro Eléctrico*.
- Industrias Eléctricas RMS S.A. *Manual de Fusibles*. Chile
- HERNANDEZ J. (2008). *Sistemas de Distribución Eléctricos*.
- PARRA, A. (2007). *Centros de Transformación*.
- GONZALES, A (2001). *¿Qué es el magnetismo?*
- VALERA, M. (2000). *Electricidad y Magnetismo*.



- GRANADOS, G. Tomo I. *Instalaciones Eléctricas*. México.
- RAS, O. 1998. *Transformadores de Potencia, medida y protección*.
- E.E. STAFF del M.I.T. 2003. *Circuitos magnéticos y transformadores*. Barcelona.

### **Linkografía**

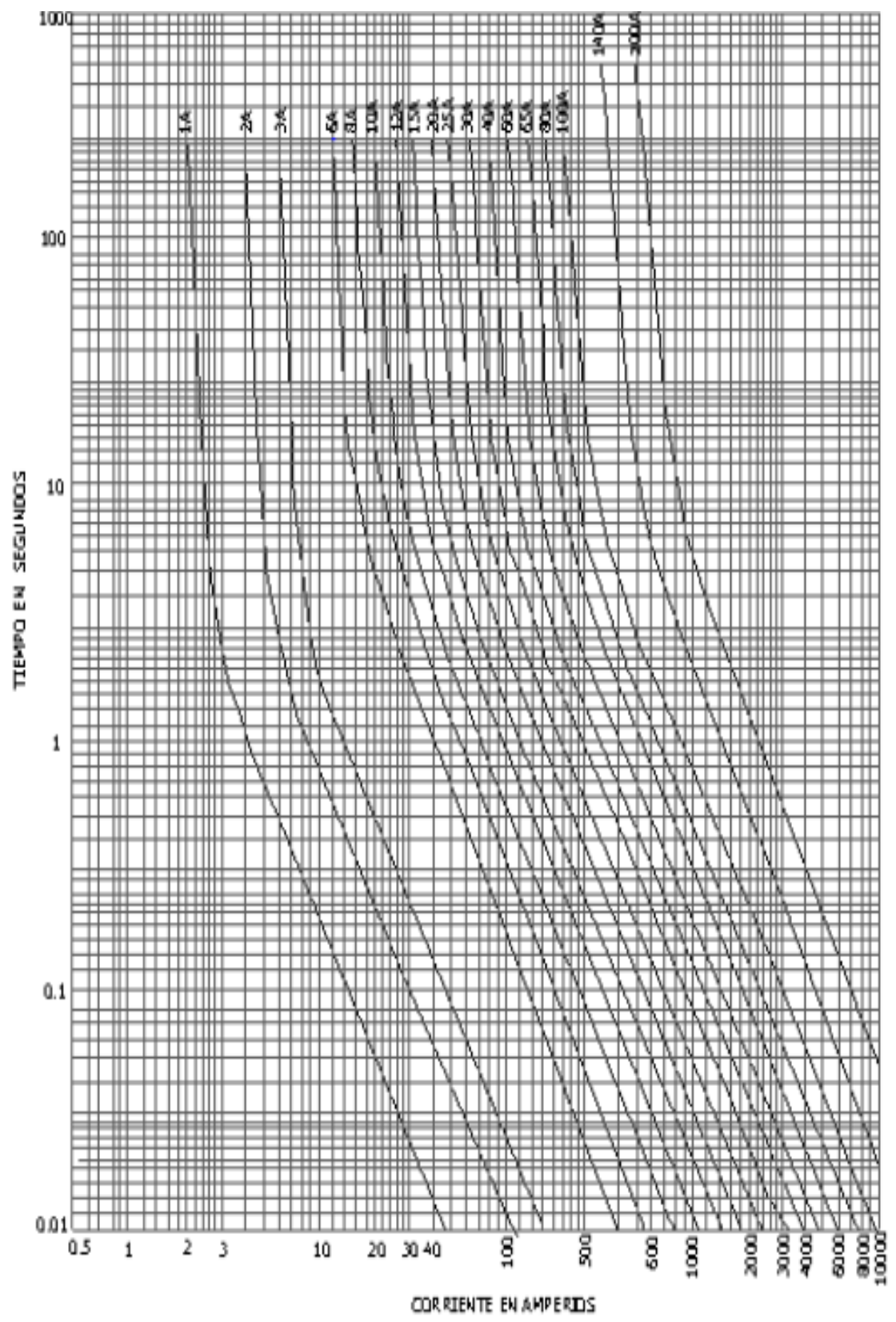
- <http://www.mitecnologico.com/Main/CorrienteAlterna>
- [http://www.omicron.at/fileadmin/user\\_upload/files/pdf/es/CM-Line-Catalog-ESP.pdf](http://www.omicron.at/fileadmin/user_upload/files/pdf/es/CM-Line-Catalog-ESP.pdf).
- <http://www.electronicrepairguide.com/spanish.php?u=how-to-test-a-fuse.html>
- <http://www.atoncer.com/es/negocios/fuentes-electrica.htm>
- [http://www.electroindustria.com/aplicacion.asp?inf\\_id=1209](http://www.electroindustria.com/aplicacion.asp?inf_id=1209)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Fusible>
- <http://www.directindustry.es/prod/eti/fusible-de-media-tension-26771-274729.html>
- <http://www.electricidadlynch.com.ar/fusiblehh.htm>
- <http://es.farnell.com/bussmann/dmm-b-44-100/fusible-equipo-de-prueba-440ma/dp/1241957>
- <http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/submt/material/ssee01a.pdf>

## Anexos

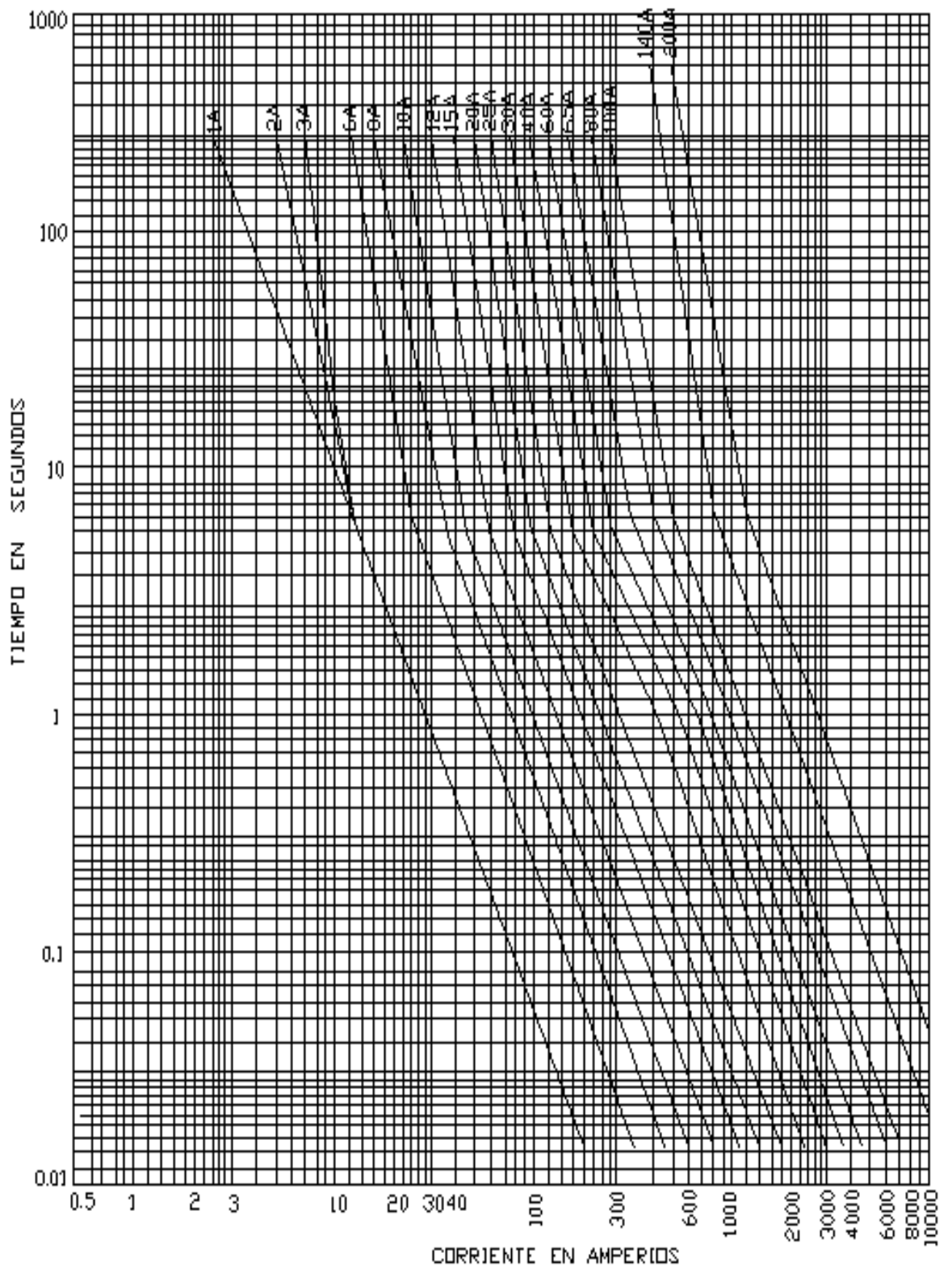
### Contenido:

- Anexo I: Curvas características t-I de fusión mínima para fusibles tipo K.
- Anexo II: Curvas características t-I de despeje máximo para fusibles tipo T.
- Anexo III: Curvas características t-I de fusión mínima para fusibles tipo K.
- Anexo IV: Curvas características t-I de despeje máximo para fusibles tipo K.
- Anexo V: Curvas características t-I de fusión mínima para fusibles tipo H.
- Anexo VI: Curvas características t-I de despeje máximo para fusibles tipo H.
- Anexo VII: Instalación de la NI-USB 6212.
- Anexo VIII: Tablas de valores de corriente establecidos por el transformador de corriente.
- Anexo IX: Tablas de voltaje y corriente dados del circuito acondicionador.
- Anexo X: Especificaciones de la NI-USB 6212
- Anexo XI: Especificaciones del multímetro digital.
- Anexo XII: Fotografías de la construcción del equipo.
- Anexo XII: Planos del núcleo de hierro silicio.
- Anexo XII: Planos de los elementos de regulación.
- Anexo XII: Planos de la estructura metálica del equipo.

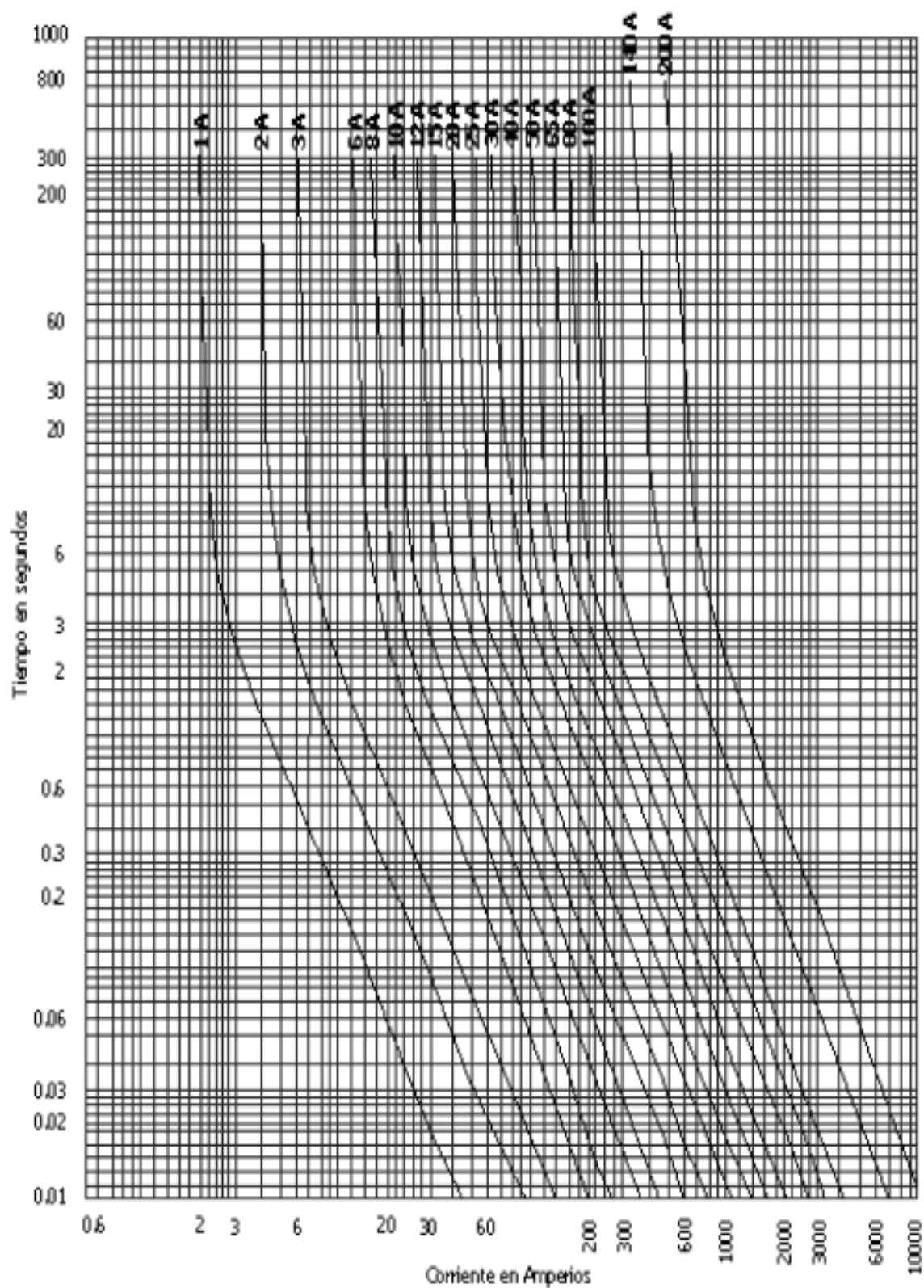
Anexo I: Curvas características t-I de fusión mínima para fusibles tipo K.



