

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería Electrónica**



**Diseño del sistema de protección contra distorsiones en la red de distribución eléctrica para la central telefónica de San José del Instituto Costarricense de Electricidad.**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Kendal Campos Araya**

**Cartago, Setiembre de 2011**

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA**

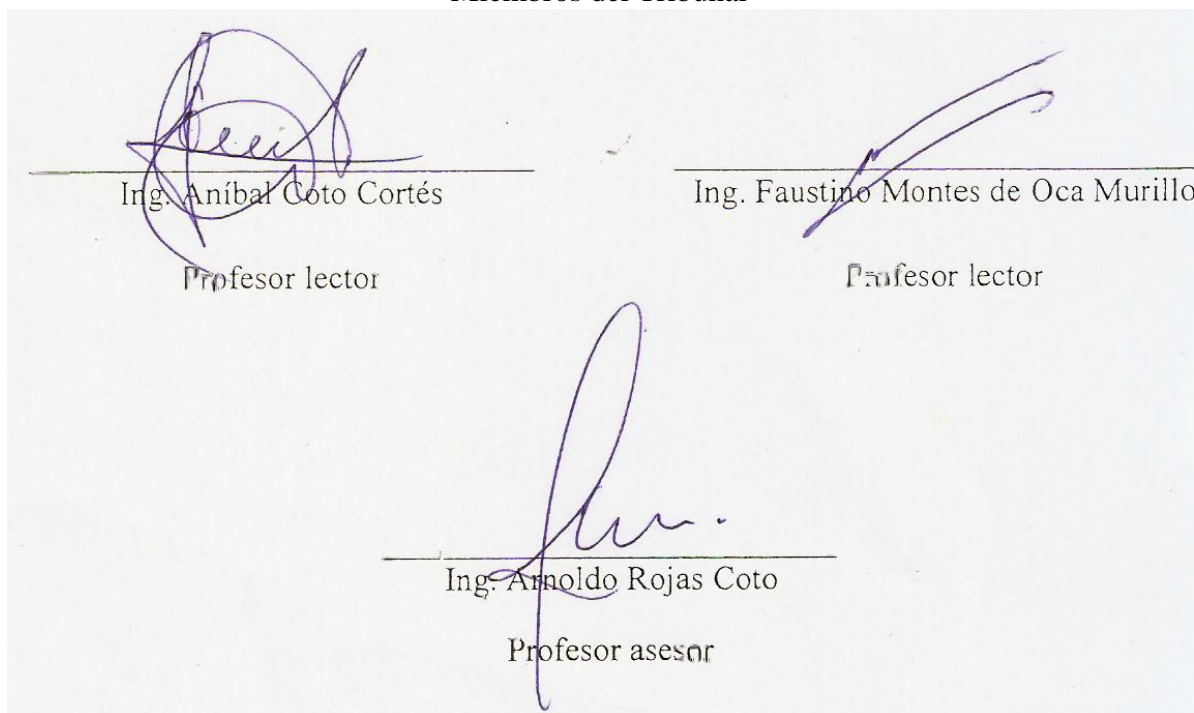
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

**Miembros del Tribunal**



Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, Setiembre 2011

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Setiembre 2011



Kendal Campos Araya  
Céd: 1 1256 0293

## RESUMEN

Los sistemas de telecomunicaciones, debido a su uso y exposición, constantemente se ven afectados por fenómenos naturales y artificiales que afectan la operación de los mismos. Las descargas atmosféricas, inducciones electromagnéticas a causa de la exposición a líneas de alta y mediana tensión, electricidad estática, entre otros, generan condiciones de sobrecarga y sobretensión en las distintas partes del complejo sistema de telecomunicaciones. Los daños ocasionados por sobrecargas y sobretensiones en los distintos elementos de la red de telecomunicaciones, no solo afectan estos equipos sino que ponen en peligro a las personas que tienen contacto con los ellos.

En la búsqueda de un sistema de distribución eléctrica de calidad para los equipos de telecomunicación situados en la central telefónica del Instituto Costarricense de Electricidad ubicada en el centro de San José se ha establecido una metodología de orientación científica que establece los pasos a seguir para localizar, estudiar y poder contrarrestar estos disturbios en la red eléctrica perjudiciales para los dispositivos destinados a brindar los servicios de telecomunicaciones con el sustento de las recomendaciones internacionales dadas por la IEEE. La búsqueda de la solución constituye un problema de investigación el cual se desarrolla en cuatro etapas principales: Análisis, Localización, Selección e Instalación de los equipos de protección correspondientes.

Para realizar esta labor, como primer paso se requiere instalar un equipo analizador de calidad de energía que constantemente este monitoreando la red eléctrica y las posibles fallas que en esta se puedan producir, para luego abocarse a buscar los parámetros y realizar el diseño del sistema de protección contra transientes dimensionado a las características propias de esta central telefónica.

Palabras Claves: Calidad de Energía; Central Telefónica; Telecomunicaciones; Transientes, Supresor; Normas y Estándares; Descargas Atmosféricas.

## **ABSTRACT**

The systems of telecommunications, due to their use and exhibition, constantly are affected by natural and artificial phenomena that affect the operation of the same. The atmospheric unloadings, electromagnetic inductions because of the exhibition to lines of discharge and median tension, static electricity, among others, generate conditions of overload and surge in the different parts from the complex system of telecommunications. The damages caused by overloads and surges in the different elements from the network of telecommunications, not only affect these equipment but they put in danger the people who have contact with them.

In the search of a system of electrical distribution of quality for the equipment of telecommunication located in the central telephone office of the Costa Rican Institute of Electricity (ICE) located in center of San José a methodology of scientific direction has settled down that establishes the steps to follow to locate, to study and to be able to resist these disturbances in the mains detrimental for the devices destined to offer the services of telecommunications the sustenance of the international recommendations given by the IEEE. The search of the solution constitutes an investigation problem which is developed in four main stages: Analysis, Location, Selection and Installation of the corresponding protective equipment.

In order to realise this work, as first step is required to install an analyzing equipment of quality of energy that constantly this monitoring mains and the possible faults that in this can be produced, soon to lead itself to look for the parameters and to realise the design of the system of protection against surges determine the proportions to the own characteristics of this central telephone office.

Keywords: Quality of Energy; Central telephone office; Telecommunications; Transients, Suppressor; Norms and Standards; Lightning.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar el éxito de este esfuerzo, en primer lugar al Señor mi Dios, el mismo que me dio el don de la vida, me bendice cada día al poder levantarme y me da la fuerza para afrontar los momentos más difíciles. A Él sea la honra y gloria.

A mi madre Vera Araya Sibaja, una mujer maravillosa quien a base de paciencia y un gran amor me ha brindado su apoyo incondicional y junto con mi hermano mayor Kenneth, se han convertido en mi soporte y razón de seguir adelante.

A mi padre Arturo Campos Romero un hombre increíble que me enseñó el significado del esfuerzo y la dedicación, se lo dedico porque siempre estuvo a mi lado apoyando mis planes y proyectos, dándome consejos sobre lo que más me favorecía, luchando contra las adversidades para sacar adelante a mi familia y aunque en este momento no esté con nosotros lo llevamos siempre en nuestro corazón.

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo agradecer a mi familia que me ha brindado apoyo y confianza en todo momento preocupándose por mi bienestar en este triunfo.

A los todos profesores de la escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica que han estado involucrados con mi formación profesional.

De manera muy especial deseo agradecer al profesor Luis Fernando Bogantes y sus compañeros de la Unidad de Deporte del Instituto Tecnológico de Costa Rica, los cuales me dieron la oportunidad de vivir muchas lindas experiencias que me ayudaron a sobrellevar mis cargas académicas y me dieron el equilibrio entre mi carrera y la sana diversión.

Agradezco al Instituto Costarricense de Electricidad por medio del Ing. Hugo Sánchez Coto por brindarme la oportunidad de realizar la práctica profesional en esta prestigiosa empresa nacional y por el apoyo que se me dio durante la elaboración del proyecto, tanto en la recopilación de información teórica, como en los equipos suministrados. Se agradece la confianza depositada en mi persona.

A mis compañeros durante la práctica profesional por su ayuda, mis amigos Juan Carlos Brenes y Danilo Herrera.

A mis compañeros de estudio y amigos por los gratos momentos y recuerdos que plasmaron en mi memoria, por lo que compartimos y vivimos, por estar a mi lado.

A todas las personas que han estado conmigo y me han brindado cariño, apoyo y motivación para poder seguir luchando siempre.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

## INDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción .....	16
1.1 Problema existente e importancia de su solución .....	19
1.2 Solución seleccionada .....	23
Capítulo 2: Meta y Objetivos .....	25
2.1 Meta .....	25
2.2 Objetivo General .....	25
2.3 Objetivos Específicos .....	25
Capítulo 3: Marco Teórico .....	26
3.1 Descripción del sistema .....	26
3.2 Antecedentes Bibliográficos .....	29
3.3 Origen de los disturbios en la red de distribución eléctrica .....	31
3.4 Descargas Atmosféricas .....	33
3.4.1 Efectos de las descargas atmosféricas .....	34
3.4.2 Parámetros de las descargas atmosféricas .....	36
3.4.3 Descargas atmosféricas en Costa Rica .....	39
3.5 Sobretensiones Industriales .....	43
3.6 Fenómenos de Calidad de Energía .....	44
3.6.1 Transitorios .....	44
3.6.2 Interrupción .....	48
3.6.3 Elevación (Swell) .....	49
3.6.4 Depresión (Sag) .....	50
3.7 Efecto de los transitorios y disturbios de la calidad de energía .....	51
3.8 Supresores de Transientes .....	52
3.8.1 Varistor de Oxido Metálico (MOV) .....	55
3.8.2 Diodos de Avalancha (TVS) .....	56
3.8.3 Tubos de Descarga de Gas (GDT) .....	57
3.8.4 Supresores de puntas de carbón contra sobretensiones .....	58
Capítulo 4: Procedimiento Metodológico .....	61
4.1 Reconocimiento y definición del problema .....	61