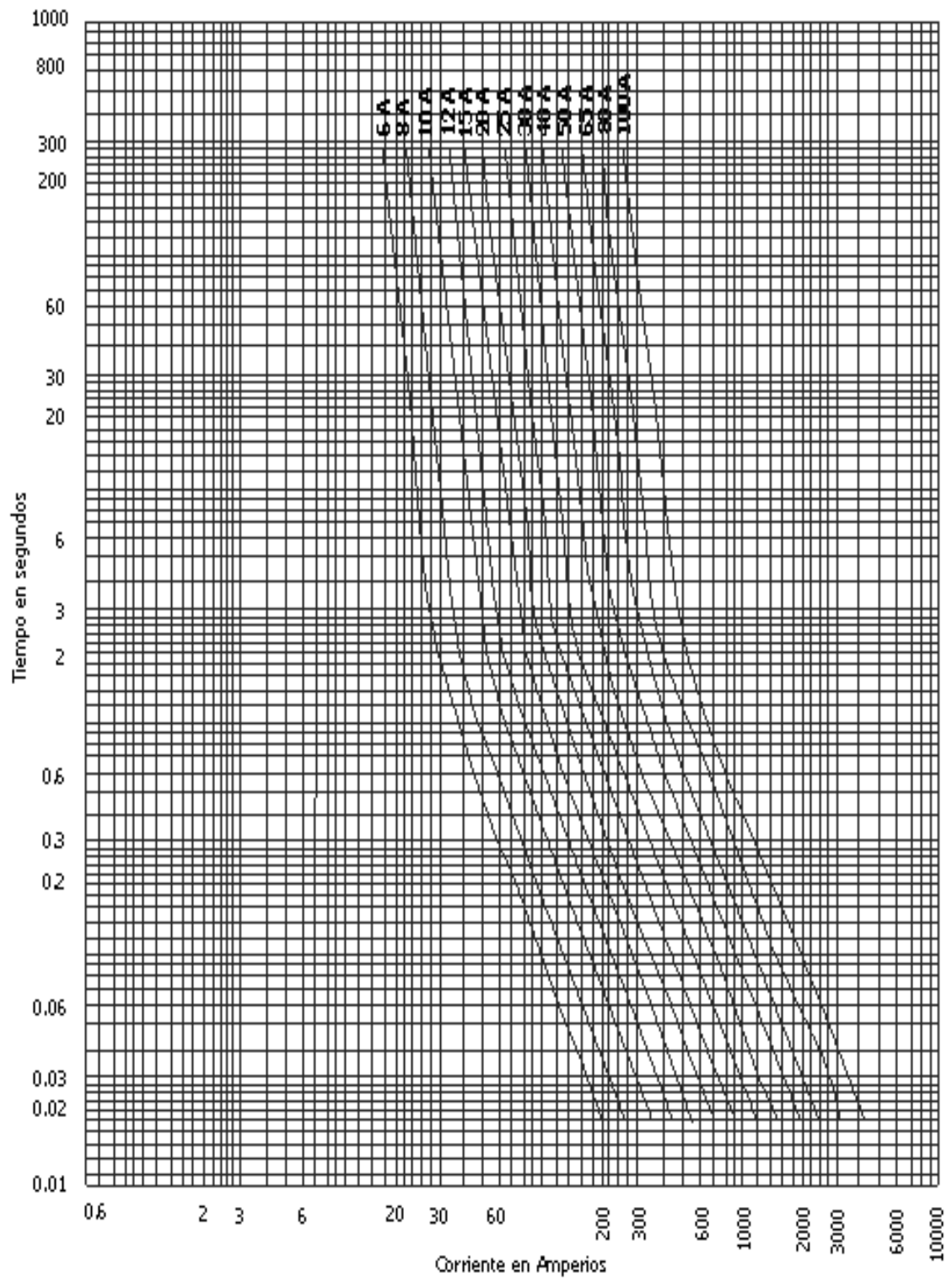
Anexo II: Curvas características t-I de despeje máximo para fusibles tipo T.



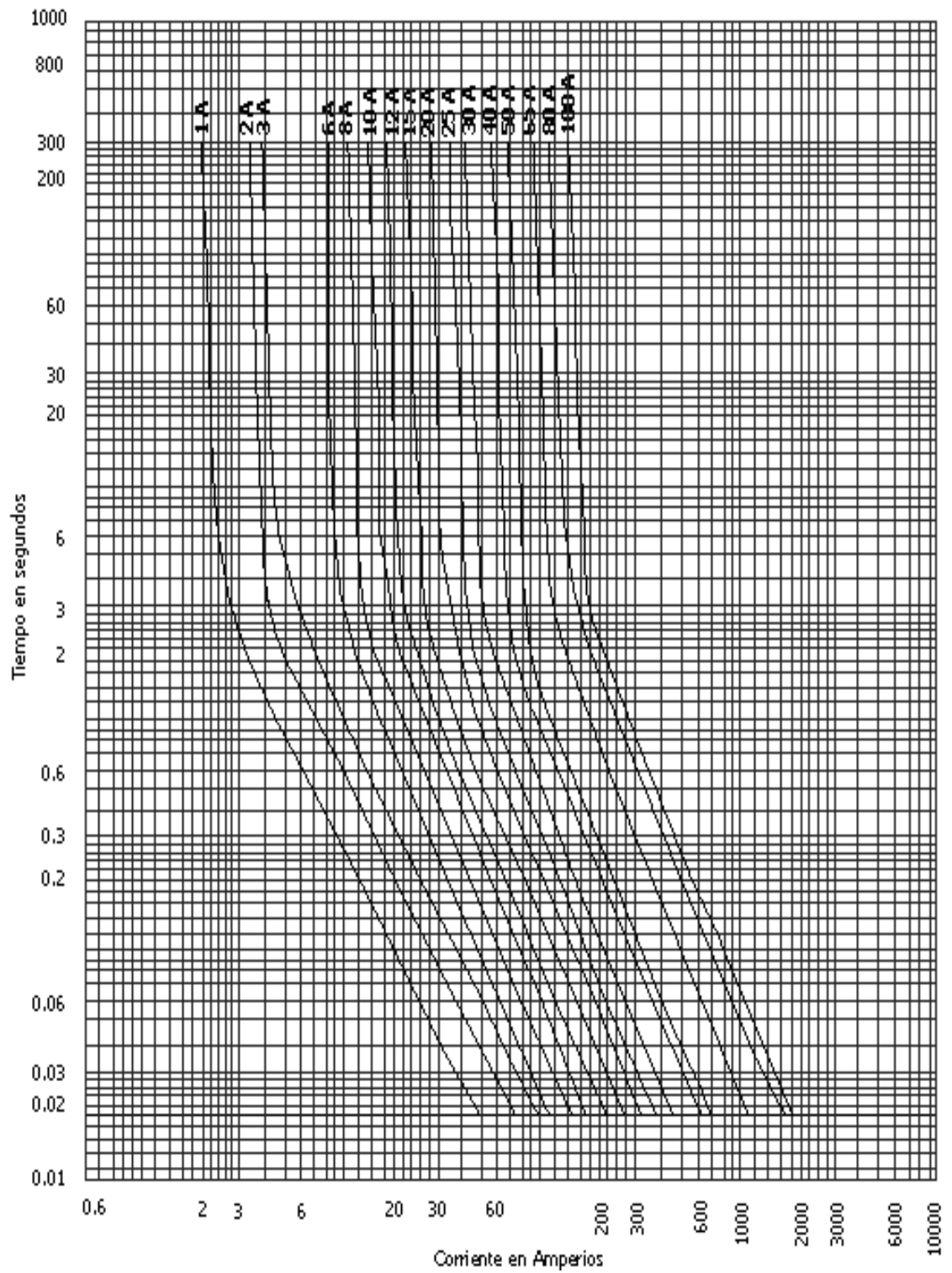
Anexo III: Curvas características t-I de fusión mínima para fusibles tipo K.



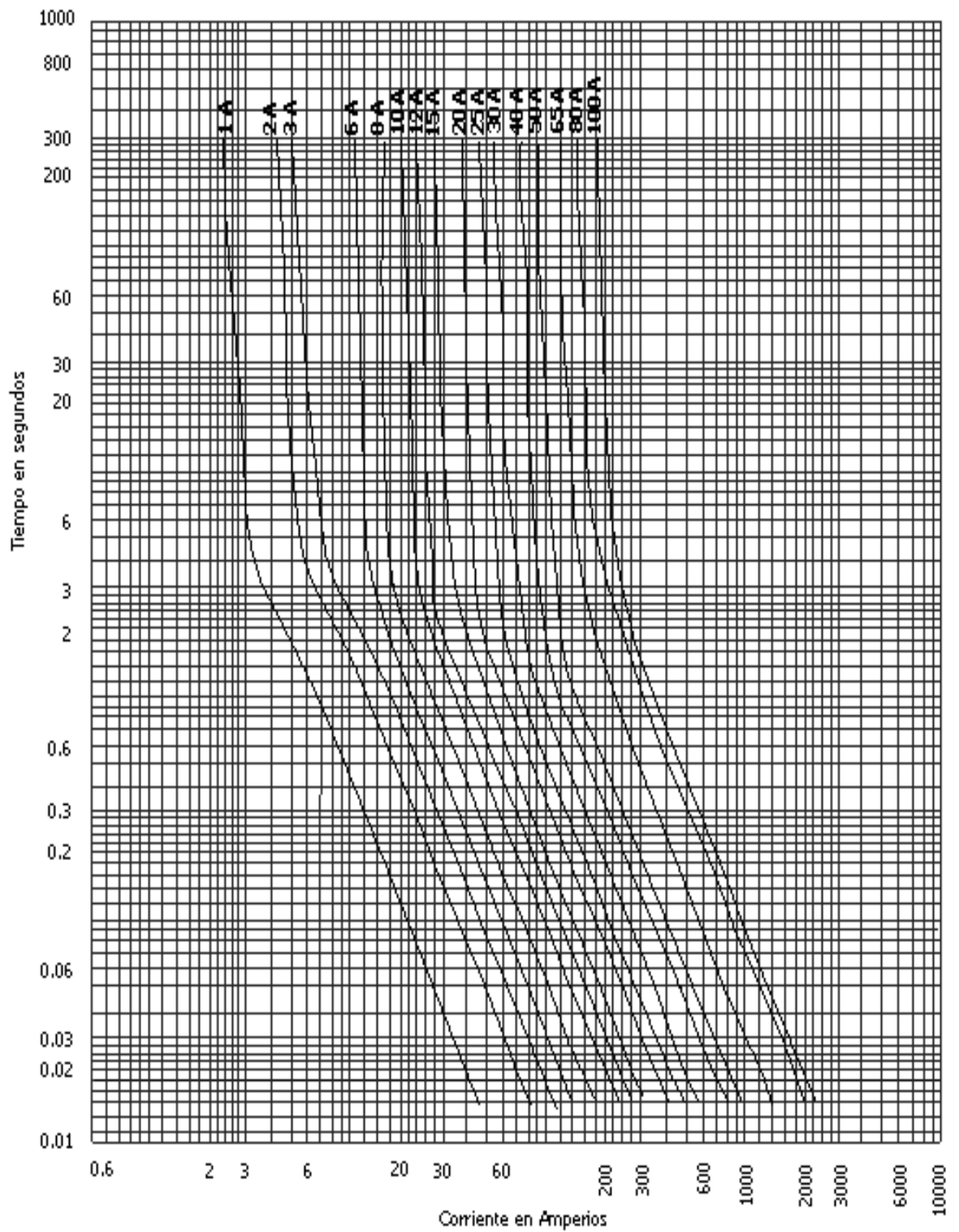
Anexo IV: Curvas características t-I de despeje máximo para fusibles tipo K.



Anexo V: Curvas características t-I de fusión mínima para fusibles tipo H.

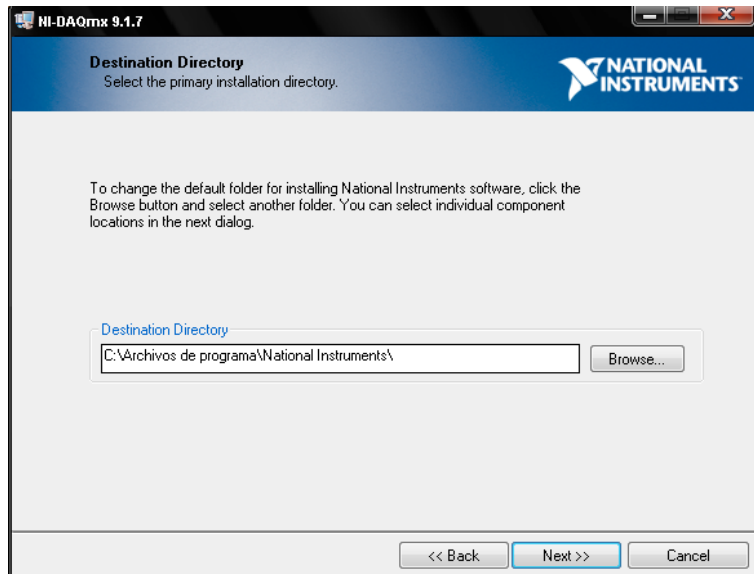


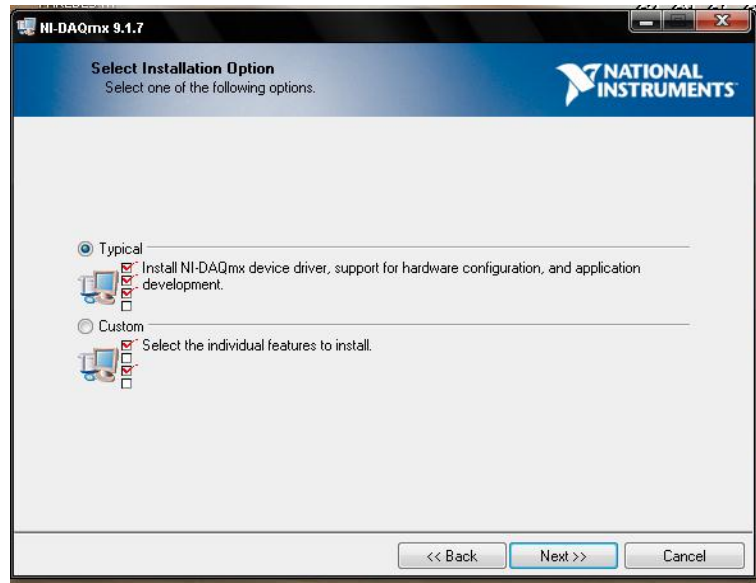
Anexo VI: Curvas características t-I de despeje máximo para fusibles tipo H.





– Anexo VII: Instalación de la NI-USB 6212.







Anexo VIII: Tablas de valores de corriente establecidos por el transformador de corriente.

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
1	0,025
1,1	0,0275
1,2	0,03
1,3	0,0325
1,4	0,035
1,5	0,0375
1,6	0,04
1,7	0,0425
1,8	0,045
1,9	0,0475
2	0,05
2,1	0,0525
2,2	0,055
2,3	0,0575
2,4	0,06
2,5	0,0625
2,6	0,065
2,7	0,0675
2,8	0,07
2,9	0,0725
3	0,075
3,1	0,0775
3,2	0,08
3,3	0,0825
3,4	0,085
3,5	0,0875
3,6	0,09
3,7	0,0925
3,8	0,095
3,9	0,0975
4	0,1
4,1	0,1025
4,2	0,105
4,3	0,1075
4,4	0,11
4,5	0,1125
4,6	0,115
4,7	0,1175
4,8	0,12
4,9	0,1225
5	0,125

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
10	0,25
10,1	0,2525
10,2	0,255
10,3	0,2575
10,4	0,26
10,5	0,2625
10,6	0,265
10,7	0,2675
10,8	0,27
10,9	0,2725
11	0,275
11,1	0,2775
11,2	0,28
11,3	0,2825
11,4	0,285
11,5	0,2875
11,6	0,29
11,7	0,2925
11,8	0,295
11,9	0,2975
12	0,3
12,1	0,3025
12,2	0,305
12,3	0,3075
12,4	0,31
12,5	0,3125
12,6	0,315
12,7	0,3175
12,8	0,32
12,9	0,3225
13	0,325
13,1	0,3275
13,2	0,33
13,3	0,3325
13,4	0,335
13,5	0,3375
13,6	0,34
13,7	0,3425
13,8	0,345
13,9	0,3475
14	0,35

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
19	0,475
19,1	0,4775
19,2	0,48
19,3	0,4825
19,4	0,485
19,5	0,4875
19,6	0,49
19,7	0,4925
19,8	0,495
19,9	0,4975
20	0,5
20,1	0,5025
20,2	0,505
20,3	0,5075
20,4	0,51
20,5	0,5125
20,6	0,515
20,7	0,5175
20,8	0,52
20,9	0,5225
21	0,525
21,1	0,5275
21,2	0,53
21,3	0,5325
21,4	0,535
21,5	0,5375
21,6	0,54
21,7	0,5425
21,8	0,545
21,9	0,5475
22	0,55
22,1	0,5525
22,2	0,555
22,3	0,5575
22,4	0,56
22,5	0,5625
22,6	0,565
22,7	0,5675
22,8	0,57
22,9	0,5725
23	0,575

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
5,1	0,1275
5,2	0,13
5,3	0,1325
5,4	0,135
5,5	0,1375
5,6	0,14
5,7	0,1425
5,8	0,145
5,9	0,1475
6	0,15
6,1	0,1525
6,2	0,155
6,3	0,1575
6,4	0,16
6,5	0,1625
6,6	0,165
6,7	0,1675
6,8	0,17
6,9	0,1725
7	0,175
7,1	0,1775
7,2	0,18
7,3	0,1825
7,4	0,185
7,5	0,1875
7,6	0,19
7,7	0,1925
7,8	0,195
7,9	0,1975
8	0,2
8,1	0,2025
8,2	0,205
8,3	0,2075
8,4	0,21
8,5	0,2125
8,6	0,215
8,7	0,2175
8,8	0,22
8,9	0,2225
9	0,225
9,1	0,2275

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
14,1	0,3525
14,2	0,355
14,3	0,3575
14,4	0,36
14,5	0,3625
14,6	0,365
14,7	0,3675
14,8	0,37
14,9	0,3725
15	0,375
15,1	0,3775
15,2	0,38
15,3	0,3825
15,4	0,385
15,5	0,3875
15,6	0,39
15,7	0,3925
15,8	0,395
15,9	0,3975
16	0,4
16,1	0,4025
16,2	0,405
16,3	0,4075
16,4	0,41
16,5	0,4125
16,6	0,415
16,7	0,4175
16,8	0,42
16,9	0,4225
17	0,425
17,1	0,4275
17,2	0,43
17,3	0,4325
17,4	0,435
17,5	0,4375
17,6	0,44
17,7	0,4425
17,8	0,445
17,9	0,4475
18	0,45
18,1	0,4525

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
23,1	0,5775
23,2	0,58
23,3	0,5825
23,4	0,585
23,5	0,5875
23,6	0,59
23,7	0,5925
23,8	0,595
23,9	0,5975
24	0,6
24,1	0,6025
24,2	0,605
24,3	0,6075
24,4	0,61
24,5	0,6125
24,6	0,615
24,7	0,6175
24,8	0,62
24,9	0,6225
25	0,625
25,1	0,6275
25,2	0,63
25,3	0,6325
25,4	0,635
25,5	0,6375
25,6	0,64
25,7	0,6425
25,8	0,645
26	0,65
26,1	0,6525
26,2	0,655
26,3	0,6575
26,4	0,66
26,5	0,6625
26,6	0,665
26,7	0,6675
26,8	0,67
26,9	0,6725
27	0,675
27,1	0,6775
27,2	0,68

9,2	0,23
9,3	0,2325
9,4	0,235
9,5	0,2375
9,6	0,24
9,7	0,2425
9,8	0,245
9,9	0,2475

18,2	0,455
18,3	0,4575
18,4	0,46
18,5	0,4625
18,6	0,465
18,7	0,4675
18,8	0,47
18,9	0,4725

27,3	0,6825
27,4	0,685
27,5	0,6875
27,6	0,69
27,7	0,6925
27,8	0,695
27,9	0,6975
28	0,7

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
28,1	0,7025
28,2	0,705
28,3	0,7075
28,4	0,71
28,5	0,7125
28,6	0,715
28,7	0,7175
28,8	0,72
28,9	0,7225
29	0,725
29,1	0,7275
29,2	0,73
29,3	0,7325
29,4	0,735
29,5	0,7375
29,6	0,74
29,7	0,7425
29,8	0,745
29,9	0,7475
30	0,75
30,1	0,7525
30,2	0,755
30,3	0,7575
30,4	0,76
30,5	0,7625
30,6	0,765
30,7	0,7675
30,8	0,77
30,9	0,7725
31	0,775
31,1	0,7775
31,2	0,78
31,3	0,7825
31,4	0,785
31,5	0,7875
31,6	0,79
31,7	0,7925
31,8	0,795
31,9	0,7975
32	0,8
32,1	0,8025

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
37,1	0,9275
37,2	0,93
37,3	0,9325
37,4	0,935
37,5	0,9375
37,6	0,94
37,7	0,9425
37,8	0,945
37,9	0,9475
38	0,95
38,1	0,9525
38,2	0,955
38,3	0,9575
38,4	0,96
38,5	0,9625
38,6	0,965
38,7	0,9675
38,8	0,97
38,9	0,9725
39	0,975
39,1	0,9775
39,2	0,98
39,3	0,9825
39,4	0,985
39,5	0,9875
39,6	0,99
39,7	0,9925
39,8	0,995
39,9	0,9975
40	1
40,1	1,0025
40,2	1,005
40,3	1,0075
40,4	1,01
40,5	1,0125
40,6	1,015
40,7	1,0175
40,8	1,02
40,9	1,0225
41	1,025
41,1	1,0275

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
46,1	1,1525
46,2	1,155
46,3	1,1575
46,4	1,16
46,5	1,1625
46,6	1,165
46,7	1,1675
46,8	1,17
46,9	1,1725
47	1,175
47,1	1,1775
47,2	1,18
47,3	1,1825
47,4	1,185
47,5	1,1875
47,6	1,19
47,7	1,1925
47,8	1,195
47,9	1,1975
48	1,2
48,1	1,2025
48,2	1,205
48,3	1,2075
48,4	1,21
48,5	1,2125
48,6	1,215
48,7	1,2175
48,8	1,22
48,9	1,2225
49	1,225
49,1	1,2275
49,2	1,23
49,3	1,2325
49,4	1,235
49,5	1,2375
49,6	1,24
49,7	1,2425
49,8	1,245
49,9	1,2475
50	1,25
50,1	1,2525



<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
32,2	0,805
32,3	0,8075
32,4	0,81
32,5	0,8125
32,6	0,815
32,7	0,8175
32,8	0,82
32,9	0,8225
33	0,825
33,1	0,8275
33,2	0,83
33,3	0,8325
33,4	0,835
33,5	0,8375
33,6	0,84
33,7	0,8425
33,8	0,845
33,9	0,8475
34	0,85
34,1	0,8525
34,2	0,855
34,3	0,8575
34,4	0,86
34,5	0,8625
34,6	0,865
34,7	0,8675
34,8	0,87
34,9	0,8725
35	0,875
35,1	0,8775
35,2	0,88
35,3	0,8825
35,4	0,885
35,5	0,8875
35,6	0,89
35,7	0,8925
35,8	0,895
35,9	0,8975
36	0,9
36,1	0,9025
36,2	0,905

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
41,2	1,03
41,3	1,0325
41,4	1,035
41,5	1,0375
41,6	1,04
41,7	1,0425
41,8	1,045
41,9	1,0475
42	1,05
42,1	1,0525
42,2	1,055
42,3	1,0575
42,4	1,06
42,5	1,0625
42,6	1,065
42,7	1,0675
42,8	1,07
42,9	1,0725
43	1,075
43,1	1,0775
43,2	1,08
43,3	1,0825
43,4	1,085
43,5	1,0875
43,6	1,09
43,7	1,0925
43,8	1,095
43,9	1,0975
44	1,1
44,1	1,1025
44,2	1,105
44,3	1,1075
44,4	1,11
44,5	1,1125
44,6	1,115
44,7	1,1175
44,8	1,12
44,9	1,1225
45	1,125
45,1	1,1275
45,2	1,13

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
50,2	1,255
50,3	1,2575
50,4	1,26
50,5	1,2625
50,6	1,265
50,7	1,2675
50,8	1,27
50,9	1,2725
51	1,275
51,1	1,2775
51,2	1,28
51,3	1,2825
51,4	1,285
51,5	1,2875
51,6	1,29
51,7	1,2925
51,8	1,295
51,9	1,2975
52	1,3
52,1	1,3025
52,2	1,305
52,3	1,3075
52,4	1,31
52,5	1,3125
52,6	1,315
52,7	1,3175
52,8	1,32
52,9	1,3225
53	1,325
53,1	1,3275
53,2	1,33
53,3	1,3325
53,4	1,335
53,5	1,3375
53,6	1,34
53,7	1,3425
53,8	1,345
53,9	1,3475
54	1,35
54,1	1,3525
54,2	1,355

36,3	0,9075
36,4	0,91
36,5	0,9125
36,6	0,915
36,7	0,9175
36,8	0,92
36,9	0,9225
37	0,925

45,3	1,1325
45,4	1,135
45,5	1,1375
45,6	1,14
45,7	1,1425
45,8	1,145
45,9	1,1475
46	1,15

54,3	1,3575
54,4	1,36
54,5	1,3625
54,6	1,365
54,7	1,3675
54,8	1,37
54,9	1,3725
55	1,375

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
55,1	1,3775
55,2	1,38
55,3	1,3825
55,4	1,385
55,5	1,3875
55,6	1,39
55,7	1,3925
55,8	1,395
55,9	1,3975
56	1,4
56,1	1,4025
56,2	1,405
56,3	1,4075
56,4	1,41
56,5	1,4125
56,6	1,415
56,7	1,4175
56,8	1,42
56,9	1,4225
57	1,425
57,1	1,4275
57,2	1,43
57,3	1,4325
57,4	1,435
57,5	1,4375
57,6	1,44
57,7	1,4425
57,8	1,445
57,9	1,4475
58	1,45
58,1	1,4525
58,2	1,455
58,3	1,4575
58,4	1,46
58,5	1,4625
58,6	1,465
58,7	1,4675
58,8	1,47
58,9	1,4725
59	1,475
59,1	1,4775

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
64,1	1,6025
64,2	1,605
64,3	1,6075
64,4	1,61
64,5	1,6125
64,6	1,615
64,7	1,6175
64,8	1,62
64,9	1,6225
65	1,625
65,1	1,6275
65,2	1,63
65,3	1,6325
65,4	1,635
65,5	1,6375
65,6	1,64
65,7	1,6425
65,8	1,645
65,9	1,6475
66	1,65
66,1	1,6525
66,2	1,655
66,3	1,6575
66,4	1,66
66,5	1,6625
66,6	1,665
66,7	1,6675
66,8	1,67
66,9	1,6725
67	1,675
67,1	1,6775
67,2	1,68
67,3	1,6825
67,4	1,685
67,5	1,6875
67,6	1,69
67,7	1,6925
67,8	1,695
67,9	1,6975
68	1,7
68,1	1,7025

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
73,1	1,8275
73,2	1,83
73,3	1,8325
73,4	1,835
73,5	1,8375
73,6	1,84
73,7	1,8425
73,8	1,845
73,9	1,8475
74	1,85
74,1	1,8525
74,2	1,855
74,3	1,8575
74,4	1,86
74,5	1,8625
74,6	1,865
74,7	1,8675
74,8	1,87
74,9	1,8725
75	1,875
75,1	1,8775
75,2	1,88
75,3	1,8825
75,4	1,885
75,5	1,8875
75,6	1,89
75,7	1,8925
75,8	1,895
75,9	1,8975
76	1,9
76,1	1,9025
76,2	1,905
76,3	1,9075
76,4	1,91
76,5	1,9125
76,6	1,915
76,7	1,9175
76,8	1,92
76,9	1,9225
77	1,925
77,1	1,9275

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
59,2	1,48
59,3	1,4825
59,4	1,485
59,5	1,4875
59,6	1,49
59,7	1,4925
59,8	1,495
59,9	1,4975
60	1,5
60,1	1,5025
60,2	1,505
60,3	1,5075
60,4	1,51
60,5	1,5125
60,6	1,515
60,7	1,5175
60,8	1,52
60,9	1,5225
61	1,525
61,1	1,5275
61,2	1,53
61,3	1,5325
61,4	1,535
61,5	1,5375
61,6	1,54
61,7	1,5425
61,8	1,545
61,9	1,5475
62	1,55
62,1	1,5525
62,2	1,555
62,3	1,5575
62,4	1,56
62,5	1,5625
62,6	1,565
62,7	1,5675
62,8	1,57
62,9	1,5725
63	1,575
63,1	1,5775
63,2	1,58

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
68,2	1,705
68,3	1,7075
68,4	1,71
68,5	1,7125
68,6	1,715
68,7	1,7175
68,8	1,72
68,9	1,7225
69	1,725
69,1	1,7275
69,2	1,73
69,3	1,7325
69,4	1,735
69,5	1,7375
69,6	1,74
69,7	1,7425
69,8	1,745
69,9	1,7475
70	1,75
70,1	1,7525
70,2	1,755
70,3	1,7575
70,4	1,76
70,5	1,7625
70,6	1,765
70,7	1,7675
70,8	1,77
70,9	1,7725
71	1,775
71,1	1,7775
71,2	1,78
71,3	1,7825
71,4	1,785
71,5	1,7875
71,6	1,79
71,7	1,7925
71,8	1,795
71,9	1,7975
72	1,8
72,1	1,8025
72,2	1,805

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
77,2	1,93
77,3	1,9325
77,4	1,935
77,5	1,9375
77,6	1,94
77,7	1,9425
77,8	1,945
77,9	1,9475
78	1,95
78,1	1,9525
78,2	1,955
78,3	1,9575
78,4	1,96
78,5	1,9625
78,6	1,965
78,7	1,9675
78,8	1,97
78,9	1,9725
79	1,975
79,1	1,9775
79,2	1,98
79,3	1,9825
79,4	1,985
79,5	1,9875
79,6	1,99
79,7	1,9925
79,8	1,995
79,9	1,9975
80	2
80,1	2,0025
80,2	2,005
80,3	2,0075
80,4	2,01
80,5	2,0125
80,6	2,015
80,7	2,0175
80,8	2,02
80,9	2,0225
81	2,025
81,1	2,0275
81,2	2,03

63,3	1,5825
63,4	1,585
63,5	1,5875
63,6	1,59
63,7	1,5925
63,8	1,595
63,9	1,5975
64	1,6

72,3	1,8075
72,4	1,81
72,5	1,8125
72,6	1,815
72,7	1,8175
72,8	1,82
72,9	1,8225
73	1,825

81,3	2,0325
81,4	2,035
81,5	2,0375
81,6	2,04
81,7	2,0425
81,8	2,045
81,9	2,0475
82	2,05

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
82,1	2,0525
82,2	2,055
82,3	2,0575
82,4	2,06
82,5	2,0625
82,6	2,065
82,7	2,0675
82,8	2,07
82,9	2,0725
83	2,075
83,1	2,0775
83,2	2,08
83,3	2,0825
83,4	2,085
83,5	2,0875
83,6	2,09
83,7	2,0925
83,8	2,095
83,9	2,0975
84	2,1
84,1	2,1025
84,2	2,105
84,3	2,1075
84,4	2,11
84,5	2,1125
84,6	2,115
84,7	2,1175
84,8	2,12
84,9	2,1225
85	2,125
85,1	2,1275
85,2	2,13
85,3	2,1325
85,4	2,135
85,5	2,1375
85,6	2,14
85,7	2,1425
85,8	2,145
85,9	2,1475
86	2,15
86,1	2,1525