4.2	Obtención y análisis de información .....	63
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	65
4.4	Implementación de la solución.....	67
4.5	Reevaluación y rediseño.....	70
Capítulo 5.	Descripción detallada de la solución.....	71
5.1	Análisis de soluciones y selección final. ....	71
5.2	Sistema de monitorización y análisis de calidad de energía.....	74
5.2.1	Descripción del Hardware.....	75
5.2.2	Descripción del Software .....	80
5.3	Sistema de protección contra transientes .....	86
5.3.1	Sensibilidad del equipo.....	86
5.3.2	Consideraciones para la protección contra transientes .....	90
5.3.3	Consideraciones del sistema de puesta a tierra .....	91
5.3.4	Niveles de exposición .....	91
5.3.5	Categorías de localización.....	101
5.3.6	Selección de formas de onda .....	105
5.3.7	Supresores Existentes.....	114
5.3.8	Criterios de instalación de supresores de transientes .....	115
Capítulo 6:	Análisis de Resultados.....	117
6.1	Resultados.....	117
6.2	Análisis de Resultados.....	124
Capítulo 7:	Conclusiones y Recomendaciones .....	127
7.1	Conclusiones .....	127
7.2	Recomendaciones .....	128
Bibliografía	.....	129
Apéndices	.....	131
A.1	Glosario, abreviaturas y simbología .....	131
A.2	Mediciones .....	133
A.3	Categorías de localización .....	136
A.4	Sistema Analizador de Calidad de Energía – Resultados .....	140

A.5	Información sobre la empresa. ....	144
A.5.1	Descripción de la empresa <sup>[15]</sup> .....	144
A.5.2	Descripción del departamento o sección en la que se realizó el proyecto .....	146
A.5.3	Antecedentes Prácticos.....	149

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Diagrama de conexión eléctrica de la central telefónica San José. ....	19
<b>Figura 1.2</b>	Descarga de una sobretensión realizada por un TVSS.....	24
<b>Figura 3.1</b>	Sistema completo de protección contra distorsiones en la red de distribución eléctrica. ....	27
<b>Figura 3.2</b>	Sistema de protección contra sobretensiones para un edificio con cargas sensibles. (Fuente: Internet).....	28
<b>Figura 3.3</b>	Causas de eventos transientes en las redes de suministro eléctrico. ....	31
<b>Figura 3.4</b>	Efectos indirectos de las descargas atmosféricas. <sup>[4]</sup> .....	36
<b>Figura 3.5</b>	Circuito equivalente de una descarga atmosférica. ....	37
<b>Figura 3.6</b>	Corriente de choque de una descarga atmosférica. <sup>[3]</sup> .....	38
<b>Figura 3.7</b>	Mapa de Días de Tormenta para el año 2010. <sup>[11]</sup> .....	41
<b>Figura 3.8</b>	Mapa de densidad de descargas atmosféricas para el año 2010. <sup>[11]</sup> .....	42
<b>Figura 3.9</b>	Evento transiente por impulso. <sup>[2]</sup> .....	45
<b>Figura 3.10</b>	Evento transiente por operación de banco de capacitores para corrección de FP. <sup>[2]</sup> ....	47
<b>Figura 3.11</b>	Transitorios en modo común y modo diferencial. ....	47
<b>Figura 3.12</b>	Interrupción por desconexión de interruptor en panel de distribución. <sup>[2]</sup> .....	48
<b>Figura 3.13</b>	Elevación de tensión debido a falla remota en el sistema de distribución. <sup>[2]</sup> .....	49
<b>Figura 3.14</b>	Disminución de tensión. <sup>[2]</sup> .....	50
<b>Figura 3.15</b>	Circuito básico de protección contra transitorios. ....	53
<b>Figura 3.16</b>	Varistor de Oxido Metálico (Fuente: Internet). ....	55
<b>Figura 3.17</b>	Diodo de avalancha de silicio (Fuente: Internet). ....	56
<b>Figura 3.18</b>	Tubo de descarga de gas (Fuente: Internet). ....	57
<b>Figura 3.19</b>	Supresor de puntas de carbón (Fuente: Internet).....	58
<b>Figura 4.1</b>	Cobertura de protección en los sistemas de comunicaciones.....	65
<b>Figura 4.2</b>	Diagrama de implementación de un sistema de protección y puesta a tierra. ....	67
<b>Figura 5.1</b>	Diagrama de metodología para la evaluación de los problemas de calidad de la energía. .....	72
<b>Figura 5.2</b>	Medidor de calidad de energía Nexus 1500. <sup>[8]</sup> .....	75
<b>Figura 5.3</b>	Diagrama eléctrico de conexión 3 fases 4 hilos estrella directo para Nexus 1500. <sup>[8]</sup> .....	76
<b>Figura 5.4</b>	Medidor de calidad de energía Shark 200. <sup>[6]</sup> .....	77
<b>Figura 5.5</b>	Diagrama eléctrico de conexión 3 fases 4 hilos estrella directo para Shark 200. <sup>[6]</sup> .....	78
<b>Figura 5.6</b>	Transductor de corriente (CT) (Fuente: Internet).....	79
<b>Figura 5.7</b>	Antiguo sistema de medición ubicado en la subestación eléctrica. ....	80
<b>Figura 5.8</b>	Perfil del dispositivo, configuración Nexus 1500. ....	82

<b>Figura 5.9</b>	Parámetros generales, configuración Nexus 1500.....	83
<b>Figura 5.10</b>	Dirección IP, configuración Nexus 1500.....	84
<b>Figura 5.11</b>	Registros de almacenamiento, configuración Nexus 1500.....	85
<b>Figura 5.12</b>	Curva ITI (CBEMA). <sup>[2]</sup> .....	87
<b>Figura 5.13</b>	Relación entre las amplitud, duración, razón de cambio y sus efectos en el equipo. <sup>[1]</sup>	88
<b>Figura 5.14</b>	Grafica CBEMA para la central telefónica de San José (Fuente: Medidor Nexus 1500) .....	89
<b>Figura 5.15</b>	Mapa de densidad de descargas atmosféricas del Cantón Central y Distrito Catedral. <sup>[11]</sup> .....	93
<b>Figura 5.16</b>	FLUKE 435 Analizador de calidad de energía (conexión a PC). <sup>[5]</sup> .....	95
<b>Figura 5.17</b>	Eventos transientes de voltaje registrados en el tablero TN 2 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José. ....	96
<b>Figura 5.18</b>	Elevaciones de corriente (swell) registradas en el tablero TN 2 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José. ....	97
<b>Figura 5.19</b>	Elevaciones de corriente (swell) registradas en el tablero T10 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José para el compresor A.....	97
<b>Figura 5.20</b>	Elevaciones de corriente (swell) registradas en el tablero T10 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José para el compresor B.....	98
<b>Figura 5.21</b>	Eventos transientes registrados en el tablero TE C2 G ubicado en el piso 9 de la Central Telefónica de San José.....	100
<b>Figura 5.22</b>	Eventos transientes registrados en el tablero TN 3D ubicado en el piso 7 de la Central Telefónica de San José.....	100
<b>Figura 5.23</b>	Categorías de localización de supresores. <sup>[1]</sup> .....	102
<b>Figura 5.24</b>	Onda oscilatoria de 100 kHz. <sup>[1]</sup> .....	107
<b>Figura 5.25</b>	Onda combinada de voltaje de circuito abierto. <sup>[1]</sup> .....	108
<b>Figura 5.26</b>	Onda combinada de corriente de corto circuito. <sup>[1]</sup> .....	109
<b>Figura 5.27</b>	Resultados obtenidos de la página de internet <a href="http://www.apttvss.com">www.apttvss.com</a> para la categoría de localización C. ....	111
<b>Figura 5.28</b>	Resultados obtenidos de la página de internet <a href="http://www.apttvss.com">www.apttvss.com</a> para la categoría de localización B. ....	112
<b>Figura 5.29</b>	Resultados obtenidos de la página de internet <a href="http://www.apttvss.com">www.apttvss.com</a> para la categoría de localización A. ....	112
<b>Figura 5.30</b>	Diagrama de instalación para un supresor de transientes ubicado en tablero de distribución principal (Fuente: Internet).....	116
<b>Figura 6.1</b>	Menú principal del analizador de calidad de energía Nexus 1500. ....	117
<b>Figura 6.2</b>	Forma de onda de armónicos de la fase A utilizando el analizador de calidad de energía Nexus 1500. ....	118
<b>Figura 6.3</b>	Funcionamiento normal de los analizadores de calidad de energía Shark 200. ....	119

<b>Figura 6.4</b>	Diagrama fasorial de la subestación eléctrica de la central telefónica de San José. ....	120
<b>Figura 6.5</b>	Supresor de picos Hubbell HBL4P160. <sup>[13]</sup> .....	121
<b>Figura 6.6</b>	Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico. <sup>[5]</sup> .....	122
<b>Figura 6.7</b>	Formas de onda de tensión del tablero TE C 2 ubicado en el sótano de la central telefónica de San José. ....	122
<b>Figura 6.8</b>	Eventos transientes registrados en el tablero TE K IP 1A ubicado en el piso 4 de la Central Telefónica de San José. ....	123
<b>Figura A.2.1</b>	Eventos transientes registrados en el tablero TN 4 G1 ubicado en el piso 8 de la Central Telefónica de San José. ....	133
<b>Figura A.2.2</b>	Eventos transientes registrados en el tablero TE K ubicado en el piso 6 de la Central Telefónica de San José. ....	133
<b>Figura A.2.3</b>	Eventos transientes registrados en el tablero de Ductos ubicado en el piso 5 de la Central Telefónica de San José. ....	134
<b>Figura A.2.4</b>	Eventos transientes registrados en el tablero T10 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José. ....	134
<b>Figura A.2.5</b>	Eventos transientes registrados en el tablero T10 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José. ....	135
<b>Figura A.2.6</b>	Eventos transientes registrados en el tablero TE K IP 1 ubicado en el piso 4 de la Central Telefónica de San José. ....	135
<b>Figura A.4.1</b>	Espectro de armónicos de la fase A utilizando el analizador de calidad de energía Nexus 1500. ....	140
<b>Figura A.4.2</b>	Grafico de barras de valores de corriente medidos desde el Tablero Gran Normal utilizando el analizador de calidad de energía Nexus 1500. ....	140
<b>Figura A.4.3</b>	Medición de voltaje de línea realizada con el analizador de calidad de energía Shark 200. ....	141
<b>Figura A.4.4</b>	Medición de voltaje de línea realizada con el analizador de calidad de energía Shark 200. ....	141
<b>Figura A.4.5</b>	Armónicos de la fase C de la subestación eléctrica de la central telefónica de San José. ....	142
<b>Figura A.4.6</b>	Mediciones en tiempo real de la subestación eléctrica de la central telefónica de San José. ....	143
<b>Figura A.5.1</b>	Estructura Organizacional de ICE. <sup>[15]</sup> .....	148

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1</b>	Clasificación de severidad en los rangos de densidad a partir de los flash.....	42
<b>Tabla 3.2</b>	Clasificación de transitorios de tipo oscilatorio según su frecuencia. ....	46
<b>Tabla 3.3</b>	Características de algunos dispositivos utilizados en la protección contra transientes. ....	59
<b>Tabla 5.1</b>	Características y parámetros de instalación de los dispositivos de medición.....	81
<b>Tabla 5.2</b>	Equipo de aire acondicionado de la central telefónica de San José.....	99
<b>Tabla 5.3</b>	Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 7 de la central telefónica de San José. ....	103
<b>Tabla 5.4</b>	Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al sótano de la central telefónica de San José. ....	104
<b>Tabla 5.5</b>	Resumen de las formas de onda estándar aplicables y adicionales para las categorías de ubicación A, B y C. <sup>[1]</sup> .....	105
<b>Tabla 5.6</b>	<b>Onda oscilatoria estándar 0.5µs - 100 kHz.</b> <sup>[1]</sup> .....	110
<b>Tabla 5.7</b>	<b>Onda combinada estándar 1.2/50µs - 8/20µs.</b> <sup>[1]</sup> .....	110
<b>Tabla 5.8</b>	Características de los TVSS para la central telefónica de San José. ....	111
<b>Tabla 5.9</b>	Paneles de distribución que poseen supresor de picos integrado. ....	114
<b>Tabla 5.10</b>	Voltajes de sujeción medidos según pruebas realizadas con base a formas de onda IEEE C62.41 para el supresor HL1IMA12.....	114
<b>Tabla 6.1</b>	Características del supresor marca Hubbell modelo HBL4P160 instalado en el tablero TE C 2. <sup>[13]</sup> .....	121
<b>Tabla A.3.1</b>	Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 10 de la central telefónica de San José. ....	136
<b>Tabla A.3.2</b>	Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 9 de la central telefónica de San José. ....	136
<b>Tabla A.3.3</b>	Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 8 de la central telefónica de San José. ....	136
<b>Tabla A.3.4</b>	Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 6 de la central telefónica de San José. ....	137
<b>Tabla A.3.5</b>	Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 5 de la central telefónica de San José. ....	137
<b>Tabla A.3.6</b>	Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 4 de la central telefónica de San José. ....	138
<b>Tabla A.3.7</b>	Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 3 de la central telefónica de San José. ....	138
<b>Tabla A.3.8</b>	Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 2 de la central telefónica de San José. ....	139

<b>Tabla A.3.9</b> Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes a la planta baja de la central telefónica de San José. ....	139
<b>Tabla A.5.1</b> Personal del Departamento de Electromecánica de la Central Telefónica de San José. ....	147

## Capítulo 1: Introducción

Un suministro eléctrico de calidad es de vital importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos electrónicos delicados. Los sistemas de telecomunicaciones se caracterizan por modos de operación a valores bajos de potencia, y por ende en la mayoría de los casos valores pequeños de potencial eléctrico e intensidad de corriente. Estas características, repercuten en una alta sensibilidad al ruido en las líneas de transmisión de datos y voz, además de posibles averías en este tipo de dispositivos. Las descargas atmosféricas, junto con los problemas de inducción magnética debido a alteraciones en las líneas de voltaje y paneles de distribución, son hoy día un problema serio en los sistemas de telecomunicaciones. Fenómenos de este tipo degeneran en ruido excesivo e inclusive daños cuantiosos de dispositivos electrónicos y equipo sensible.

En el sistema eléctrico de la central telefónica de San José, en el cual los sistemas de distribución de energía comparten en algunos tableros, equipos de aire acondicionado como equipos sensibles, es preciso el conocimiento y la implementación de un adecuado sistema de protección y puesta a tierra de los sistemas de comunicación y tableros de distribución, particularmente por la alta susceptibilidad que presentan los equipos electrónicos ante perturbaciones cerca de las líneas de transmisión de potencia.

La correcta protección en sistemas de telecomunicaciones no solo trae beneficios tales como la prevención y disminución de daños a equipos sensibles, mejoramiento de la calidad de potencia para la correcta operación de los equipos, sino que también trae un beneficio aún más importante: la protección adecuada al personal que labora en lugares en los cuales impera la exposición de una forma directa o indirecta a riesgos de descargas atmosféricas o a altas fluctuaciones de energía.



Actualmente a nivel internacional, existen reglamentos que regulan el diseño, la instalación y puesta en funcionamiento de los sistemas de protección y puesta a tierra de equipos eléctricos. Con este trabajo de investigación se pretende hacer un análisis del estándar IEEE C62.41-1991 del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos en lo referente a prácticas recomendadas sobre los transitorios de voltaje en circuitos de potencia de corriente alterna de baja tensión y a partir de la misma normativa realizar la inferencia respectiva hacia su aplicabilidad a la central telefónica en estudio. Luego se procederá a elaborar una guía didáctica para la capacitación a técnicos y profesionales del área de comunicaciones e instalaciones eléctricas, en el tema de protecciones contra sobretensiones.

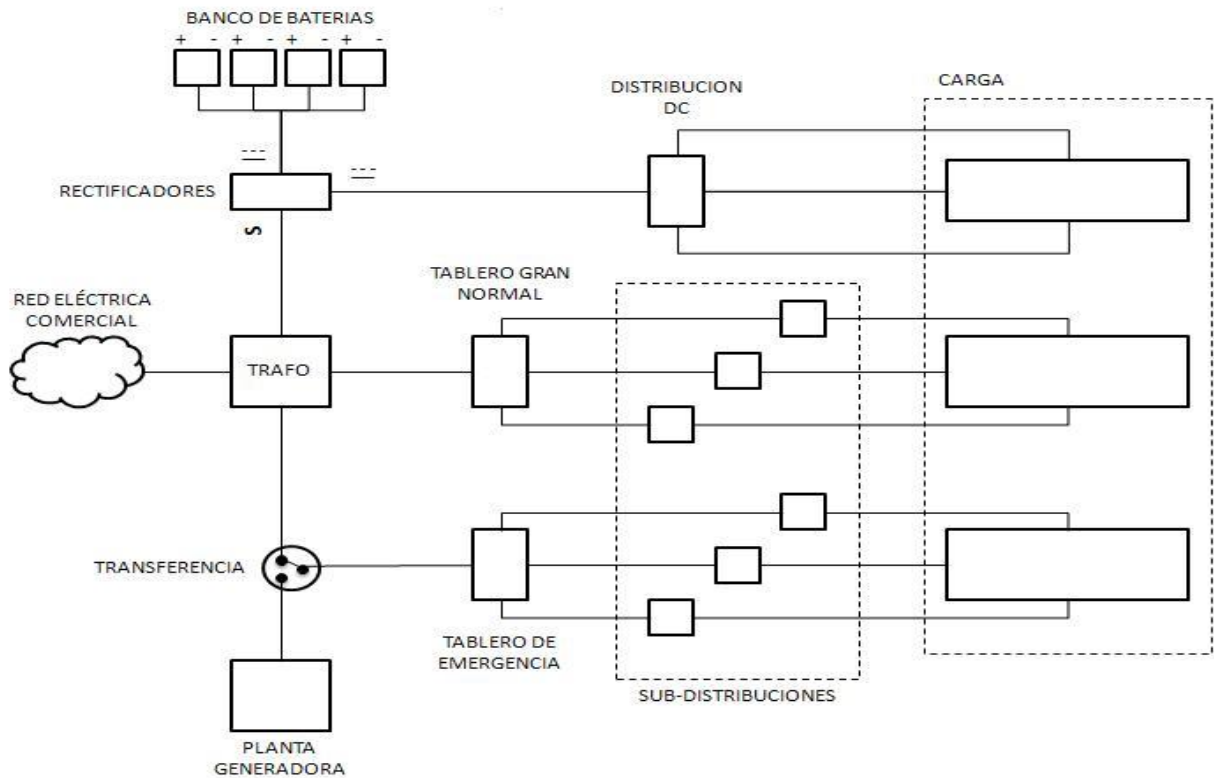
De esta manera surge el concepto de calidad de energía, el cual incluye las características de la onda de tensión del suministro de energía eléctrica y posibles disturbios que se puedan presentar, es decir, la ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de tensión eléctrica suministrado al usuario, es decir la estabilidad de voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico.

Aplicando este concepto directamente para disminuir una amplia variedad de efectos dañinos, nace la necesidad de diseñar un sistema de protección para los equipos de telecomunicaciones, los cuales pueden provocar un funcionamiento inadecuado, reducción de la vida útil de los dispositivos electrónicos y en el peor de los casos el daño permanente de los mismos. Para esto se utilizan dispositivos supresores de transientes o TVSS (Transient Voltage Surge Suppressors), por sus siglas en ingles, los cuales tienen como objetivo eliminar esas sobretensiones fuera del rango adecuado, por medio del sistema de tierras del edificio.

La central telefónica de San José del Instituto Costarricense de Electricidad es una edificación en dos etapas, en donde existen diferentes tecnologías destinadas a brindar varios servicios como por ejemplo la telefonía fija, televisión digital por internet o IPTV, internet de banda ancha, telefonía celular y centros de gestión y monitorización de estos servicios de telecomunicación así como de otras tecnologías que no son albergadas en este edificio. Por este motivo es necesario que la energía eléctrica suministrada a los equipos y dispositivos posea las características y las condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes.

## 1.1 Problema existente e importancia de su solución

A continuación, en la figura 1.1, se muestra un diagrama general del sistema eléctrico de la central telefónica de San José.



**Figura 1.1** Diagrama de conexión eléctrica de la central telefónica San José.

Como se mencionaba anteriormente, la central telefónica de San José es una edificación en dos etapas, conocidas como “Edificio Viejo” y “Edificio Nuevo” siendo de siete y diez pisos respectivamente, en donde se albergan todos los servicios de telecomunicaciones antes descritos.

Como se puede observar en la figura 1.1, el sistema de distribución de la central telefónica consta de tres etapas, la primera correspondiente a una alimentación de manera directa a la red eléctrica comercial, la cual, en algún caso de falla no tendrá respaldo alguno. A esta distribución se le conoce como Tablero Gran Normal, en la cual son energizados equipos y dispositivos de poca importancia como lo son algunas luminarias, equipos varios de computo, toma corrientes para uso común, algunos equipos de aire acondicionado y electrodomésticos ubicados en las diferentes salas de comedor dentro del edificio.

La segunda etapa es llamada Tablero de Emergencia, cuya función es respaldar todas aquellas cargas importantes dentro del edificio. Se alimenta directamente de la red eléctrica comercial, pero en caso de que esta falle, se realiza un cambio de fuente de alimentación, esto mediante un interruptor de transferencia, dando paso a la energía eléctrica proveniente de las plantas generadoras dentro del edificio.

La mayoría de equipos de telecomunicaciones son alimentados por corriente directa, más específicamente poseen una fuente de alimentación de -48V. Esta energía proviene de los rectificadores los cuales tiene la función de convertir la energía eléctrica de corriente alterna proveniente de los tableros de emergencia a corriente directa, igualmente poseen la función de cargar los bancos de baterías que conforman el respaldo de los equipos en corriente directa.