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
91,1	2,2775
91,2	2,28
91,3	2,2825
91,4	2,285
91,5	2,2875
91,6	2,29
91,7	2,2925
91,8	2,295
91,9	2,2975
92	2,3
92,1	2,3025
92,2	2,305
92,3	2,3075
92,4	2,31
92,5	2,3125
92,6	2,315
92,7	2,3175
92,8	2,32
92,9	2,3225
93	2,325
93,1	2,3275
93,2	2,33
93,3	2,3325
93,4	2,335
93,5	2,3375
93,6	2,34
93,7	2,3425
93,8	2,345
93,9	2,3475
94	2,35
94,1	2,3525
94,2	2,355
94,3	2,3575
94,4	2,36
94,5	2,3625
94,6	2,365
94,7	2,3675
94,8	2,37
94,9	2,3725
95	2,375
95,1	2,3775

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
100,1	2,5025
100,2	2,505
100,3	2,5075
100,4	2,51
100,5	2,5125
100,6	2,515
100,7	2,5175
100,8	2,52
100,9	2,5225
101	2,525
101,1	2,5275
101,2	2,53
101,3	2,5325
101,4	2,535
101,5	2,5375
101,6	2,54
101,7	2,5425
101,8	2,545
101,9	2,5475
102	2,55
102,1	2,5525
102,2	2,555
102,3	2,5575
102,4	2,56
102,5	2,5625
102,6	2,565
102,7	2,5675
102,8	2,57
102,9	2,5725
103	2,575
103,1	2,5775
103,2	2,58
103,3	2,5825
103,4	2,585
103,5	2,5875
103,6	2,59
103,7	2,5925
103,8	2,595
103,9	2,5975
104	2,6
104,1	2,6025

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
86,2	2,155
86,3	2,1575
86,4	2,16
86,5	2,1625
86,6	2,165
86,7	2,1675
86,8	2,17
86,9	2,1725
87	2,175
87,1	2,1775
87,2	2,18
87,3	2,1825
87,4	2,185
87,5	2,1875
87,6	2,19
87,7	2,1925
87,8	2,195
87,9	2,1975
88	2,2
88,1	2,2025
88,2	2,205
88,3	2,2075
88,4	2,21
88,5	2,2125
88,6	2,215
88,7	2,2175
88,8	2,22
88,9	2,2225
89	2,225
89,1	2,2275
89,2	2,23
89,3	2,2325
89,4	2,235
89,5	2,2375
89,6	2,24
89,7	2,2425
89,8	2,245
89,9	2,2475
90	2,25
90,1	2,2525
90,2	2,255

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
95,2	2,38
95,3	2,3825
95,4	2,385
95,5	2,3875
95,6	2,39
95,7	2,3925
95,8	2,395
95,9	2,3975
96	2,4
96,1	2,4025
96,2	2,405
96,3	2,4075
96,4	2,41
96,5	2,4125
96,6	2,415
96,7	2,4175
96,8	2,42
96,9	2,4225
97	2,425
97,1	2,4275
97,2	2,43
97,3	2,4325
97,4	2,435
97,5	2,4375
97,6	2,44
97,7	2,4425
97,8	2,445
97,9	2,4475
98	2,45
98,1	2,4525
98,2	2,455
98,3	2,4575
98,4	2,46
98,5	2,4625
98,6	2,465
98,7	2,4675
98,8	2,47
98,9	2,4725
99	2,475
99,1	2,4775
99,2	2,48

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
104,2	2,605
104,3	2,6075
104,4	2,61
104,5	2,6125
104,6	2,615
104,7	2,6175
104,8	2,62
104,9	2,6225
105	2,625
105,1	2,6275
105,2	2,63
105,3	2,6325
105,4	2,635
105,5	2,6375
105,6	2,64
105,7	2,6425
105,8	2,645
105,9	2,6475
106	2,65
106,1	2,6525
106,2	2,655
106,3	2,6575
106,4	2,66
106,5	2,6625
106,6	2,665
106,7	2,6675
106,8	2,67
106,9	2,6725
107	2,675
107,1	2,6775
107,2	2,68
107,3	2,6825
107,4	2,685
107,5	2,6875
107,6	2,69
107,7	2,6925
107,8	2,695
107,9	2,6975
108	2,7
108,1	2,7025
108,2	2,705

90,3	2,2575
90,4	2,26
90,5	2,2625
90,6	2,265
90,7	2,2675
90,8	2,27
90,9	2,2725
91	2,275

99,3	2,4825
99,4	2,485
99,5	2,4875
99,6	2,49
99,7	2,4925
99,8	2,495
99,9	2,4975
100	2,5

108,3	2,7075
108,4	2,71
108,5	2,7125
108,6	2,715
108,7	2,7175
108,8	2,72
108,9	2,7225
109	2,725



<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
109,1	2,7275
109,2	2,73
109,3	2,7325
109,4	2,735
109,5	2,7375
109,6	2,74
109,7	2,7425
109,8	2,745
109,9	2,7475
110	2,75
110,1	2,7525
110,2	2,755
110,3	2,7575
110,4	2,76
110,5	2,7625
110,6	2,765
110,7	2,7675
110,8	2,77
110,9	2,7725
111	2,775
111,1	2,7775
111,2	2,78
111,3	2,7825
111,4	2,785
111,5	2,7875
111,6	2,79
111,7	2,7925
111,8	2,795
111,9	2,7975
112	2,8
112,1	2,8025
112,2	2,805
112,3	2,8075
112,4	2,81
112,5	2,8125
112,6	2,815
112,7	2,8175
112,8	2,82
112,9	2,8225
113	2,825
113,1	2,8275

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
118,1	2,9525
118,2	2,955
118,3	2,9575
118,4	2,96
118,5	2,9625
118,6	2,965
118,7	2,9675
118,8	2,97
118,9	2,9725
119	2,975
119,1	2,9775
119,2	2,98
119,3	2,9825
119,4	2,985
119,5	2,9875
119,6	2,99
119,7	2,9925
119,8	2,995
119,9	2,9975
120	3
120,1	3,0025
120,2	3,005
120,3	3,0075
120,4	3,01
120,5	3,0125
120,6	3,015
120,7	3,0175
120,8	3,02
120,9	3,0225
121	3,025
121,1	3,0275
121,2	3,03
121,3	3,0325
121,4	3,035
121,5	3,0375
121,6	3,04
121,7	3,0425
121,8	3,045
121,9	3,0475
122	3,05
122,1	3,0525

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
127,1	3,1775
127,2	3,18
127,3	3,1825
127,4	3,185
127,5	3,1875
127,6	3,19
127,7	3,1925
127,8	3,195
127,9	3,1975
128	3,2
128,1	3,2025
128,2	3,205
128,3	3,2075
128,4	3,21
128,5	3,2125
128,6	3,215
128,7	3,2175
128,8	3,22
128,9	3,2225
129	3,225
129,1	3,2275
129,2	3,23
129,3	3,2325
129,4	3,235
129,5	3,2375
129,6	3,24
129,7	3,2425
129,8	3,245
129,9	3,2475
130	3,25
130,1	3,2525
130,2	3,255
130,3	3,2575
130,4	3,26
130,5	3,2625
130,6	3,265
130,7	3,2675
130,8	3,27
130,9	3,2725
131	3,275
131,1	3,2775

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
113,2	2,83
113,3	2,8325
113,4	2,835
113,5	2,8375
113,6	2,84
113,7	2,8425
113,8	2,845
113,9	2,8475
114	2,85
114,1	2,8525
114,2	2,855
114,3	2,8575
114,4	2,86
114,5	2,8625
114,6	2,865
114,7	2,8675
114,8	2,87
114,9	2,8725
115	2,875
115,1	2,8775
115,2	2,88
115,3	2,8825
115,4	2,885
115,5	2,8875
115,6	2,89
115,7	2,8925
115,8	2,895
115,9	2,8975
116	2,9
116,1	2,9025
116,2	2,905
116,3	2,9075
116,4	2,91
116,5	2,9125
116,6	2,915
116,7	2,9175
116,8	2,92
116,9	2,9225
117	2,925
117,1	2,9275
117,2	2,93

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
122,2	3,055
122,3	3,0575
122,4	3,06
122,5	3,0625
122,6	3,065
122,7	3,0675
122,8	3,07
122,9	3,0725
123	3,075
123,1	3,0775
123,2	3,08
123,3	3,0825
123,4	3,085
123,5	3,0875
123,6	3,09
123,7	3,0925
123,8	3,095
123,9	3,0975
124	3,1
124,1	3,1025
124,2	3,105
124,3	3,1075
124,4	3,11
124,5	3,1125
124,6	3,115
124,7	3,1175
124,8	3,12
124,9	3,1225
125	3,125
125,1	3,1275
125,2	3,13
125,3	3,1325
125,4	3,135
125,5	3,1375
125,6	3,14
125,7	3,1425
125,8	3,145
125,9	3,1475
126	3,15
126,1	3,1525
126,2	3,155

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
131,2	3,28
131,3	3,2825
131,4	3,285
131,5	3,2875
131,6	3,29
131,7	3,2925
131,8	3,295
131,9	3,2975
132	3,3
132,1	3,3025
132,2	3,305
132,3	3,3075
132,4	3,31
132,5	3,3125
132,6	3,315
132,7	3,3175
132,8	3,32
132,9	3,3225
133	3,325
133,1	3,3275
133,2	3,33
133,3	3,3325
133,4	3,335
133,5	3,3375
133,6	3,34
133,7	3,3425
133,8	3,345
133,9	3,3475
134	3,35
134,1	3,3525
134,2	3,355
134,3	3,3575
134,4	3,36
134,5	3,3625
134,6	3,365
134,7	3,3675
134,8	3,37
134,9	3,3725
135	3,375
135,1	3,3775
135,2	3,38

117,3	2,9325
117,4	2,935
117,5	2,9375
117,6	2,94
117,7	2,9425
117,8	2,945
117,9	2,9475
118	2,95

126,3	3,1575
126,4	3,16
126,5	3,1625
126,6	3,165
126,7	3,1675
126,8	3,17
126,9	3,1725
127	3,175

135,3	3,3825
135,4	3,385
135,5	3,3875
135,6	3,39
135,7	3,3925
135,8	3,395
135,9	3,3975
136	3,4

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
136,1	3,4025
136,2	3,405
136,3	3,4075
136,4	3,41
136,5	3,4125
136,6	3,415
136,7	3,4175
136,8	3,42
136,9	3,4225
137	3,425
137,1	3,4275
137,2	3,43
137,3	3,4325
137,4	3,435
137,5	3,4375
137,6	3,44
137,7	3,4425
137,8	3,445
137,9	3,4475
138	3,45
138,1	3,4525
138,2	3,455
138,3	3,4575
138,4	3,46
138,5	3,4625
138,6	3,465
138,7	3,4675
138,8	3,47
138,9	3,4725
139	3,475
139,1	3,4775
139,2	3,48
139,3	3,4825
139,4	3,485
139,5	3,4875
139,6	3,49
139,7	3,4925
139,8	3,495
139,9	3,4975
140	3,5
140,1	3,5025

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
145,1	3,6275
145,2	3,63
145,3	3,6325
145,4	3,635
145,5	3,6375
145,6	3,64
145,7	3,6425
145,8	3,645
145,9	3,6475
146	3,65
146,1	3,6525
146,2	3,655
146,3	3,6575
146,4	3,66
146,5	3,6625
146,6	3,665
146,7	3,6675
146,8	3,67
146,9	3,6725
147	3,675
147,1	3,6775
147,2	3,68
147,3	3,6825
147,4	3,685
147,5	3,6875
147,6	3,69
147,7	3,6925
147,8	3,695
147,9	3,6975
148	3,7
148,1	3,7025
148,2	3,705
148,3	3,7075
148,4	3,71
148,5	3,7125
148,6	3,715
148,7	3,7175
148,8	3,72
148,9	3,7225
149	3,725
149,1	3,7275

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
140,2	3,505
140,3	3,5075
140,4	3,51
140,5	3,5125
140,6	3,515
140,7	3,5175
140,8	3,52
140,9	3,5225
141	3,525
141,1	3,5275
141,2	3,53
141,3	3,5325
141,4	3,535
141,5	3,5375
141,6	3,54
141,7	3,5425
141,8	3,545
141,9	3,5475
142	3,55
142,1	3,5525
142,2	3,555
142,3	3,5575
142,4	3,56
142,5	3,5625
142,6	3,565
142,7	3,5675
142,8	3,57
142,9	3,5725
143	3,575
143,1	3,5775
143,2	3,58
143,3	3,5825
143,4	3,585
143,5	3,5875
143,6	3,59
143,7	3,5925
143,8	3,595
143,9	3,5975
144	3,6
144,1	3,6025
144,2	3,605

<b>experimental</b>	<b>salida multímetro</b>
149,2	3,73
149,3	3,7325
149,4	3,735
149,5	3,7375
149,6	3,74
149,7	3,7425
149,8	3,745
149,9	3,7475
150	3,75

144,3	3,6075
144,4	3,61
144,5	3,6125
144,6	3,615
144,7	3,6175
144,8	3,62
144,9	3,6225
145	3,625

Anexo IX: Tablas de voltaje y corriente dados del circuito acondicionador.

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
0,025	0,003
0,0275	0,003
0,03	0,004
0,0325	0,004
0,035	0,004
0,0375	0,005
0,04	0,005
0,0425	0,005
0,045	0,006
0,0475	0,006
0,05	0,006
0,0525	0,006
0,055	0,007
0,0575	0,007
0,06	0,007
0,0625	0,008
0,065	0,008
0,0675	0,008
0,07	0,009
0,0725	0,009
0,075	0,009
0,0775	0,010
0,08	0,010
0,0825	0,010
0,085	0,010
0,0875	0,011
0,09	0,011
0,0925	0,011
0,095	0,012
0,0975	0,012
0,1	0,012
0,1025	0,013
0,105	0,013
0,1075	0,013
0,11	0,014
0,1125	0,014
0,115	0,014
0,1175	0,014
0,12	0,015
0,1225	0,015
0,125	0,015

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
0,25	0,031
0,2525	0,031
0,255	0,031
0,2575	0,032
0,26	0,032
0,2625	0,032
0,265	0,033
0,2675	0,033
0,27	0,033
0,2725	0,034
0,275	0,034
0,2775	0,034
0,28	0,034
0,2825	0,035
0,285	0,035
0,2875	0,035
0,29	0,036
0,2925	0,036
0,295	0,036
0,2975	0,037
0,3	0,037
0,3025	0,037
0,305	0,038
0,3075	0,038
0,31	0,038
0,3125	0,038
0,315	0,039
0,3175	0,039
0,32	0,039
0,3225	0,040
0,325	0,040
0,3275	0,040
0,33	0,041
0,3325	0,041
0,335	0,041
0,3375	0,042
0,34	0,042
0,3425	0,042
0,345	0,042
0,3475	0,043
0,35	0,043

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
0,475	0,058
0,4775	0,059
0,48	0,059
0,4825	0,059
0,485	0,060
0,4875	0,060
0,49	0,060
0,4925	0,061
0,495	0,061
0,4975	0,061
0,5	0,062
0,5025	0,062
0,505	0,062
0,5075	0,062
0,51	0,063
0,5125	0,063
0,515	0,063
0,5175	0,064
0,52	0,064
0,5225	0,064
0,525	0,065
0,5275	0,065
0,53	0,065
0,5325	0,065
0,535	0,066
0,5375	0,066
0,54	0,066
0,5425	0,067
0,545	0,067
0,5475	0,067
0,55	0,068
0,5525	0,068
0,555	0,068
0,5575	0,069
0,56	0,069
0,5625	0,069
0,565	0,069
0,5675	0,070
0,57	0,070
0,5725	0,070
0,575	0,071