Actualmente el sistema de distribución de energía eléctrica de este edificio no cuenta con un sistema adecuado de protección contra posibles transientes que se puedan presentar en la red o fuera de ella, pues hay instalada una cantidad mínima de supresores y no se sigue una norma específica de protección que abarque desde la entrada de la instalación hasta el equipo por proteger. Ello genera que algunas zonas de la instalación queden sin protección, por lo que existe la posibilidad del mal funcionamiento o el daño de los aparatos.

Mientras que el impacto directo de una descarga puede tener consecuencias graves para las telecomunicaciones, equipos eléctricos, infraestructuras causando pérdidas totales en los sistemas, los daños por causas indirectas suelen ser más numerosos, acompañados de cuantiosas pérdidas económicas. Las descargas atmosféricas producen daños a los equipos de telecomunicaciones de una proporción cuantiosa, pues con la incorporación de microprocesadores, tarjetas, computadores, y sistemas digitales de transmisión de datos, ha aumentado la susceptibilidad de daños causadas por sobretensiones, situación que no se presentaba años atrás. Además existen consecuencias que pueden ser efectos no inmediatos, que a mediano y a largo plazo afectarán el desempeño de los sistemas de telecomunicaciones, como aceleración del proceso de degradación, afectación de la vida útil, perforación de los revestimientos en cables conductores, y pérdida de información de los equipos electrónicos.

Por lo tanto, las distorsiones de tensión causadas por las influencias externas a la red eléctrica, crean la necesidad de protección de los equipos y dispositivos que se encuentran dentro de las centrales telefónicas. Otro factor adicional a esta problemática lo constituye la ausencia de normas nacionales referidas al tema de instalación de dispositivos supresores de sobretensiones.

Algunos de los inconvenientes que se presentan en las centrales telefónicas son el daño que sufren tanto los equipos de protección como los de telecomunicación y servicios. Esto porque los tiempos de respuesta y conmutación de los supresores son largos. Esto se empeora con la deficiente calidad de tierras del sistema de suministro eléctrico existente, el cual no es el más idóneo o es inexistente en gran parte de los tableros de distribución y algunos que poseen cargas de alta importancia.

Asimismo, en la central telefónica de San José, el problema se agrava al no existir un sistema de monitorización de la red de distribución eléctrica o más específicamente, un analizador de calidad de energía localizado en los tableros principales de distribución, el cual suministre mediciones en tiempo real y almacene la información de todos estos posibles eventos que hayan ocasionado algún inconveniente en el suministro eléctrico de los equipos de telecomunicación como de otros equipos destinados para mantener un óptimo funcionamiento de los mismos, esto para poder reconocer las posibles causas que conllevan a averías y poder solucionarlas en un corto plazo de la mejor manera.

Cabe resaltar que el estudio debe tener una relación costo/beneficio adecuada para que a la hora de llevar la solución al campo esta proporcione los resultados esperados con una inversión apropiada.

Como se puede observar, al dar solución a este problema, se brinda un mejor servicio a los usuarios del sistema, mejorando la confiabilidad del mismo y la imagen de la institución.

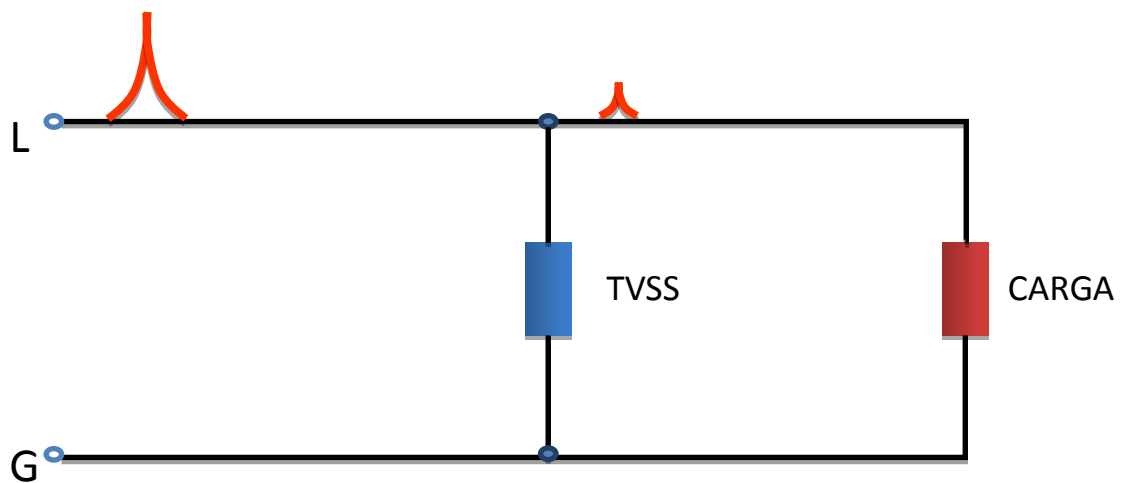
## **1.2 Solución seleccionada**

En la solución seleccionada se distinguen dos etapas las cuales corresponden a la selección y montaje de un sistema de monitorización de la calidad de energía en el sistema de distribución eléctrica y la evaluación y estudio de un sistema de protección contra sobre tensiones apto para la central telefónica de San José, basándose en supresores de transientes.

Para este proyecto lo que se pretende es hacer un análisis a varias normativas y estándares internacionales de la IEEE en lo referente a la protección de sistemas de telecomunicaciones, y a partir de las mismas aplicar alguna de ellas al sistema de telecomunicaciones presente al la central telefónica de San José, para proceder a la elaboración de una guía didáctica para la capacitación a técnicos y profesionales del área de comunicaciones, con el tema de protecciones contra distorsiones en el suministro de energía eléctrica de los equipos de telecomunicaciones.

Lo que se requiere es revisar el sistema de protección actual basado en supresores de tensiones con el objetivo de conocer sus debilidades para mejorarlo y contar con un sistema de protección confiable y robusto acorde con las normas internacionales y elaborar un manual de instalación de este tipo de sistemas, es decir, lo que habría que hacer es recomendar una modificación al sistema de protección actual si este no está protegiendo a los equipos, empezando por una revisión de todo el sistema de puesta a tierra y después los protectores contra sobre voltajes y sobre corrientes.

Los sistemas de protección basados en supresores de transientes permiten realizar un esquema de defensa contra sobre voltajes en diferentes puntos de la red de distribución eléctrica, esto para contrarrestar el aumento de tensión provocadas tanto por agentes externos como internos en la red eléctrica. Bajo condiciones normales los TVSS presentan una extremada alta impedancia a tierra, pero durante un evento transiente, el supresor instantáneamente baja su impedancia facilitando el flujo del exceso de energía directamente a tierra. En la siguiente figura se ilustra este procedimiento.



**Figura 1.2** Descarga de una sobretensión realizada por un TVSS.

Los requerimientos establecidos por el ICE se pueden resumir en dos palabras, costo y eficiencia. Puesto que lo más óptimo es obtener una solución de bajo costo económico para reducir gastos excesivos, pero que esta cumpla con los requerimientos básicos del sistema.



## **Capítulo 2: Meta y Objetivos**

### **2.1 Meta**

Mejorar la calidad de la energía del sistema de distribución eléctrica de la central telefónica del ICE ubicada en San José. Esto como un efecto directo del mejoramiento del estudio de las fallas presentadas a lo largo del sistema de distribución desde la subestación eléctrica hasta las cargas finales del mismo.

### **2.2 Objetivo General**

Diseñar el sistema de protección contra distorsiones en la red de distribución eléctrica basado en la instalación de supresores de transientes (TVSS) para el edificio de la central telefónica de San José del Instituto Costarricense de Electricidad, respaldado en un instructivo que funcione como guía para técnicos y profesionales involucrados en el área de protecciones para equipos de telecomunicaciones.

### **2.3 Objetivos Específicos**

- a. Determinar e instalar el sistema apropiado de monitorización de calidad de energía para la subestación (tablero gran normal y tableros de emergencia de las plantas generadoras) de la central telefónica de San José.
- b. Establecer la monitorización y acceso a los datos almacenados por el analizador de calidad de energía por medio de un protocolo IP.
- c. Realizar un análisis del número de días de tormenta (nivel ceráuneo) de la zona en donde se quieren instalar supresores de transientes.
- d. Especificar las normas y estándares internacionales aplicables a sistemas de protección de centrales de comunicación.
- e. Determinar la localización o localizaciones óptimas de los supresores de transientes según su categoría y dependiendo de los requerimientos del equipo a proteger.

## **Capítulo 3: Marco Teórico**

### **3.1 Descripción del sistema.**

Los sistemas de puesta a tierra que se aplican en las centrales telefónicas se caracterizan por tener una tierra común, lo cual implica que todos los sistemas y equipos de telecomunicaciones se aterrizan al mismo punto de referencia. Esto causa en el caso de que se presente una elevación en la diferencia de potencial en la entrada de alimentación, que la elevación de la tensión será la misma para todo el sistema, causando que el sistema tenga un menor impacto. Una o más barras de conexión equipotencial se conectan al sistema de tierra.

El propósito de todo sistema de puesta a tierra es proveer una ruta de baja impedancia al circuito a tierra, funcionando óptimamente bajo condiciones de sobrecarga. Un óptimo sistema de puesta a tierra facilita las funciones de los sistemas de protección contra picos de tensión y corriente.