<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
0,1275	0,016
0,13	0,016
0,1325	0,016
0,135	0,017
0,1375	0,017
0,14	0,017
0,1425	0,018
0,145	0,018
0,1475	0,018
0,15	0,018
0,1525	0,019
0,155	0,019
0,1575	0,019
0,16	0,020
0,1625	0,020
0,165	0,020
0,1675	0,021
0,17	0,021
0,1725	0,021
0,175	0,022
0,1775	0,022
0,18	0,022
0,1825	0,022
0,185	0,023
0,1875	0,023
0,19	0,023
0,1925	0,024
0,195	0,024
0,1975	0,024
0,2	0,025
0,2025	0,025
0,205	0,025
0,2075	0,026
0,21	0,026
0,2125	0,026
0,215	0,026
0,2175	0,027
0,22	0,027
0,2225	0,027
0,225	0,028
0,2275	0,028

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
0,3525	0,043
0,355	0,044
0,3575	0,044
0,36	0,044
0,3625	0,045
0,365	0,045
0,3675	0,045
0,37	0,046
0,3725	0,046
0,375	0,046
0,3775	0,046
0,38	0,047
0,3825	0,047
0,385	0,047
0,3875	0,048
0,39	0,048
0,3925	0,048
0,395	0,049
0,3975	0,049
0,4	0,049
0,4025	0,050
0,405	0,050
0,4075	0,050
0,41	0,050
0,4125	0,051
0,415	0,051
0,4175	0,051
0,42	0,052
0,4225	0,052
0,425	0,052
0,4275	0,053
0,43	0,053
0,4325	0,053
0,435	0,054
0,4375	0,054
0,44	0,054
0,4425	0,054
0,445	0,055
0,4475	0,055
0,45	0,055
0,4525	0,056

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
0,5775	0,071
0,58	0,071
0,5825	0,072
0,585	0,072
0,5875	0,072
0,59	0,073
0,5925	0,073
0,595	0,073
0,5975	0,073
0,6	0,074
0,6025	0,074
0,605	0,074
0,6075	0,075
0,61	0,075
0,6125	0,075
0,615	0,076
0,6175	0,076
0,62	0,076
0,6225	0,077
0,625	0,077
0,6275	0,077
0,63	0,077
0,6325	0,078
0,635	0,078
0,6375	0,078
0,64	0,079
0,6425	0,079
0,645	0,079
0,65	0,080
0,6525	0,080
0,655	0,081
0,6575	0,081
0,66	0,081
0,6625	0,081
0,665	0,082
0,6675	0,082
0,67	0,082
0,6725	0,083
0,675	0,083
0,6775	0,083
0,68	0,084

0,23	0,028
0,2325	0,029
0,235	0,029
0,2375	0,029
0,24	0,030
0,2425	0,030
0,245	0,030
0,2475	0,030

0,455	0,056
0,4575	0,056
0,46	0,057
0,4625	0,057
0,465	0,057
0,4675	0,058
0,47	0,058
0,4725	0,058

0,6825	0,084
0,685	0,084
0,6875	0,085
0,69	0,085
0,6925	0,085
0,695	0,085
0,6975	0,086
0,7	0,086

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
0,7025	0,086
0,705	0,087
0,7075	0,087
0,71	0,087
0,7125	0,088
0,715	0,088
0,7175	0,088
0,72	0,089
0,7225	0,089
0,725	0,089
0,7275	0,089
0,73	0,090
0,7325	0,090
0,735	0,090
0,7375	0,091
0,74	0,091
0,7425	0,091
0,745	0,092
0,7475	0,092
0,75	0,092
0,7525	0,093
0,755	0,093
0,7575	0,093
0,76	0,093
0,7625	0,094
0,765	0,094
0,7675	0,094
0,77	0,095
0,7725	0,095
0,775	0,095
0,7775	0,096
0,78	0,096
0,7825	0,096
0,785	0,097
0,7875	0,097
0,79	0,097
0,7925	0,097
0,795	0,098
0,7975	0,098
0,8	0,098
0,8025	0,099

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
0,9275	0,114
0,93	0,114
0,9325	0,115
0,935	0,115
0,9375	0,115
0,94	0,116
0,9425	0,116
0,945	0,116
0,9475	0,117
0,95	0,117
0,9525	0,117
0,955	0,117
0,9575	0,118
0,96	0,118
0,9625	0,118
0,965	0,119
0,9675	0,119
0,97	0,119
0,9725	0,120
0,975	0,120
0,9775	0,120
0,98	0,121
0,9825	0,121
0,985	0,121
0,9875	0,121
0,99	0,122
0,9925	0,122
0,995	0,122
0,9975	0,123
1	0,123
1,0025	0,123
1,005	0,124
1,0075	0,124
1,01	0,124
1,0125	0,125
1,015	0,125
1,0175	0,125
1,02	0,125
1,0225	0,126
1,025	0,126
1,0275	0,126

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
1,1525	0,1417575
1,155	0,142065
1,1575	0,1423725
1,16	0,14268
1,1625	0,1429875
1,165	0,143295
1,1675	0,1436025
1,17	0,14391
1,1725	0,1442175
1,175	0,144525
1,1775	0,1448325
1,18	0,14514
1,1825	0,1454475
1,185	0,145755
1,1875	0,1460625
1,19	0,14637
1,1925	0,1466775
1,195	0,146985
1,1975	0,1472925
1,2	0,1476
1,2025	0,1479075
1,205	0,148215
1,2075	0,1485225
1,21	0,14883
1,2125	0,1491375
1,215	0,149445
1,2175	0,1497525
1,22	0,15006
1,2225	0,1503675
1,225	0,150675
1,2275	0,1509825
1,23	0,15129
1,2325	0,1515975
1,235	0,151905
1,2375	0,1522125
1,24	0,15252
1,2425	0,1528275
1,245	0,153135
1,2475	0,1534425
1,25	0,15375
1,2525	0,1540575

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
0,805	0,099
0,8075	0,099
0,81	0,100
0,8125	0,100
0,815	0,100
0,8175	0,101
0,82	0,101
0,8225	0,101
0,825	0,101
0,8275	0,102
0,83	0,102
0,8325	0,102
0,835	0,103
0,8375	0,103
0,84	0,103
0,8425	0,104
0,845	0,104
0,8475	0,104
0,85	0,105
0,8525	0,105
0,855	0,105
0,8575	0,105
0,86	0,106
0,8625	0,106
0,865	0,106
0,8675	0,107
0,87	0,107
0,8725	0,107
0,875	0,108
0,8775	0,108
0,88	0,108
0,8825	0,109
0,885	0,109
0,8875	0,109
0,89	0,109
0,8925	0,110
0,895	0,110
0,8975	0,110
0,9	0,111
0,9025	0,111
0,905	0,111

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
1,03	0,127
1,0325	0,127
1,035	0,127
1,0375	0,128
1,04	0,128
1,0425	0,128
1,045	0,129
1,0475	0,129
1,05	0,129
1,0525	0,129
1,055	0,130
1,0575	0,130
1,06	0,130
1,0625	0,131
1,065	0,131
1,0675	0,131
1,07	0,132
1,0725	0,132
1,075	0,132
1,0775	0,133
1,08	0,133
1,0825	0,133
1,085	0,133
1,0875	0,134
1,09	0,134
1,0925	0,134
1,095	0,135
1,0975	0,135
1,1	0,135
1,1025	0,136
1,105	0,136
1,1075	0,136
1,11	0,137
1,1125	0,137
1,115	0,137
1,1175	0,137
1,12	0,138
1,1225	0,138
1,125	0,138
1,1275	0,139
1,13	0,139

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
1,255	0,154365
1,2575	0,1546725
1,26	0,15498
1,2625	0,1552875
1,265	0,155595
1,2675	0,1559025
1,27	0,15621
1,2725	0,1565175
1,275	0,156825
1,2775	0,1571325
1,28	0,15744
1,2825	0,1577475
1,285	0,158055
1,2875	0,1583625
1,29	0,15867
1,2925	0,1589775
1,295	0,159285
1,2975	0,1595925
1,3	0,1599
1,3025	0,1602075
1,305	0,160515
1,3075	0,1608225
1,31	0,16113
1,3125	0,1614375
1,315	0,161745
1,3175	0,1620525
1,32	0,16236
1,3225	0,1626675
1,325	0,162975
1,3275	0,1632825
1,33	0,16359
1,3325	0,1638975
1,335	0,164205
1,3375	0,1645125
1,34	0,16482
1,3425	0,1651275
1,345	0,165435
1,3475	0,1657425
1,35	0,16605
1,3525	0,1663575
1,355	0,166665

0,9075	0,112
0,91	0,112
0,9125	0,112
0,915	0,113
0,9175	0,113
0,92	0,113
0,9225	0,113
0,925	0,114

1,1325	0,139
1,135	0,140
1,1375	0,140
1,14	0,140
1,1425	0,141
1,145	0,141
1,1475	0,141
1,15	0,141

1,3575	0,1669725
1,36	0,16728
1,3625	0,1675875
1,365	0,167895
1,3675	0,1682025
1,37	0,16851
1,3725	0,1688175
1,375	0,169125

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
1,3775	0,1694325
1,38	0,16974
1,3825	0,1700475
1,385	0,170355
1,3875	0,1706625
1,39	0,17097
1,3925	0,1712775
1,395	0,171585
1,3975	0,1718925
1,4	0,1722
1,4025	0,1725075
1,405	0,172815
1,4075	0,1731225
1,41	0,17343
1,4125	0,1737375
1,415	0,174045
1,4175	0,1743525
1,42	0,17466
1,4225	0,1749675
1,425	0,175275
1,4275	0,1755825
1,43	0,17589
1,4325	0,1761975
1,435	0,176505
1,4375	0,1768125
1,44	0,17712
1,4425	0,1774275
1,445	0,177735
1,4475	0,1780425
1,45	0,17835
1,4525	0,1786575
1,455	0,178965
1,4575	0,1792725
1,46	0,17958
1,4625	0,1798875
1,465	0,180195
1,4675	0,1805025
1,47	0,18081
1,4725	0,1811175
1,475	0,181425
1,4775	0,1817325

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
1,6025	0,1971075
1,605	0,197415
1,6075	0,1977225
1,61	0,19803
1,6125	0,1983375
1,615	0,198645
1,6175	0,1989525
1,62	0,19926
1,6225	0,1995675
1,625	0,199875
1,6275	0,2001825
1,63	0,20049
1,6325	0,2007975
1,635	0,201105
1,6375	0,2014125
1,64	0,20172
1,6425	0,2020275
1,645	0,202335
1,6475	0,2026425
1,65	0,20295
1,6525	0,2032575
1,655	0,203565
1,6575	0,2038725
1,66	0,20418
1,6625	0,2044875
1,665	0,204795
1,6675	0,2051025
1,67	0,20541
1,6725	0,2057175
1,675	0,206025
1,6775	0,2063325
1,68	0,20664
1,6825	0,2069475
1,685	0,207255
1,6875	0,2075625
1,69	0,20787
1,6925	0,2081775
1,695	0,208485
1,6975	0,2087925
1,7	0,2091
1,7025	0,2094075

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
1,8275	0,2247825
1,83	0,22509
1,8325	0,2253975
1,835	0,225705
1,8375	0,2260125
1,84	0,22632
1,8425	0,2266275
1,845	0,226935
1,8475	0,2272425
1,85	0,22755
1,8525	0,2278575
1,855	0,228165
1,8575	0,2284725
1,86	0,22878
1,8625	0,2290875
1,865	0,229395
1,8675	0,2297025
1,87	0,23001
1,8725	0,2303175
1,875	0,230625
1,8775	0,2309325
1,88	0,23124
1,8825	0,2315475
1,885	0,231855
1,8875	0,2321625
1,89	0,23247
1,8925	0,2327775
1,895	0,233085
1,8975	0,2333925
1,9	0,2337
1,9025	0,2340075
1,905	0,234315
1,9075	0,2346225
1,91	0,23493
1,9125	0,2352375
1,915	0,235545
1,9175	0,2358525
1,92	0,23616
1,9225	0,2364675
1,925	0,236775
1,9275	0,2370825

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
1,48	0,18204
1,4825	0,1823475
1,485	0,182655
1,4875	0,1829625
1,49	0,18327
1,4925	0,1835775
1,495	0,183885
1,4975	0,1841925
1,5	0,1845
1,5025	0,1848075
1,505	0,185115
1,5075	0,1854225
1,51	0,18573
1,5125	0,1860375
1,515	0,186345
1,5175	0,1866525
1,52	0,18696
1,5225	0,1872675
1,525	0,187575
1,5275	0,1878825
1,53	0,18819
1,5325	0,1884975
1,535	0,188805
1,5375	0,1891125
1,54	0,18942
1,5425	0,1897275
1,545	0,190035
1,5475	0,1903425
1,55	0,19065
1,5525	0,1909575
1,555	0,191265
1,5575	0,1915725
1,56	0,19188
1,5625	0,1921875
1,565	0,192495
1,5675	0,1928025
1,57	0,19311
1,5725	0,1934175
1,575	0,193725
1,5775	0,1940325
1,58	0,19434

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
1,705	0,209715
1,7075	0,2100225
1,71	0,21033
1,7125	0,2106375
1,715	0,210945
1,7175	0,2112525
1,72	0,21156
1,7225	0,2118675
1,725	0,212175
1,7275	0,2124825
1,73	0,21279
1,7325	0,2130975
1,735	0,213405
1,7375	0,2137125
1,74	0,21402
1,7425	0,2143275
1,745	0,214635
1,7475	0,2149425
1,75	0,21525
1,7525	0,2155575
1,755	0,215865
1,7575	0,2161725
1,76	0,21648
1,7625	0,2167875
1,765	0,217095
1,7675	0,2174025
1,77	0,21771
1,7725	0,2180175
1,775	0,218325
1,7775	0,2186325
1,78	0,21894
1,7825	0,2192475
1,785	0,219555
1,7875	0,2198625
1,79	0,22017
1,7925	0,2204775
1,795	0,220785
1,7975	0,2210925
1,8	0,2214
1,8025	0,2217075
1,805	0,222015

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
1,93	0,23739
1,9325	0,2376975
1,935	0,238005
1,9375	0,2383125
1,94	0,23862
1,9425	0,2389275
1,945	0,239235
1,9475	0,2395425
1,95	0,23985
1,9525	0,2401575
1,955	0,240465
1,9575	0,2407725
1,96	0,24108
1,9625	0,2413875
1,965	0,241695
1,9675	0,2420025
1,97	0,24231
1,9725	0,2426175
1,975	0,242925
1,9775	0,2432325
1,98	0,24354
1,9825	0,2438475
1,985	0,244155
1,9875	0,2444625
1,99	0,24477
1,9925	0,2450775
1,995	0,245385
1,9975	0,2456925
2	0,246
2,0025	0,2463075
2,005	0,246615
2,0075	0,2469225
2,01	0,24723
2,0125	0,2475375
2,015	0,247845
2,0175	0,2481525
2,02	0,24846
2,0225	0,2487675
2,025	0,249075
2,0275	0,2493825
2,03	0,24969

1,5825	0,1946475
1,585	0,194955
1,5875	0,1952625
1,59	0,19557
1,5925	0,1958775
1,595	0,196185
1,5975	0,1964925
1,6	0,1968

1,8075	0,2223225
1,81	0,22263
1,8125	0,2229375
1,815	0,223245
1,8175	0,2235525
1,82	0,22386
1,8225	0,2241675
1,825	0,224475

2,0325	0,2499975
2,035	0,250305
2,0375	0,2506125
2,04	0,25092
2,0425	0,2512275
2,045	0,251535
2,0475	0,2518425
2,05	0,25215