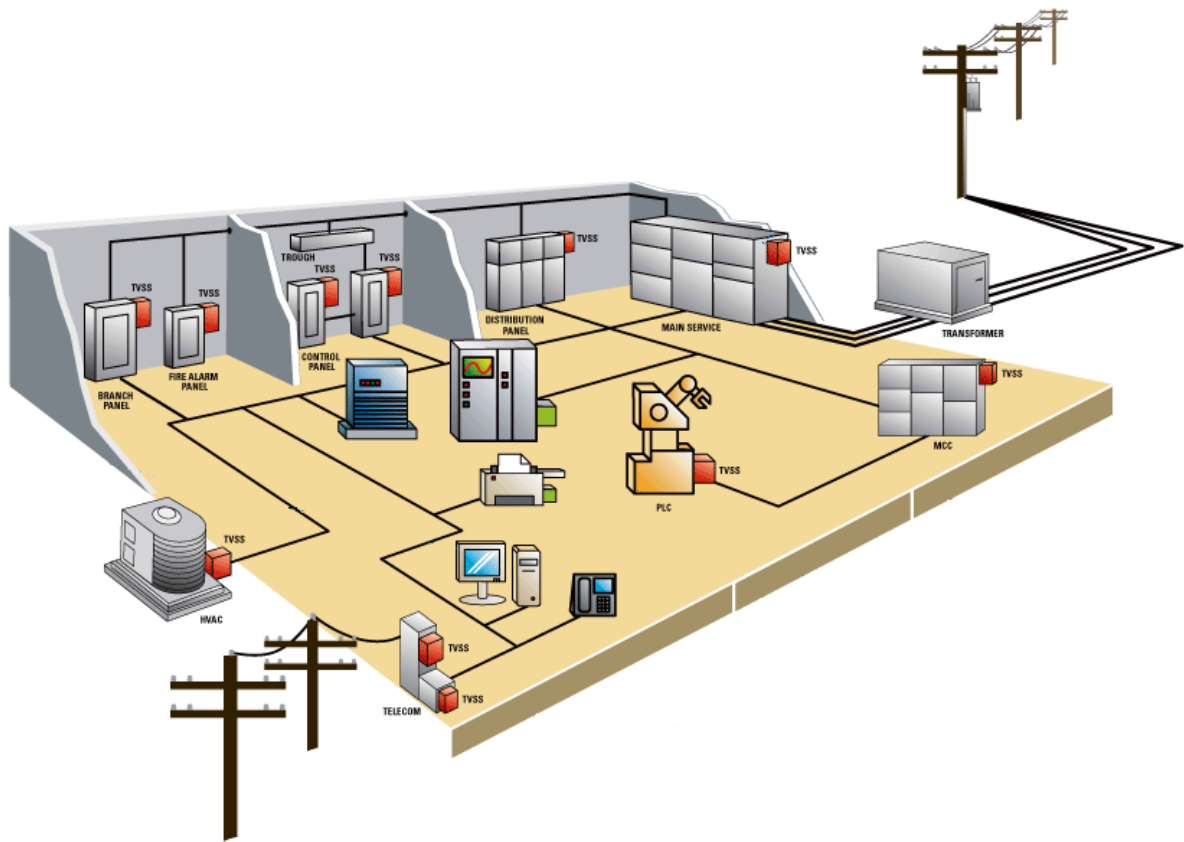
La mayoría de los sistemas de protección contra elevaciones de tensión perjudiciales para equipos eléctricos y electrónicos, se pueden subdividir en etapas en las cuales si se diseña un sistema con características apropiadas para cada etapa, se puede asegurar un fluido eléctrico de calidad. Estas etapas van desde las grandes subestaciones eléctricas las cuales se conforman por redes de distribución para todo el país hasta las cargas finales en una edificación, en las cuales la calidad de energía es de vital importancia para que se prolongue la vida útil de estos dispositivos. Al mismo tiempo, la efectividad de un sistema de protección contra transientes está ligada a un correcto sistema de puesta a tierra y pararrayos como se observa en la figura 3.1.



**Figura 3.1** Sistema completo de protección contra distorsiones en la red de distribución eléctrica.

Enfocándose en el objetivo de este proyecto, la central telefónica en estudio, debe poseer un sistema robusto contra estas distorsiones perjudiciales en el fluido eléctrico o transientes que proteja eficientemente la mayoría de equipos y garantice el correcto funcionamiento del sistema de telecomunicaciones en dicha central.

Este sistema de protección está basado en la instalación de dispositivos supresores de tensión conocidos como TVSS, en diferentes puntos de la central telefónica. Para aclarar lo anteriormente descrito, la figura 3.2 ilustra un posible sistema de protección contra transientes en una edificación en donde se encuentra equipos sensibles a este tipo de eventos.



**Figura 3.2** Sistema de protección contra sobretensiones para un edificio con cargas sensibles.  
(Fuente: Internet)

### 3.2 Antecedentes Bibliográficos

Al momento de llegar a constituir posibles soluciones disponibles en el mercado se recurrió a una búsqueda en Internet.

Es importante destacar que el equipo requerido debe adaptarse a las necesidades actuales cumpliendo con las especificaciones técnicas del diseño del sistema de protección a instalar ya que se busca una solución integral y de calidad que cumpla los estándares en estudio, esto debido a las condiciones adversas en el cual debe operar y la importancia de los equipos a resguardar. Parte del sistema se instalará en una subestación, lugar en el cual se presenta gran ruido eléctrico en donde se trabaja con tensiones elevadas, también en lugares en donde está conectado equipo causante de sobretensiones como los motores eléctricos de alta potencia pertenecientes a equipo de aire acondicionado y tableros con cargas finales y equipo electrónico que requiere al menos niveles de tensión del orden de  $-48 V_{DC}$ .

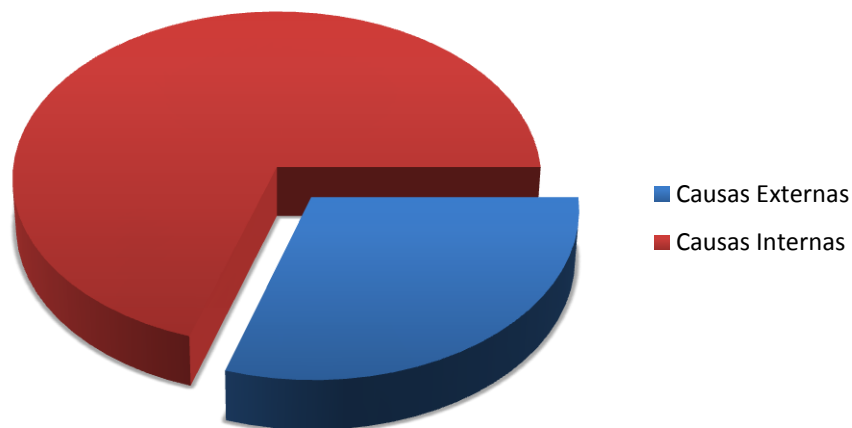
La investigación se inició partiendo de empresas fabricantes de los TVSS, en donde algunas ofrecen soluciones especializadas para el equipo que fabrican, pero todas apuntan a sistemas de protección basados en la normativa internacional IEEE C62.41. De esta manera la búsqueda divergió a un punto diferente, el cual se fundamentó en el cumplimiento de los dispositivos a instalar según este estándar. Con base en lo anterior se encuentran mayoritariamente supresores que se adaptan al sistema de distribución eléctrica existente, pero de forma preliminar, puesto que se debían ajustar a las necesidades propias de los equipos a proteger y características de la red de distribución eléctrica.

La búsqueda continuó con base en las diferentes tipos tecnologías utilizadas destinadas a contrarrestar sobretensiones. En la mayoría de los casos se han implantado sistemas con supresores basados en la tecnología de varistores de óxido metálico, esto por su relativo bajo costo en comparación con otras tecnologías.

Resumiendo, en el mercado se encontraron dispositivos que se ajustan a las necesidades actuales, basados en los estándares internacionales de diseño para mitigar los efectos dañinos de las elevaciones de tensión que deterioran la calidad de energía en un sistema eléctrico, esto para partir del hecho de diseñar el sistema de protección contra transientes de la central telefónica de San José con la ayuda de este tipo de dispositivos.

### 3.3 Origen de los disturbios en la red de distribución eléctrica.

La mayor parte de las perturbaciones eléctricas (>70%) son generadas por la interacción de los equipos de los usuarios dentro de sus instalaciones. El origen de los eventos perjudiciales para equipos eléctricos y electrónicos en general se puede dividir en dos grandes grupos, los cuales en el caso de los transientes, las causas se clasifican en externas e internas, siendo las últimas las más frecuentes.



**Figura 3.3** Causas de eventos transientes en las redes de suministro eléctrico.

La figura anterior describe las causas antes mencionadas en donde aproximadamente un 30% de estas producen eventos transientes son originados por incidentes ambientales como descargas atmosféricas, problemas de conmutación en la compañía de energía eléctrica o maniobras realizadas en edificios adyacentes a la edificación en estudio, es decir, la calidad de la energía decrece conforme se incrementa el número de usuarios conectados a la misma alimentación.

Las causas internas corresponden a maniobras de encendido y apagado de equipos pertenecientes a la red de cada usuario, como lo pueden ser los equipos de refrigeración y aire acondicionado, motores, elevadores, bancos de capacitores, iluminación con balastos electromagnéticos de baja frecuencia, entre otros. Estos transitorios eléctricos se presentan cuando el estado de operación de los sistemas cambia de estado. La energía acumulada en ellos debe tomar una vía a veces perjudicial para el equipo propio o periférico.



### 3.4 Descargas Atmosféricas

Los rayos son descargas eléctricas que se producen en la atmósfera debido a la polarización del campo eléctrico entre una nube y la tierra, es decir, fundamentalmente el relámpago nace entre dos zonas de cargas opuestas; se suele tratar de dos nubes de tempestad o de una nube y la tierra.

El rayo puede avanzar a lo largo de varios kilómetros siguiendo pasos sucesivos hacia el suelo: la punta del rayo (o leader) crea un canal altamente ionizado. Una vez alcanzado el suelo, da lugar al verdadero relámpago el cual posee una intensidad de corriente de varios miles de amperios.

A esta cantidad de intensidad de corriente que se descarga en un relámpago podría definirse como un transiente, puesto que se genera una alta descarga de corriente en un intervalo muy pequeño de tiempo. La intensidad media de la descarga de un rayo se estima en 20 kA, sin embargo existen reportes de descargas cercanas a los 200 kA.

La polaridad de una descarga atmosférica entre nube y tierra, se define como la polaridad de la carga en la nube durante el instante del origen de la descarga. Aproximadamente, más de un 90% de las descargas atmosféricas son de polaridad negativa. Aunque las descargas negativas son más frecuentes, la intensidad de las descargas con polaridad positiva son mucho mayores que las descargas de signo contrario. <sup>[11]</sup>

### **3.4.1 Efectos de las descargas atmosféricas**

#### **3.4.1.1 Efectos directos**

Se caracterizan por el paso, en el momento de la descarga, de una corriente impulsiva de 1 kA a 200 kA con un tiempo de subida del orden de un microsegundo. Puede considerarse que este efecto directo sólo causa una pequeña parte de los destrozos en los equipos eléctricos y electrónicos, dado que estos están muy localizados, por ejemplo, una pendiente  $di/dt$  de 200A/ns con seguridad causa destrozos en equipo electrónico sensible.