<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
2,0525	0,2524575
2,055	0,252765
2,0575	0,2530725
2,06	0,25338
2,0625	0,2536875
2,065	0,253995
2,0675	0,2543025
2,07	0,25461
2,0725	0,2549175
2,075	0,255225
2,0775	0,2555325
2,08	0,25584
2,0825	0,2561475
2,085	0,256455
2,0875	0,2567625
2,09	0,25707
2,0925	0,2573775
2,095	0,257685
2,0975	0,2579925
2,1	0,2583
2,1025	0,2586075
2,105	0,258915
2,1075	0,2592225
2,11	0,25953
2,1125	0,2598375
2,115	0,260145
2,1175	0,2604525
2,12	0,26076
2,1225	0,2610675
2,125	0,261375
2,1275	0,2616825
2,13	0,26199
2,1325	0,2622975
2,135	0,262605
2,1375	0,2629125
2,14	0,26322
2,1425	0,2635275
2,145	0,263835
2,1475	0,2641425
2,15	0,26445
2,1525	0,2647575

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
2,2775	0,2801325
2,28	0,28044
2,2825	0,2807475
2,285	0,281055
2,2875	0,2813625
2,29	0,28167
2,2925	0,2819775
2,295	0,282285
2,2975	0,2825925
2,3	0,2829
2,3025	0,2832075
2,305	0,283515
2,3075	0,2838225
2,31	0,28413
2,3125	0,2844375
2,315	0,284745
2,3175	0,2850525
2,32	0,28536
2,3225	0,2856675
2,325	0,285975
2,3275	0,2862825
2,33	0,28659
2,3325	0,2868975
2,335	0,287205
2,3375	0,2875125
2,34	0,28782
2,3425	0,2881275
2,345	0,288435
2,3475	0,2887425
2,35	0,28905
2,3525	0,2893575
2,355	0,289665
2,3575	0,2899725
2,36	0,29028
2,3625	0,2905875
2,365	0,290895
2,3675	0,2912025
2,37	0,29151
2,3725	0,2918175
2,375	0,292125
2,3775	0,2924325

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
2,5025	0,3078075
2,505	0,308115
2,5075	0,3084225
2,51	0,30873
2,5125	0,3090375
2,515	0,309345
2,5175	0,3096525
2,52	0,30996
2,5225	0,3102675
2,525	0,310575
2,5275	0,3108825
2,53	0,31119
2,5325	0,3114975
2,535	0,311805
2,5375	0,3121125
2,54	0,31242
2,5425	0,3127275
2,545	0,313035
2,5475	0,3133425
2,55	0,31365
2,5525	0,3139575
2,555	0,314265
2,5575	0,3145725
2,56	0,31488
2,5625	0,3151875
2,565	0,315495
2,5675	0,3158025
2,57	0,31611
2,5725	0,3164175
2,575	0,316725
2,5775	0,3170325
2,58	0,31734
2,5825	0,3176475
2,585	0,317955
2,5875	0,3182625
2,59	0,31857
2,5925	0,3188775
2,595	0,319185
2,5975	0,3194925
2,6	0,3198
2,6025	0,3201075

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
2,155	0,265065
2,1575	0,2653725
2,16	0,26568
2,1625	0,2659875
2,165	0,266295
2,1675	0,2666025
2,17	0,26691
2,1725	0,2672175
2,175	0,267525
2,1775	0,2678325
2,18	0,26814
2,1825	0,2684475
2,185	0,268755
2,1875	0,2690625
2,19	0,26937
2,1925	0,2696775
2,195	0,269985
2,1975	0,2702925
2,2	0,2706
2,2025	0,2709075
2,205	0,271215
2,2075	0,2715225
2,21	0,27183
2,2125	0,2721375
2,215	0,272445
2,2175	0,2727525
2,22	0,27306
2,2225	0,2733675
2,225	0,273675
2,2275	0,2739825
2,23	0,27429
2,2325	0,2745975
2,235	0,274905
2,2375	0,2752125
2,24	0,27552
2,2425	0,2758275
2,245	0,276135
2,2475	0,2764425
2,25	0,27675
2,2525	0,2770575
2,255	0,277365

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
2,38	0,29274
2,3825	0,2930475
2,385	0,293355
2,3875	0,2936625
2,39	0,29397
2,3925	0,2942775
2,395	0,294585
2,3975	0,2948925
2,4	0,2952
2,4025	0,2955075
2,405	0,295815
2,4075	0,2961225
2,41	0,29643
2,4125	0,2967375
2,415	0,297045
2,4175	0,2973525
2,42	0,29766
2,4225	0,2979675
2,425	0,298275
2,4275	0,2985825
2,43	0,29889
2,4325	0,2991975
2,435	0,299505
2,4375	0,2998125
2,44	0,30012
2,4425	0,3004275
2,445	0,300735
2,4475	0,3010425
2,45	0,30135
2,4525	0,3016575
2,455	0,301965
2,4575	0,3022725
2,46	0,30258
2,4625	0,3028875
2,465	0,303195
2,4675	0,3035025
2,47	0,30381
2,4725	0,3041175
2,475	0,304425
2,4775	0,3047325
2,48	0,30504

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
2,605	0,320415
2,6075	0,3207225
2,61	0,32103
2,6125	0,3213375
2,615	0,321645
2,6175	0,3219525
2,62	0,32226
2,6225	0,3225675
2,625	0,322875
2,6275	0,3231825
2,63	0,32349
2,6325	0,3237975
2,635	0,324105
2,6375	0,3244125
2,64	0,32472
2,6425	0,3250275
2,645	0,325335
2,6475	0,3256425
2,65	0,32595
2,6525	0,3262575
2,655	0,326565
2,6575	0,3268725
2,66	0,32718
2,6625	0,3274875
2,665	0,327795
2,6675	0,3281025
2,67	0,32841
2,6725	0,3287175
2,675	0,329025
2,6775	0,3293325
2,68	0,32964
2,6825	0,3299475
2,685	0,330255
2,6875	0,3305625
2,69	0,33087
2,6925	0,3311775
2,695	0,331485
2,6975	0,3317925
2,7	0,3321
2,7025	0,3324075
2,705	0,332715

2,2575	0,2776725
2,26	0,27798
2,2625	0,2782875
2,265	0,278595
2,2675	0,2789025
2,27	0,27921
2,2725	0,2795175
2,275	0,279825

2,4825	0,3053475
2,485	0,305655
2,4875	0,3059625
2,49	0,30627
2,4925	0,3065775
2,495	0,306885
2,4975	0,3071925
2,5	0,3075

2,7075	0,3330225
2,71	0,33333
2,7125	0,3336375
2,715	0,333945
2,7175	0,3342525
2,72	0,33456
2,7225	0,3348675
2,725	0,335175

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
2,7275	0,3354825
2,73	0,33579
2,7325	0,3360975
2,735	0,336405
2,7375	0,3367125
2,74	0,33702
2,7425	0,3373275
2,745	0,337635
2,7475	0,3379425
2,75	0,33825
2,7525	0,3385575
2,755	0,338865
2,7575	0,3391725
2,76	0,33948
2,7625	0,3397875
2,765	0,340095
2,7675	0,3404025
2,77	0,34071
2,7725	0,3410175
2,775	0,341325
2,7775	0,3416325
2,78	0,34194
2,7825	0,3422475
2,785	0,342555
2,7875	0,3428625
2,79	0,34317
2,7925	0,3434775
2,795	0,343785
2,7975	0,3440925
2,8	0,3444
2,8025	0,3447075
2,805	0,345015
2,8075	0,3453225
2,81	0,34563
2,8125	0,3459375
2,815	0,346245
2,8175	0,3465525
2,82	0,34686
2,8225	0,3471675
2,825	0,347475
2,8275	0,3477825

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
2,9525	0,3631575
2,955	0,363465
2,9575	0,3637725
2,96	0,36408
2,9625	0,3643875
2,965	0,364695
2,9675	0,3650025
2,97	0,36531
2,9725	0,3656175
2,975	0,365925
2,9775	0,3662325
2,98	0,36654
2,9825	0,3668475
2,985	0,367155
2,9875	0,3674625
2,99	0,36777
2,9925	0,3680775
2,995	0,368385
2,9975	0,3686925
3	0,369
3,0025	0,3693075
3,005	0,369615
3,0075	0,3699225
3,01	0,37023
3,0125	0,3705375
3,015	0,370845
3,0175	0,3711525
3,02	0,37146
3,0225	0,3717675
3,025	0,372075
3,0275	0,3723825
3,03	0,37269
3,0325	0,3729975
3,035	0,373305
3,0375	0,3736125
3,04	0,37392
3,0425	0,3742275
3,045	0,374535
3,0475	0,3748425
3,05	0,37515
3,0525	0,3754575

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
3,1775	0,3908325
3,18	0,39114
3,1825	0,3914475
3,185	0,391755
3,1875	0,3920625
3,19	0,39237
3,1925	0,3926775
3,195	0,392985
3,1975	0,3932925
3,2	0,3936
3,2025	0,3939075
3,205	0,394215
3,2075	0,3945225
3,21	0,39483
3,2125	0,3951375
3,215	0,395445
3,2175	0,3957525
3,22	0,39606
3,2225	0,3963675
3,225	0,396675
3,2275	0,3969825
3,23	0,39729
3,2325	0,3975975
3,235	0,397905
3,2375	0,3982125
3,24	0,39852
3,2425	0,3988275
3,245	0,399135
3,2475	0,3994425
3,25	0,39975
3,2525	0,4000575
3,255	0,400365
3,2575	0,4006725
3,26	0,40098
3,2625	0,4012875
3,265	0,401595
3,2675	0,4019025
3,27	0,40221
3,2725	0,4025175
3,275	0,402825
3,2775	0,4031325

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
2,83	0,34809
2,8325	0,3483975
2,835	0,348705
2,8375	0,3490125
2,84	0,34932
2,8425	0,3496275
2,845	0,349935
2,8475	0,3502425
2,85	0,35055
2,8525	0,3508575
2,855	0,351165
2,8575	0,3514725
2,86	0,35178
2,8625	0,3520875
2,865	0,352395
2,8675	0,3527025
2,87	0,35301
2,8725	0,3533175
2,875	0,353625
2,8775	0,3539325
2,88	0,35424
2,8825	0,3545475
2,885	0,354855
2,8875	0,3551625
2,89	0,35547
2,8925	0,3557775
2,895	0,356085
2,8975	0,3563925
2,9	0,3567
2,9025	0,3570075
2,905	0,357315
2,9075	0,3576225
2,91	0,35793
2,9125	0,3582375
2,915	0,358545
2,9175	0,3588525
2,92	0,35916
2,9225	0,3594675
2,925	0,359775
2,9275	0,3600825
2,93	0,36039

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
3,055	0,375765
3,0575	0,3760725
3,06	0,37638
3,0625	0,3766875
3,065	0,376995
3,0675	0,3773025
3,07	0,37761
3,0725	0,3779175
3,075	0,378225
3,0775	0,3785325
3,08	0,37884
3,0825	0,3791475
3,085	0,379455
3,0875	0,3797625
3,09	0,38007
3,0925	0,3803775
3,095	0,380685
3,0975	0,3809925
3,1	0,3813
3,1025	0,3816075
3,105	0,381915
3,1075	0,3822225
3,11	0,38253
3,1125	0,3828375
3,115	0,383145
3,1175	0,3834525
3,12	0,38376
3,1225	0,3840675
3,125	0,384375
3,1275	0,3846825
3,13	0,38499
3,1325	0,3852975
3,135	0,385605
3,1375	0,3859125
3,14	0,38622
3,1425	0,3865275
3,145	0,386835
3,1475	0,3871425
3,15	0,38745
3,1525	0,3877575
3,155	0,388065

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
3,28	0,40344
3,2825	0,4037475
3,285	0,404055
3,2875	0,4043625
3,29	0,40467
3,2925	0,4049775
3,295	0,405285
3,2975	0,4055925
3,3	0,4059
3,3025	0,4062075
3,305	0,406515
3,3075	0,4068225
3,31	0,40713
3,3125	0,4074375
3,315	0,407745
3,3175	0,4080525
3,32	0,40836
3,3225	0,4086675
3,325	0,408975
3,3275	0,4092825
3,33	0,40959
3,3325	0,4098975
3,335	0,410205
3,3375	0,4105125
3,34	0,41082
3,3425	0,4111275
3,345	0,411435
3,3475	0,4117425
3,35	0,41205
3,3525	0,4123575
3,355	0,412665
3,3575	0,4129725
3,36	0,41328
3,3625	0,4135875
3,365	0,413895
3,3675	0,4142025
3,37	0,41451
3,3725	0,4148175
3,375	0,415125
3,3775	0,4154325
3,38	0,41574

2,9325	0,3606975
2,935	0,361005
2,9375	0,3613125
2,94	0,36162
2,9425	0,3619275
2,945	0,362235
2,9475	0,3625425
2,95	0,36285

3,1575	0,3883725
3,16	0,38868
3,1625	0,3889875
3,165	0,389295
3,1675	0,3896025
3,17	0,38991
3,1725	0,3902175
3,175	0,390525

3,3825	0,4160475
3,385	0,416355
3,3875	0,4166625
3,39	0,41697
3,3925	0,4172775
3,395	0,417585
3,3975	0,4178925
3,4	0,4182

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
3,4025	0,4185075
3,405	0,418815
3,4075	0,4191225
3,41	0,41943
3,4125	0,4197375
3,415	0,420045
3,4175	0,4203525
3,42	0,42066
3,4225	0,4209675
3,425	0,421275
3,4275	0,4215825
3,43	0,42189
3,4325	0,4221975
3,435	0,422505
3,4375	0,4228125
3,44	0,42312
3,4425	0,4234275
3,445	0,423735
3,4475	0,4240425
3,45	0,42435
3,4525	0,4246575
3,455	0,424965
3,4575	0,4252725
3,46	0,42558
3,4625	0,4258875
3,465	0,426195
3,4675	0,4265025
3,47	0,42681
3,4725	0,4271175
3,475	0,427425
3,4775	0,4277325
3,48	0,42804
3,4825	0,4283475
3,485	0,428655
3,4875	0,4289625
3,49	0,42927
3,4925	0,4295775
3,495	0,429885
3,4975	0,4301925
3,5	0,4305
3,5025	0,4308075

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
3,6275	0,4461825
3,63	0,44649
3,6325	0,4467975
3,635	0,447105
3,6375	0,4474125
3,64	0,44772
3,6425	0,4480275
3,645	0,448335
3,6475	0,4486425
3,65	0,44895
3,6525	0,4492575
3,655	0,449565
3,6575	0,4498725
3,66	0,45018
3,6625	0,4504875
3,665	0,450795
3,6675	0,4511025
3,67	0,45141
3,6725	0,4517175
3,675	0,452025
3,6775	0,4523325
3,68	0,45264
3,6825	0,4529475
3,685	0,453255
3,6875	0,4535625
3,69	0,45387
3,6925	0,4541775
3,695	0,454485
3,6975	0,4547925
3,7	0,4551
3,7025	0,4554075
3,705	0,455715
3,7075	0,4560225
3,71	0,45633
3,7125	0,4566375
3,715	0,456945
3,7175	0,4572525
3,72	0,45756
3,7225	0,4578675
3,725	0,458175
3,7275	0,4584825

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
3,505	0,431115
3,5075	0,4314225
3,51	0,43173
3,5125	0,4320375
3,515	0,432345
3,5175	0,4326525
3,52	0,43296
3,5225	0,4332675
3,525	0,433575
3,5275	0,4338825
3,53	0,43419
3,5325	0,4344975
3,535	0,434805
3,5375	0,4351125
3,54	0,43542
3,5425	0,4357275
3,545	0,436035
3,5475	0,4363425
3,55	0,43665
3,5525	0,4369575
3,555	0,437265
3,5575	0,4375725
3,56	0,43788
3,5625	0,4381875
3,565	0,438495
3,5675	0,4388025
3,57	0,43911
3,5725	0,4394175
3,575	0,439725
3,5775	0,4400325
3,58	0,44034
3,5825	0,4406475
3,585	0,440955
3,5875	0,4412625
3,59	0,44157
3,5925	0,4418775
3,595	0,442185
3,5975	0,4424925
3,6	0,4428
3,6025	0,4431075
3,605	0,443415

<b>corriente multímetro</b>	<b>Voltaje</b>
3,73	0,45879
3,7325	0,4590975
3,735	0,459405
3,7375	0,4597125
3,74	0,46002
3,7425	0,4603275
3,745	0,460635
3,7475	0,4609425
3,75	0,46125



3,6075	0,4437225
3,61	0,44403
3,6125	0,4443375
3,615	0,444645
3,6175	0,4449525
3,62	0,44526
3,6225	0,4455675
3,625	0,445875

## NI USB-6212



### DAQ MIO de la Serie M de 16 bits, 400 kS/s, Energizado por B

- 16 entradas analógicas (16 bits, 400 kS/s)
- 2 salidas analógicas (16 bits a 250 kS/s)
- 32 E/S digitales
- Dos contadores de 32 bits
- Dos temporizadores para generación de PWM
- Energizado por bus USB para una mayor movilidad
- Compatible con LabVIEW, ANSI C/C++, C#, Visual Basic .NET y Visual Basic 6.0

### Información General

El módulo USB-6212 de National Instruments es un módulo de adquisición de datos (DAQ) multifunción de la Serie M energizado por bus USB y optimizado para una precisión superior a velocidades de muestreo más altas. Ofrece 16 entradas analógicas, velocidad de muestreo de 400 kS/s, dos salidas analógicas, 32 líneas de E/S digital, cuatro rangos de entrada programable ( $\pm 0.2$  V a  $\pm 10$  V) por canal, disparo digital y dos contadores/temporizadores.