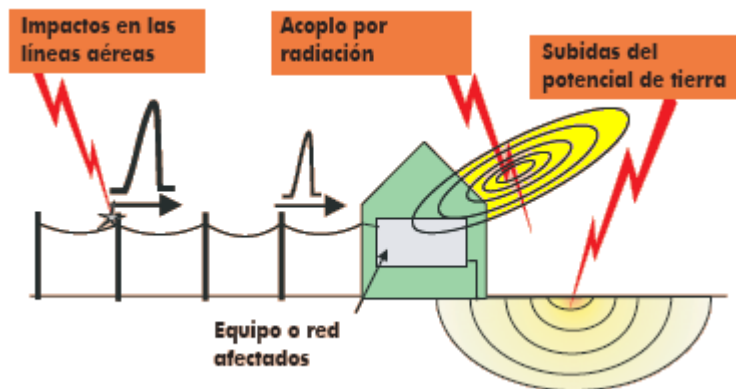
La mejor forma de proteger sigue siendo el pararrayos o la jaula (de Faraday) de malla metálica, cuya misión es captar y canalizar la corriente hacia un determinado punto, de forma tal que la haga casi inofensiva.

#### **3.4.1.2 Efectos Indirectos**

Los efectos generales del rayo en toda su trayectoria desde la nube hasta la disipación de la corriente en tierra son numerosos, pero para efectos de este estudio existen tres tipos de efectos indirectos relevantes (ver figura 3.4):

- a. Impacto en las líneas aéreas: Por estar muy expuestas, pueden ser impactadas directamente por el rayo, lo que provocará primero una destrucción total o parcial de los cables, y luego una onda de tensión importante que se propagará naturalmente a lo largo de los conductores hasta alcanzar los equipos conectados a la línea. La importancia de los daños dependerá evidentemente de la distancia entre los equipos y el impacto.

- b. Subida del potencial de tierra: El drenaje de la corriente de rayo en el suelo crea subidas de potenciales de tierra que dependen de la intensidad de la corriente y de la impedancia de la tierra local. En caso de una instalación que se pueda conectar a diferentes tipos de tierra, diferencias de potencial muy importantes aparecerán como consecuencia de la caída de un rayo y los equipos conectados a las redes afectadas quedarán destruidos o muy dañados.
- c. Radiación electromagnética: El relámpago se puede considerar como una antena de varios kilómetros de altura, portadora de una corriente impulsiva de varias decenas de kiloamperios, que emite campos electromagnéticos intensos (varios kV/m a más de 1 km y dependiendo de la cercanía, varios kA/m). Estos campos inducen tensiones y corrientes elevadas en las líneas cercanas o en los equipos dependiendo de la proximidad y de las características del enlace, es decir, las sobretensiones generadas en las líneas aéreas debido a la incidencia de las descargas atmosféricas a tierra, constituyen un factor de falla de importancia en la calidad de energía suministrada por una compañía eléctrica. Las probabilidades que una descarga incida sobre las proximidades de una línea de comunicación son mucho mayores que la incidencia directa de una descarga atmosférica, propiamente en la línea del conductor.

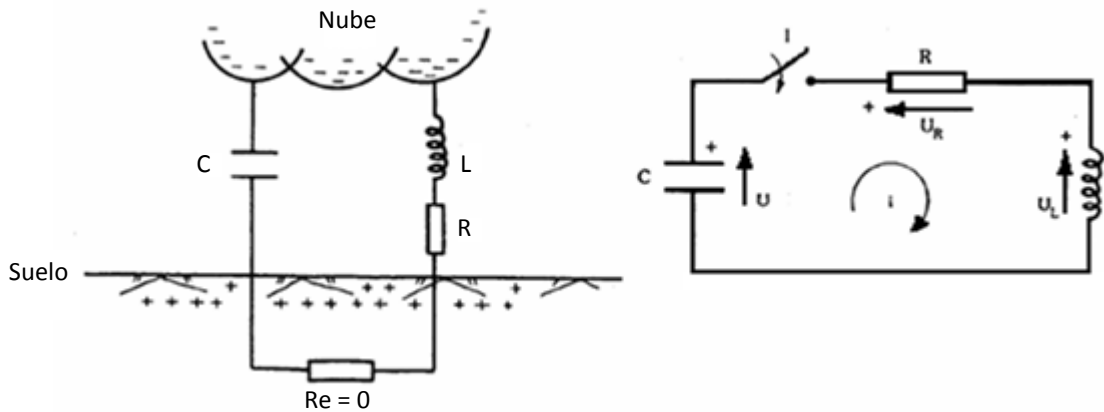


**Figura 3.4** Efectos indirectos de las descargas atmosféricas. <sup>[4]</sup>

### 3.4.2 Parámetros de las descargas atmosféricas

El potencial eléctrico que genera un rayo, está modelado por una función impulso  $U(t)$ , con un valor del orden de kilovoltios, en un intervalo de microsegundos. El campo eléctrico que se produce entre la nube y tierra, idealmente es similar al comportamiento de las placas paralelas de un capacitor cargado. El fenómeno de la descarga principal semeja la descarga de un capacitor, donde se han supuesto parámetros  $R$ ,  $L$ , y  $C$  en forma de parámetros concentrados.

Una descarga eléctrica por tanto se puede modelar a partir de sistema análogo como lo es un circuito eléctrico RLC equivalente, tal y como se muestra en la figura:



**Figura 3.5** Circuito equivalente de una descarga atmosférica.

El efecto inductivo en el punto de descarga será representado por el parámetro  $L$  y  $R$ , pues existe un comportamiento disipativo en el sistema cerrado de la descarga atmosférica, y la magnitud del potencial descargado a tierra se representa por  $U$ .

Realizando un análisis por medio de la Ley de Tensiones de Kirchhoff se logra obtener la ecuación diferencial que describe el modelo antes expuesto:

$$\frac{1}{C} \int_0^{\infty} i(t) dt - U + L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) = 0 \quad (3.1)$$

Donde el valor inicial de descarga es considerado en el instante  $t_0$ , en el momento que el interruptor se cierra. Resolviendo la ecuación diferencial de segundo grado, obtenemos una ecuación de la forma:

$$\frac{d^2i(t)}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{LC} i(t) = 0 \quad (3.2)$$

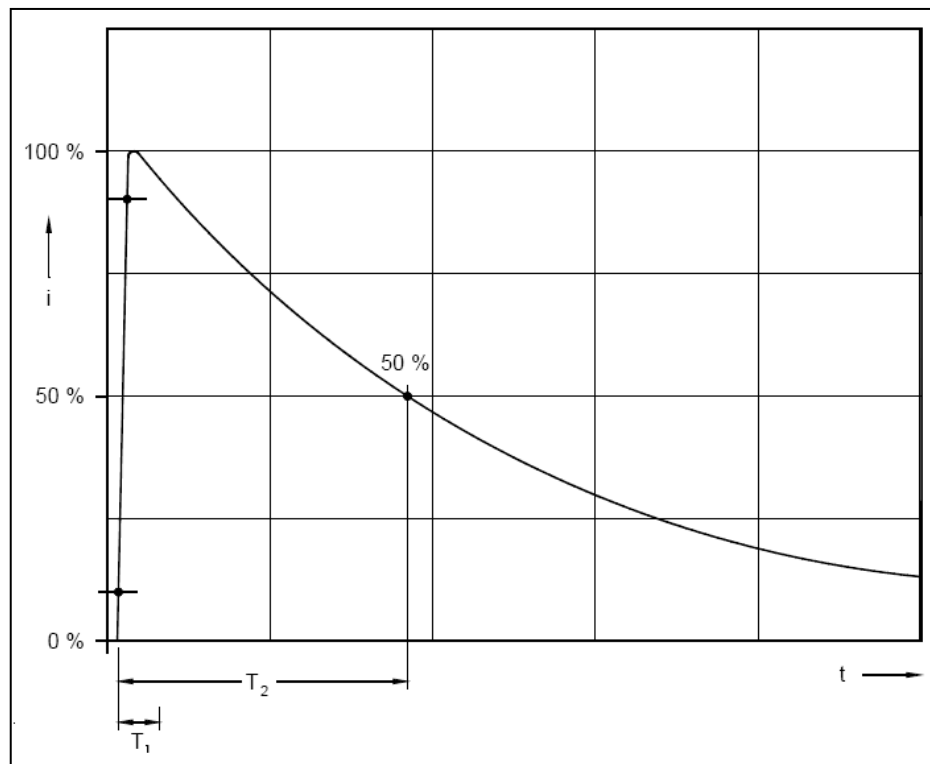
Para una ecuación de orden dos y resolviendo por el método lineal de ecuaciones características, buscamos hallar la magnitud de la corriente de descarga  $i(t)$ , obteniendo la solución de la ecuación de segundo orden críticamente amortiguada de la forma:

$$i(t) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t} \quad (3.3)$$

Siendo  $A_1$  y  $A_2$  las constantes a determinar con las condiciones iniciales, sea el valor cresta o pico de la corriente  $I$ , y los parámetros  $s_1$  y  $s_2$  son funciones de  $R$ ,  $L$ , y  $C$ , los cuales son valores en función de las condiciones ambientales instantáneas.

$$s_{1-2} = \frac{R \pm \sqrt{R^2 - 4L/C}}{2L} \quad (3.4)$$

Dando como resultado la curva de respuesta transitoria de la descarga, descrita por la ecuación (3.3), mostrada en la siguiente figura.



**Figura 3.6** Corriente de choque de una descarga atmosférica. <sup>[3]</sup>

La corriente de choque, es una corriente periódica transitoria que crece rápidamente hasta un valor máximo  $I$  (100%), como se muestra en la figura y después decrece, en general con menor rapidez hasta alcanzar un valor cero conforme el valor del tiempo  $t$  tiende a cero. De la curva de descarga de un rayo, se observan puntos particulares de los cuales se desprenden, el punto de inflexión, el tiempo de establecimiento hasta el valor de cresta  $T_1$ , y el tiempo de caída hasta el valor mitad de cresta  $T_2$ .

### **3.4.3 Descargas atmosféricas en Costa Rica**

Las características climáticas y montañosas de cada país determinan el número y la intensidad de las tormentas que se producen (nivel ceráuneo), riesgo que varía dentro de un mismo país. El conocimiento de las zonas de riesgo es una información importante para determinar eficazmente el tipo de protección adecuada contra el tipo de descarga a la cual está expuesta los sistemas de telecomunicaciones.

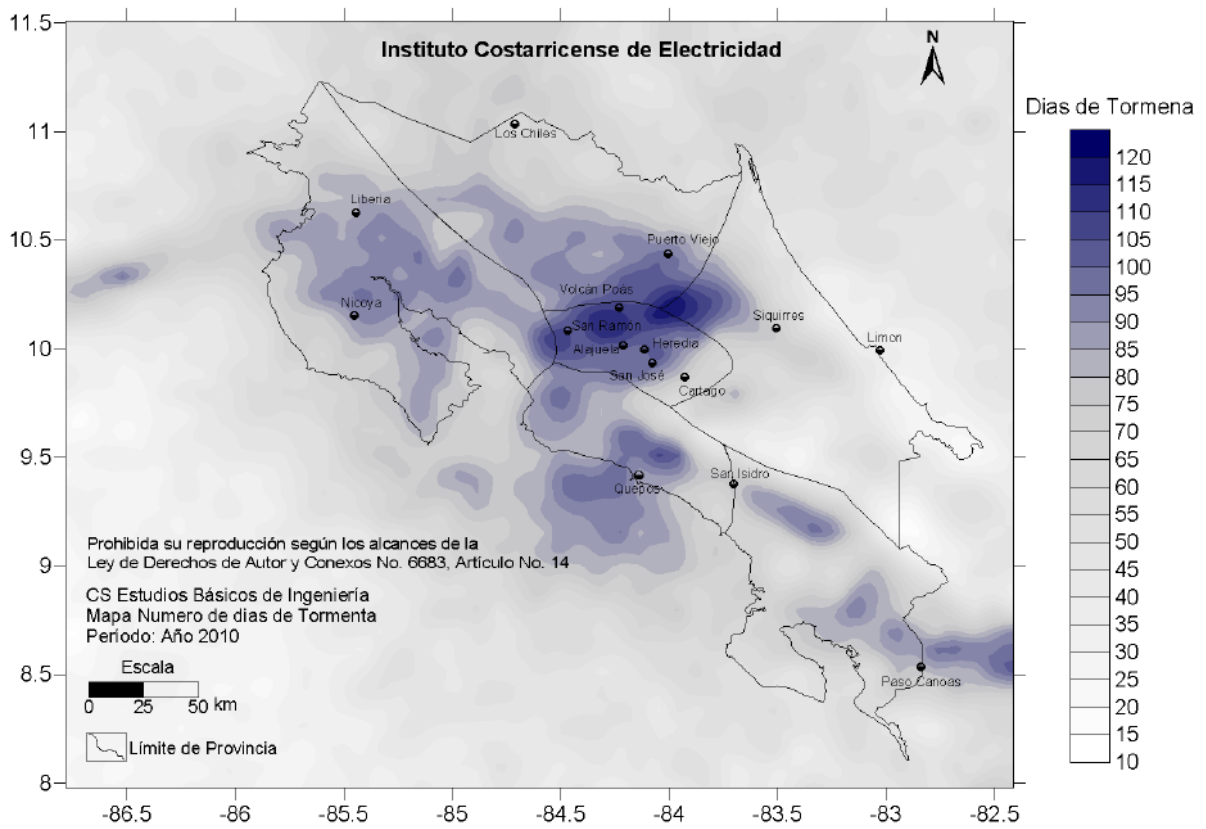
Actualmente en Costa Rica existen diversas instituciones o centros de investigación que estudian los fenómenos meteorológicos en general, entre ellos el Instituto de Investigaciones Atmosféricas de la Universidad de Costa Rica, y el Instituto Meteorológico Nacional IMN; sin embargo, el Instituto Costarricense de Electricidad posee un departamento destinado a un proceso de recolección y muestra de datos acerca del comportamiento de las descargas atmosféricas en Costa Rica al cual se le denomina Centro de Servicios de Estudios Básicos de Ingeniería en el área de hidrología y descargas atmosféricas. De esta forma, a partir de los datos obtenidos por este ente se realiza una inferencia para determinar las densidades o distribuciones de caída de descargas en la superficie del país y con base a los datos obtenidos, se utiliza la cantidad de rayos a tierra o densidad de rayos por  $\text{km}^2$ , para estudios de diseños eléctricos y sistemas de protección.

El departamento de C. S. Estudios Básicos de Ingeniería del ICE, se ha dado a la tarea de la elaboración de los mapas de distribución de descargas eléctricas, a partir de estimaciones en períodos de tiempo determinados. Estos mapas con la información respectiva acerca de las densidades de descargas eléctricas, se llaman mapas ceráuneos o isoceraúnicos. De esta forma, la información recaudada es de gran utilidad pues muestra las zonas de mayor incidencia o riesgo de incidencia en fenómenos de descargas eléctricas.

De esta manera se muestra la información general respecto la cantidad de rayos detectados por el sistema, mapa de densidad de descargas atmosféricas, mapa de nivel ceráuneo o días de tormenta, variación mensual de las mismas, información relevante del mes más activo, rangos de las intensidades, horas en las que se tuvo la mayor actividad atmosférica en un resumen anual, en este caso para el año 2010.

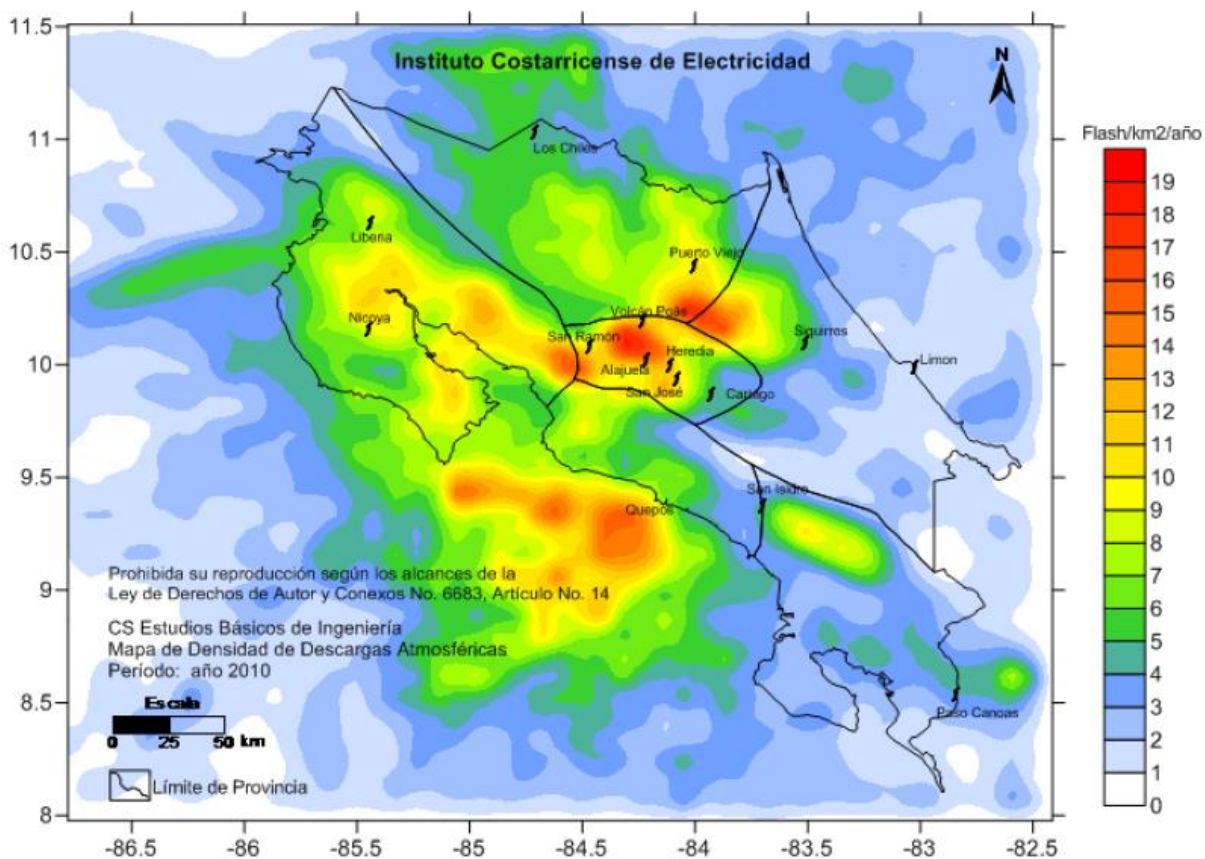
A partir de la información registrada por el sistema, se ha procedido a realizar mapas de nivel ceráuneo o días de tormenta y mapas de densidad de descargas atmosféricas. El primer mapa que se muestra a continuación se elaboró con los impactos (strokes) tipo nube-tierra que el sistema localiza con mayor precisión. El análisis se lleva a cabo en rejillas cuadriculares 100 km<sup>2</sup>.





**Figura 3.7** Mapa de Días de Tormenta para el año 2010. <sup>[11]</sup>

En la siguiente figura se muestra un mapa de densidad de descargas atmosféricas los cuales se preparan con las descargas tipo nube – tierra, localizadas con mayor precisión por el sistema que este departamento posee. En estos mapas se determinan el número de flash/km<sup>2</sup>/año que incluyen todas las descargas o rayos que caen en un segundo en un área de 100 km<sup>2</sup>. De esta forma un flash incluye al menos un impacto y un máximo de quince impactos, que es la configuración del sistema de detección de descargas del Instituto Costarricense de Electricidad.



**Figura 3.8** Mapa de densidad de descargas atmosféricas para el año 2010. <sup>[11]</sup>

Para determinar la severidad en los rangos de densidad con los flash, se utiliza la siguiente clasificación, la cual es subjetiva, pero es importante para clasificar los valores de densidad.

**Tabla 3.1** Clasificación de severidad en los rangos de densidad a partir de los flash. <sup>[11]</sup>

Rango Flash/Km <sup>2</sup> /Año	Severidad
0 a 5	Leve
5 a 10	Moderada
10 a 15	Severa
Más de 15	Muy severa

### **3.5 Sobretensiones Industriales**

Se denominan bajo este término los fenómenos provocados por la puesta en marcha o el apagado de equipos eléctricos dentro de las instalaciones o muy cercanos a las mismas.

Las causas de sobretensiones industriales son:

- a. Puesta en marcha de motores / transformadores.
- b. Encendido y apagado del alumbrado.
- c. Conmutación de redes de alimentación.
- d. Rebote de puesta en marcha en un circuito inductivo.
- e. Funcionamiento del fusible o del disyuntor.
- f. Conmutación de bancos de capacitores.

Estos procesos transitorios van a generar sobretensiones transitorias de varios kV con tiempos de subida del orden de microsegundos que van a afectar a los equipos de las redes sobre los cuales el sistema perturbador está conectado. Estos eventos transientes se filtran en toda la red eléctrica del sistema de distribución afectando a todos los equipos sensibles conectados en ella, teniendo mayor impacto en los equipos cercanos a la sobretensión o condición de sobrecarga generada.

## **3.6 Fenómenos de Calidad de Energía**

### **3.6.1 Transitorios**

El término transitorio ha sido usado mucho tiempo en el análisis de las variaciones de los sistemas de potencia para denotar un evento que es indeseable pero momentáneo en naturaleza. Según el estándar IEEE 1100 – 1999 un transitorio es un disturbio que ocurre en la forma de onda de CA con una duración inferior a medio ciclo y que es evidente por la abrupta discontinuidad que presenta. Puede ser de cualquier polaridad y puede ser aditiva o substractiva a la onda nominal.