El módulo NI USB-6212 está diseñado específicamente para aplicaciones móviles o con restricciones de espacio. La instalación plug-and-play minimiza el tiempo de configuración y montaje mientras que la conectividad directa con terminal de tornillo mantiene los precios bajos y simplifica las conexiones de señal. Este producto no requiere potencia externa.

El NI USB-6212 también cuenta con la nueva tecnología NI Signal Streaming la cual permite transferencia de datos bidireccional a alta velocidad parecida a DMA a través del bus USB. Para mayor información sobre NI Signal Streaming, consulte la sección de Recursos.

### **Software Controlador**

El software de servicios de medida y controlador NI-DAQmx le da interfaces de programación y configuración fáciles de usar con características como el DAQ Assistant para ayudar a reducir el tiempo de desarrollo. Busque la información en sección de Recursos para aprender más sobre software o descargar un controlador. Los dispositivos de la Serie M no son compatibles con el controlador Traditional NI-DAQ (Legado).

### **Especificaciones**

**Producto** → USB-6212

**Familia de Productos** → DAQ Multifunción

**Formato Físico** → USB

**Sistema Operativo/Objetivo** → Windows

**Familia de Productos DAQ** → Serie M

**Tipos de Medida** → Codificadores de cuadratura, Voltaje

**Compatibilidad con RoHS** → Sí

**Entrada Analógica Canales** → 16, 8

**Canales de una sola terminal** → 16

**Canales Diferenciales** → 8

**Resolución** → 16 bits

**Velocidad de Muestreo** → 400 kS/s

**Máx. Voltaje de Entrada Analógica** → 10 V

**Rango de Voltaje Máximo** → -10 V , 10 V

**Precisión Máxima del Rango de Voltaje** → 2.69 mV

**Sensibilidad Máxima del Rango de Voltaje** → 91.6  $\mu$ V

**Rango de Voltaje Mínimo** → -200 mV , 200 mV

**Mínima Precisión del Rango de Voltaje** → 0.088 mV

**Mínima Sensibilidad del Rango de Voltaje** → 4.8  $\mu$ V

**Número de Rangos** → 4

**Muestreo Simultáneo** → No

**Memoria Interna** → 4095 muestras

**Salida Analógica** → Canales 2

**Resolución** → 16 bits

**Máx. Voltaje de Salida Analógica** → 10 V

**Rango de Voltaje Máximo** → -10 V , 10 V

**Precisión Máxima del Rango de Voltaje** → 3.512 mV

**Rango de Voltaje Mínimo** → -10 V , 10 V

**Mínima Precisión del Rango de Voltaje** → 3.512 mV

**Razón de Actualización** → 250 kS/s

**Capacidad de Corriente Simple** → 2 mA

**Capacidad de Corriente Total** → 4 mA

**E/S Digital Canales Bidireccionales** → 32

**Canales de Entrada Únicamente** → 0

**Canales de Salida Únicamente** → 0

**Número de Canales** → 32 , 0 , 0

**Temporización** → Software

**Niveles Lógicos** → TTL

**Entrada de Flujo de Corriente** → Sinking

**Salida de Flujo de Corriente** → Sourcing

**Filtros de Entrada Programables** → No

**¿Soporta Estados de Encendido Programables?** → Sí

**Capacidad de Corriente Simple** → 16 mA

**Capacidad de Corriente Total** → 50 mA

**Temporizador Watchdog** → No

**¿Soporta Protocolo de Sincronización para E/S?** → No

**¿Soporta E/S de Patrones?** → No

**Máximo Rango de Entrada** → 0 V, 5.25 V

**Máximo Rango de Salida** → 0 V, 3.8 V

**Contadores/Temporizadores Número de Contadores/Temporizadores** → 2

**Operaciones a Búfer** → Sí

**Eliminación de Rebotes** → Sí

**Sincronización GPS** → No

**Rango Máximo** → 0 V, 5.25 V

**Frecuencia Máxima de la Fuente** → 80 MHz

**Generación de Pulso** → Sí

**Resolución** → 32 bits

**Estabilidad de Tiempo** → 50 ppm

**Niveles Lógicos** → TTL

### **Especificaciones Físicas**

**Longitud** → 16.9 cm

**Ancho** → 9.4 cm

**Altura** → 3.1 cm

**Conector de E/S** → Terminales de tornillo

### **Temporización/Disparo/Sincronización**

**Disparo** → Digital

Anexo XI: Especificaciones del multímetro digital.

## MULTÍMETRO DIGITAL KM-9648E / KM-96E



### Indicador de función

Tecla A para ajustar el rango de voltaje o corriente

Tecla B para ajustar la función (Hz » A » V)

### Características

- LED rojos de alta eficiencia, Altura 14,22mm (.56")
- $\pm 0,5\% \pm 2$  dígitos
- $-10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$  (20% a 90% RH no condensada)
- CA 2KV /1 Min
- CA 110V / 220V, 50Hz / 60Hz
- KM-9648E / KM-96E
- Presione la tecla A para ajustar los rangos de medición de corriente CA.  
5A»10A»15A»20A»25A»
- 30A»40A»50A»60A»70A»75A»80A»100A»120A»150A»160A»200A»  
250A»300A»400A»500A»600A»

- 700A»750A»800A»1KA»1.2KA»1.5KA»1.6KA»2KA»2.5KA»3KA»4KA»5KA»6KA»7KA»7.5KA»8KA»
- Arriba de 5A utilizar transformador de corriente externo con secundario de 5A.
- Presione la tecla A para ajustar los rangos de medición de voltaje CA. U-1 : 50-600V CA
- Arriba de 600V utilizar transformador de voltaje externo con secundario de 600V máx.
- Frecuencia: 1-999Hz, entrada de voltaje: 50-600V CA

Anexo XII: Fotografías de la construcción del equipo.



Foto N°01: Comprobación de valores



Foto N°02: Regulación Shunt





**Foto N°03:** Verificación de corriente



**Foto N°04:** Conexión resistencia – variable



**Foto N°05:** Sistema de regulación



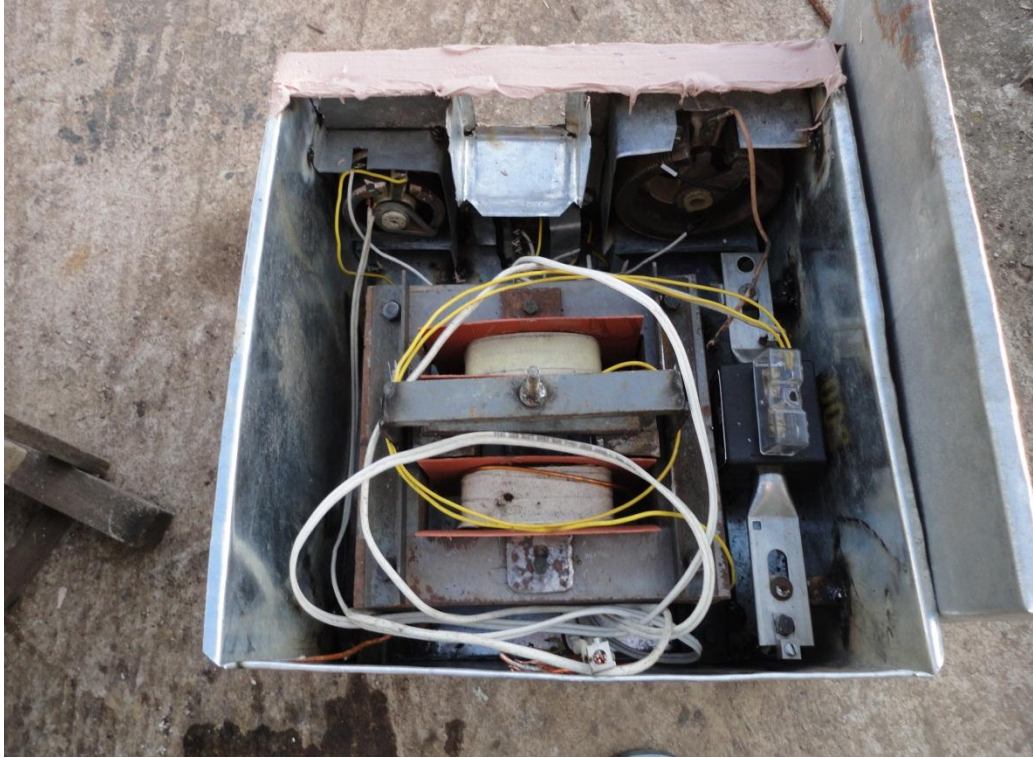
**Foto N°06:** Alimentación para el fusible



**Foto N°07:** Comprobación del calibre de los cables



**Foto N°08:** Conexión del transformador de corriente



**Foto N°09:** Ubicación de los elementos en la estructura metálica

- Anexo XII: Planos del núcleo de hierro silicio.

- Anexo XII: Planos de los elementos de regulación.

- Anexo XII: Planos de la estructura metálica del equipo.

**MANUAL DE USO EQUIPO  
AUTOMÁTICO PARA  
COMPROBAR LAS CURVAS  
DE COMPORTAMIENTO  
(CORRIENTE VS TIEMPO) DE  
LOS FUSIBLES DE MEDIA  
TENSIÓN**



## Instrucciones de Seguridad



### **PRECAUCIÓN:**

Para reducir el riesgo de descarga eléctrica, no alce la tapa superior del equipo mientras se realice las respectivas pruebas. No modificar las conexiones realizadas en el interior del equipo; ya que al hacerlas ocasiona un funcionamiento inadecuado cada uno de los elementos.

### **ATENCIÓN:**

Para reducir el riesgo de incendio o descarga eléctrica, no exponga este equipo a la lluvia, humedad o a alguna otra fuente que pueda salpicar o derramar algún líquido sobre el aparato. No manipule el selector del multímetro digital, ya que está regulado para que trabaje como amperímetro (conexión en serie), en caso de hacerlo funcionaria como voltímetro ocasionado el daño del elemento.

### *Instrucciones detalladas de seguridad:*

1. Lea las instrucciones
2. Conserve las instrucciones
3. Preste atención a todas las advertencias
4. Siga todas las instrucciones
5. No utilice este equipo cerca del agua
6. No modifique las conexiones realizadas. Instale el equipo de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
7. No instale este equipo cerca de fuentes de calor tales como radiadores, acumuladores de calor, cocinas u otros aparatos que puedan producir calor.

8. Proteja los cables de suministro de energía y conexión a los diferentes dispositivos de salida de tal forma que no sean pisados o doblados.
9. Use únicamente los dispositivos o accesorios especificados por el fabricante.
10. Desconecte el equipo durante tormentas o cuando no vaya a ser usado en un largo periodo de tiempo.

## **1. Introducción**

El equipo para comprobar las curvas de comportamiento (corriente vs tiempo) de los fusibles de media tensión tiene como principal objetivo, conocer mediante las pruebas realizadas encontrar los valores reales de corriente y tiempo de fusión.

El equipo está compuesto por los siguientes elementos: amperímetro, transformador de corriente, DAQ (Tarjeta de adquisición de datos), selectores, resistencias variables. El funcionamiento se basa en la generación de datos, posterior a la inyección de corriente hacia el fusible de prueba; donde, los niveles de corriente dependerán de un mecanismo de regulación, definido por el valor de corriente que especifique el fusible.

Una de las principales ventajas del equipo es el mejoramiento, adecuación de nuevos elementos y variables de medida, razón por el cual lo hace totalmente flexible. Adicionalmente, es posible ampliar el rango de generación de corriente, permitiendo la prueba de fusibles de mayor valor y de diversos tipos de elementos de protección.

### ***1.1.Puesta en Funcionamiento***

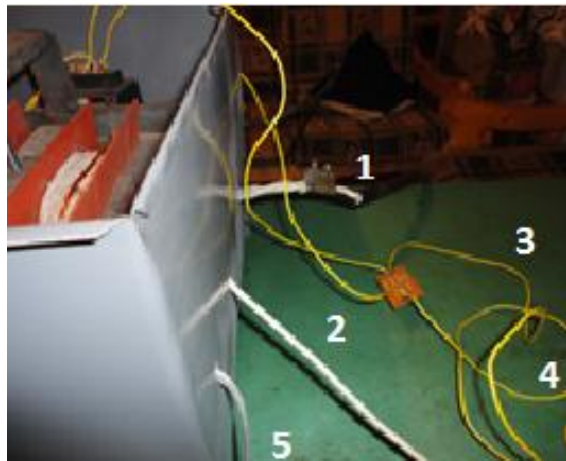
Procurar una ventilación adecuada y no colocar el equipo cerca de fuentes de calor para evitar un sobrecalentamiento del cableado. Considerar un intervalo

de tiempo entre cada prueba, para evitar el recalentamiento de las resistencias que constituyen el circuito reductor.

- 1.1.1. Asegurarse que la fuente de alimentación para el equipo sea e 110V.
- 1.1.2. El cableado que se conectar al seccionador (aparato donde se colocara los fusibles a probarse) deberán estar perfectamente identificados, ya que se tendrá un cable (color blanco----tierra), el mismo se utilizará independientemente del valor de fusible que se esté probando, un cable negro (grueso) para fusibles de 25A a 150A y un cable negro (delgado) para fusibles de 1A a 24A.
- 1.1.3. Los reguladores de corriente: shut magnético variable, resistencia variable de  $31\Omega$  y resistencia variable de  $1000\Omega$ , antes de realizar la alimentación para el equipo deben estar en sus respectivo valores mínimos. Con lo que se garantiza una correcta inyección de corriente.

## 2. Elementos de Control y Conexiones

### *Conexiones del equipo a dispositivos: DAQ y Seccionador*



- **1 (Salida para conexión al seccionador).**- Se conecta a un extremo del seccionador, siempre y cuando se realice pruebas para fusibles de 20A a 150A.

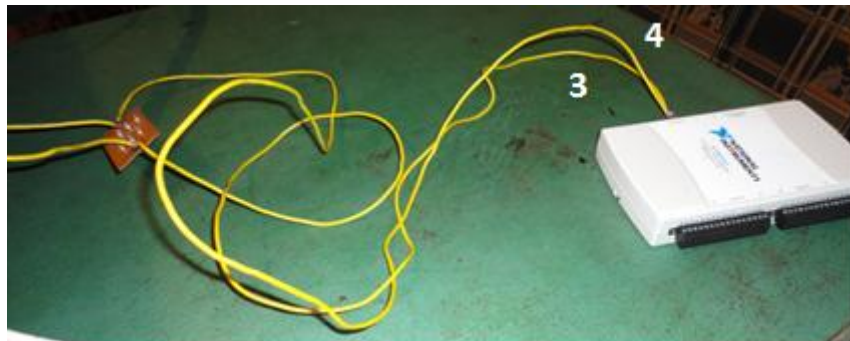
- **2 (Salida para conexión al seccionador).**- Se conecta a un extremo del seccionador, siempre y cuando se realice pruebas para fusibles de 0A a 20A.
- **3 (Cable para puerto 17 de la DAQ).**- sirve para la adquisición de datos (voltaje) hacia la DAQ, entrada *ai1*.
- **4 (Cable para el puerto 28 de la DAQ).**- sirve para la conexión a tierra de la DAQ, GND.
- **5 (Fuente de alimentación).**- permite la alimentación a 110V para el equipo.

#### *Conexión al seccionador*



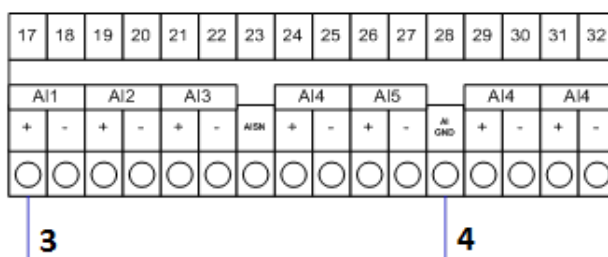
La conexión para *Tierra* será independiente del fusible que se esté probando; la variación será: **2** (para pruebas con fusibles de 2A a 20A) y **1** (para pruebas con fusibles de 21A a 150A).

#### *Conexión a la DAQ*



Los numerales 3 y 4; serán las entradas para la adquisición de los datos; así:

### Analog Input (DAQ 6212)



### 3. Funcionamiento

#### *Equipo Automático:*

Para el correcto funcionamiento del equipo se debe considerar:



- Antes de realizar las pruebas, verificar que las conexiones estén de acuerdo a las instrucciones dadas anteriormente.
- Identificar al valor de fusible a probar, ya que de dicho valor dependerá el tipo de regulación a utilizar, así:

Tipo de regulación	Comportamiento del mecanismo de control	Valores de fusibles a probar
Resistencia variable de 1000Ω	Permite el paso de corriente y trabajo del bobinado primario y secundario de $V_{maximo} = 5.1V$ y $V_{minimo} = 0.4V$	Para fusibles de valores: 2A a 20A

Resistencia variable de $31\Omega$	Permite el paso de corriente y trabajo del bobinado primario y secundario de $V_{maximo} = 6.7V$ y $V_{minimo} = 0.7V$	Para fusibles de valores: 21A a 90A
Shut magnético variable	Permite el paso de corriente y trabajo del bobinado primario y secundario con sus máximos valores de corriente	Para fusibles de valores: 90A a 150A

- Elección de los mecanismos de regulación: para la elección de los mecanismos de regulación se utiliza un selector mecánico; el cual permite trabajar:
  - **Posición 1.-** Resistencia variable de  $1000\Omega$ , para valores entre 2A y 20A.
  - **Posición 2.-** Resistencia variable de  $31\Omega$  para valores entre 21 A y 90A y con el shut magnético variable para valores de 91A hasta 150A.
- La inyección de corriente independiente del tipo de regulación que se esté utilizando debe ser en forma progresiva, de manera que permita una adecuado incremento de la corriente y por tanto valores reales de tiempo y corriente de fusión.
- Los fusibles a utilizarse deben ser de media tensión y en los valores establecidos en las especificaciones.

***Seccionador:***

El seccionador es el aparato que permite la adecuación del Fusibles para las pruebas respectivas.

*Instalación del fusible en el seccionador*

- a. Separar el portafusible del seccionador



b. Colocar el fusible a probar en el interior del portafusible



c. Asegurar el fusible

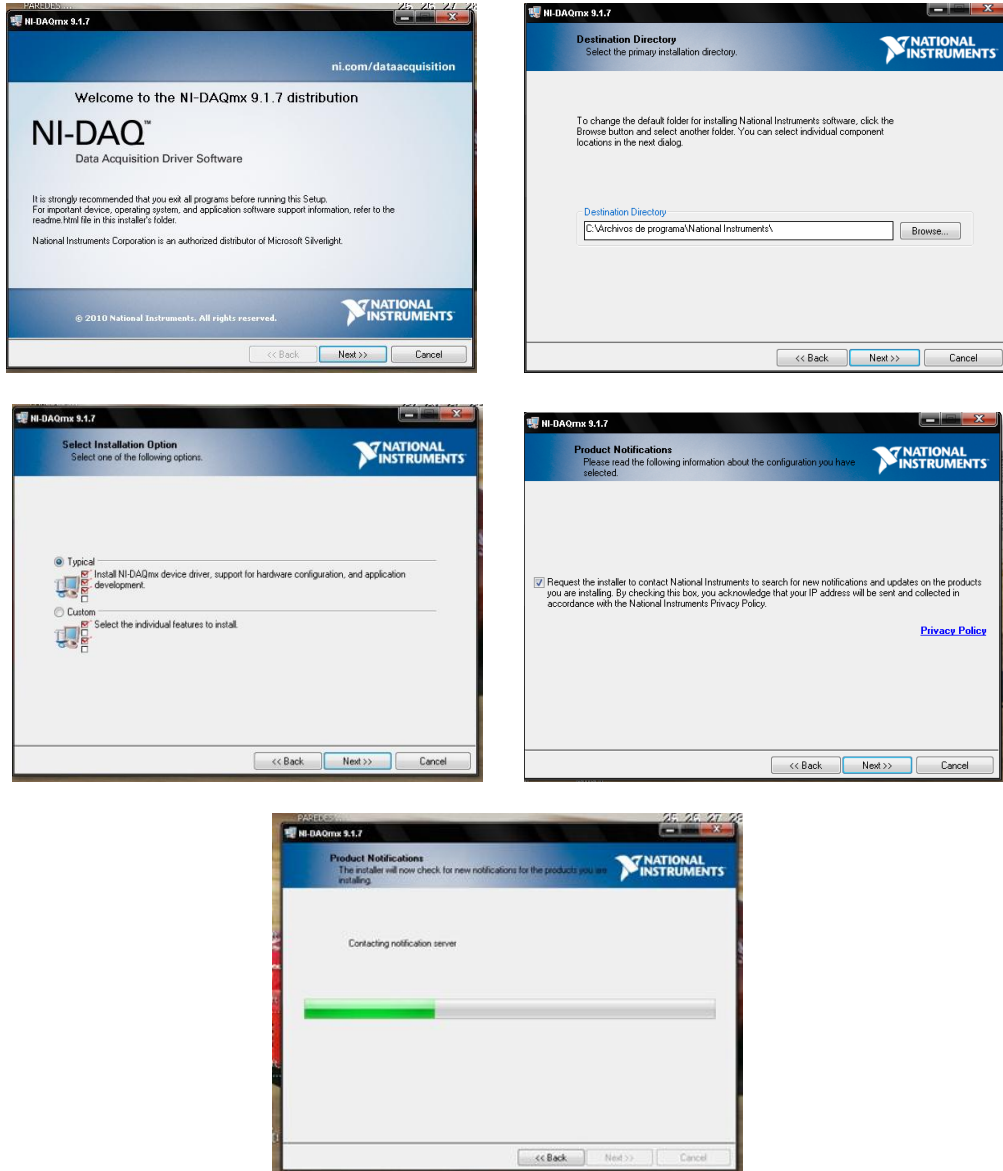


d. Colocar el portafusible en el seccionador



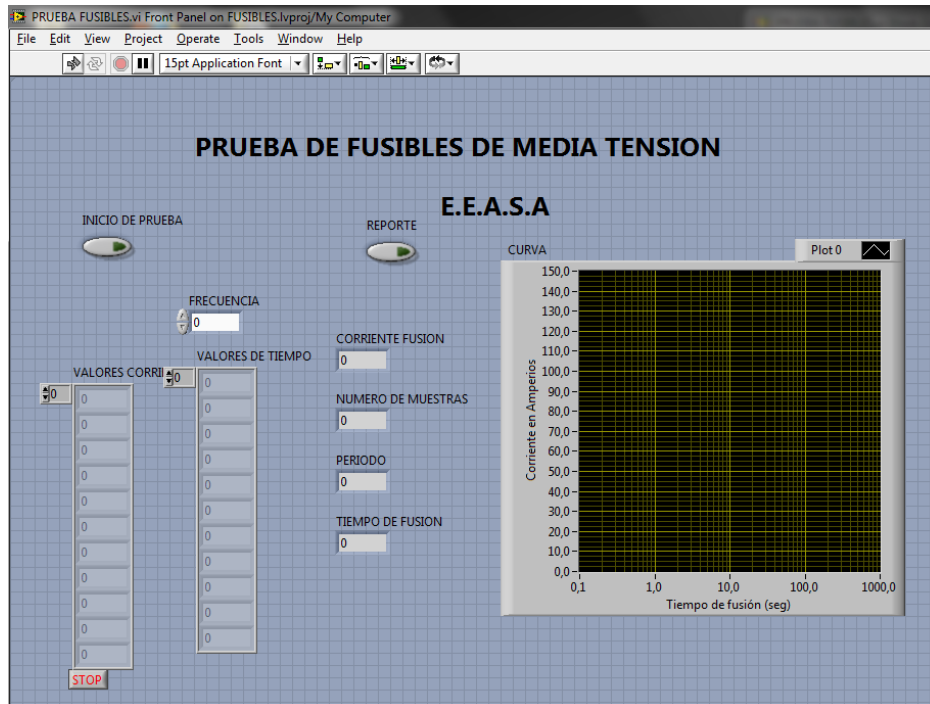
## Instalación de DAQ

Para la conexión mediante el puerto USB, de la DAQ al computador es necesario la instalación de los Drives NI USB 6212, según los siguientes pasos:





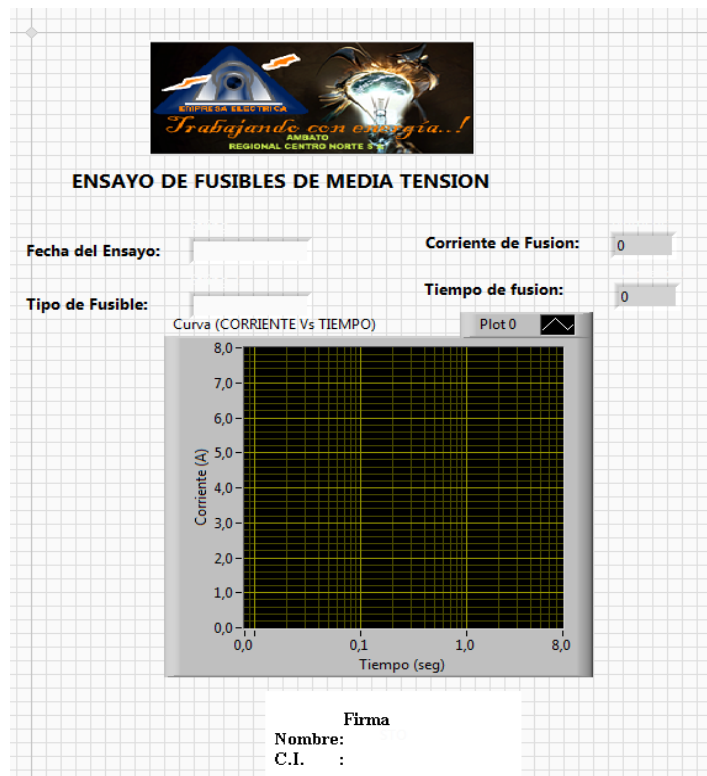
## Programa Principal en Labview



- **Botón INICIO PRUEBA.-** debe ser pulsado una vez conectado el equipo a la alimentación de 110V, lo que permite dar inicio a la adquisición de los datos.
- **Numérico FRECUENCIA.-** se establece la frecuencia con la que se va a trabajar, lo por general se utiliza 60Hz.
- **Indicador CORRIENTE FUSION.-** se visualiza los valores de corriente inyectados o proporcionados por los sistemas de regulación utilizados.
- **Indicador NUMERO DE MUESTRAS.-** indicada el número de veces que se genera un valor diferente de corriente.
- **Indicador PERIODO.-** visualiza el periodo de trabajo, calculado mediante programación.

- **Indicador TIEMPO DE FUSIÓN.**- indica el tiempo de fusión del fusible, en base a la frecuencia y periodo.
- **Array VALORES CORRIENTE.**- presenta todos los valores generados en el proceso de prueba.
- **Array VALORES TIEMPO.**- presenta los valores de tiempo correspondiente a cada valor de corriente.
- **Grafica CURVA.**- genera la curva característica de cada tipo de fusible en base a los valores de corriente y tiempo adquiridos.
- **Botón REPORTE.**- debe ser pulsado una vez culminada la prueba, es decir cuando el fusible se funde, visualizándose una programa llamado reporte, el mismo permitirá la impresión de los valores de corriente y tiempo de fusión, así mismo la Curva Corriente vs Tiempo.

**Programa Reporte en Labview**



- **String FECHA DEL ENSAYO.**- corresponde la fecha en que se realizó la prueba.
- **String TIPO DE FUSIBLE.**- se indica el tipo de fusible que se probó.
- **Indicador CORRIENTE DE FUSIÓN.**- corresponde al valor de corriente de fusión generado en el Programa Principal.
- **Indicador TIEMPO DE FUSIÓN.**- corresponde al valor de tiempo de fusión generado en el Programa Principal.
- **Grafica CURVA (CORRIENTE Vs TIEMPO).**- curva característica del fusible de prueba, según los valores adquiridos.

#### 4. Especificaciones

*Tabla característica*

<b>Características</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidad</b>
Alimentación	110	Voltios
Corriente generada	0 – 150	Amperios (CA)
Voltaje generado	0 – 10	Voltios (CA)
Frecuencia	60	Hz
Potencia	750	VA
Sistema de regulación de corriente	Resistencia variable de 31 $\Omega$ y 1000 $\Omega$ y shut magnético variable.	Ohm
Porcentaje de error en presentación de valores	$\pm 0.01$	%
Error de corriente	$\pm 0.03$	A
Error de voltaje	$\pm 0.02$	V

*Estructuración Interna*