Otra definición para este tipo de eventos simplemente dice que un transitorio es esa parte del cambio en una variable que desaparece durante la transición de la condición de operación de un estado estable a otro. Aunque por desgracia, esta definición puede ser usada para describir algo casi inusual que ocurra en el sistema de potencia.

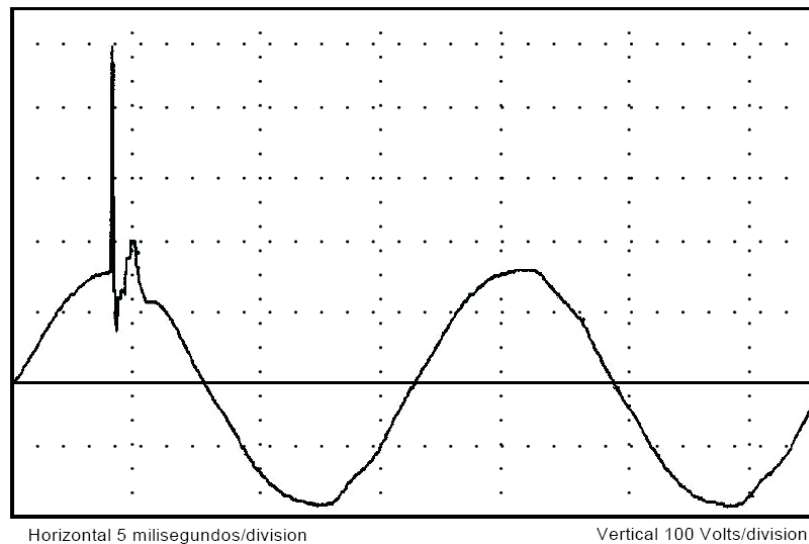
Generalmente, los transitorios pueden ser clasificados en dos categorías, por impulso y oscilatorio. Estos términos reflejan la forma de onda del transitorio de voltaje o corriente.

#### **3.6.1.1 Impulso**

Un transitorio por impulso es un cambio repentino de potencia a una frecuencia distinta de la fundamental, en la condición de estado estable de voltaje, corriente o ambos, además es unidireccional en su polaridad (positiva o negativa), la figura 3.9 muestra un transitorio de este tipo.

Los transitorios por impulso son caracterizados normalmente por sus elevaciones y tiempos de decaimiento, que también puede ser manifestado por su contenido espectral, es decir, para una onda de 1,2/50  $\mu\text{s}$  con 2000V de impulso transitorio, de manera nominal existe una elevación de 0 a su valor de cresta de 2000 V en 1,2  $\mu\text{s}$ , disminuyendo a la mitad de su valor de cresta (pico) en 50  $\mu\text{s}$ .

La principal causa de transitorios por impulso son las descargas atmosféricas y arranques bruscos de motores. Debido a que involucran altas frecuencias, los transitorios por impulso, a veces, son amortiguados rápidamente por la componente resistiva del circuito y no son conducidos a largas distancias desde su origen.



**Figura 3.9** Evento transiente por impulso. <sup>[2]</sup>

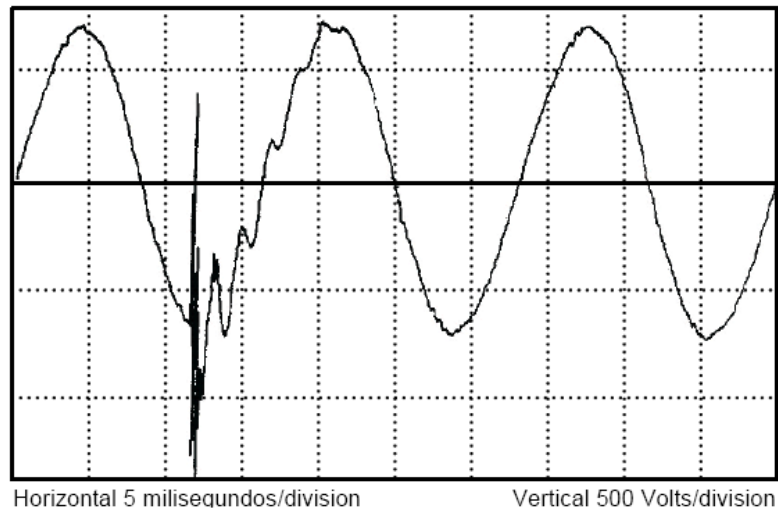
### 3.6.1.2 Oscilatorio

Son transitorios cuyo valor instantáneo de voltaje o corriente cambia rápidamente de polaridad. Se describen por su contenido espectral (predomina la frecuencia), duración y magnitud. Estos eventos son clasificados en tres tipos según su periodicidad como de alta, mediana y baja frecuencia. Los rangos de frecuencia para estas clasificaciones son seleccionados por coincidir con tipos comunes de fenómenos transitorios oscilatorios en sistemas de potencia. En general, esta clase de transitorios, casi siempre son ocasionados por descargas atmosféricas, maniobra de equipos tales como desconexión de líneas, bancos de capacitores, entre otros.

**Tabla 3.2** Clasificación de transitorios de tipo oscilatorio según su frecuencia. <sup>[2]</sup>

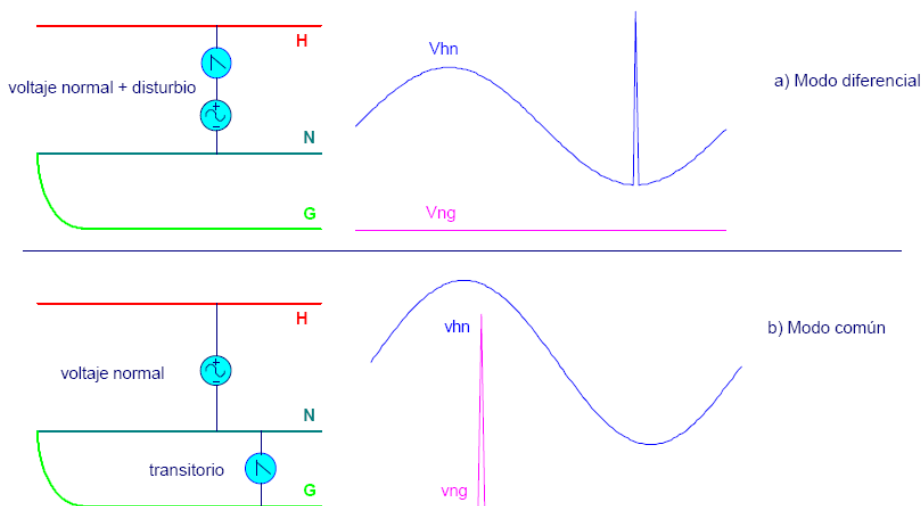
<b>Tipo de transitorio</b>	<b>Componente en frecuencia</b>	<b>Duración típica</b>	<b>Causas</b>
Transitorios oscilatorios de alta frecuencia	> 500 kHz	5 $\mu$ s	Operaciones de maniobra
Transitorio de frecuencia media	entre 5 y 500 kHz	20 $\mu$ s	Alimentación de capacitores en forma escalonada
Transitorio de baja frecuencia	< 5 kHz	0.3 a 50 ms	Varios tipos de eventos (Ej: Bancos de capacitores)

Los transitorios oscilatorios con frecuencias de primer orden inferiores a 300 Hz, también pueden encontrarse en sistemas de distribución. Estas son generalmente asociadas con ferresonancia y alimentación de transformadores. Los transitorios que involucran capacitores en serie, también pueden entrar en esta categoría.



**Figura 3.10** Evento transiente por operación de banco de capacitores para corrección de FP. [2]

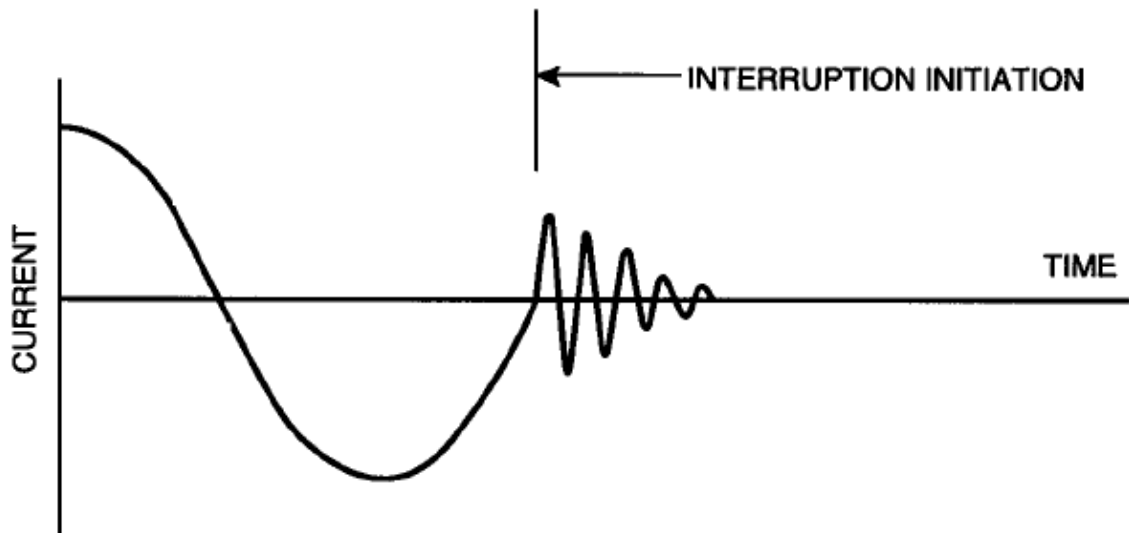
Cabe resaltar que existen dos tipos de transitorios presentes en ambas categorías los cuales son los transitorios en modo diferencial, el cual se hace presente entre los dos conductores que normalmente llevan corriente; en este caso esto corresponde a un transitorio entre vivo y neutro (o línea y neutro). El voltaje entre neutro y tierra no presenta transitorio alguno. En la siguiente figura se exponen ambos casos.



**Figura 3.11** Transitorios en modo común y modo diferencial.

### 3.6.2 Interrupción

Es la pérdida completa de la tensión de alimentación por un periodo de tiempo que afecta el equipo electrónico y de alumbrado conectado. Interrupciones momentáneas y temporales causarán paros en los equipos, además de causar transitorios de tensión a partir del instante en que se presenta la interrupción. Con la interrupción de operación de los motores eléctricos y demás consumidores con energía cinética y térmica almacenada y ligada a un proceso de fabricación, aparecen problemas en las líneas de producción y el desecho del producto semi-terminado. La situación se puede agravar cuando el voltaje reaparece y se presenta la puesta en marcha de equipos en forma no controlada.

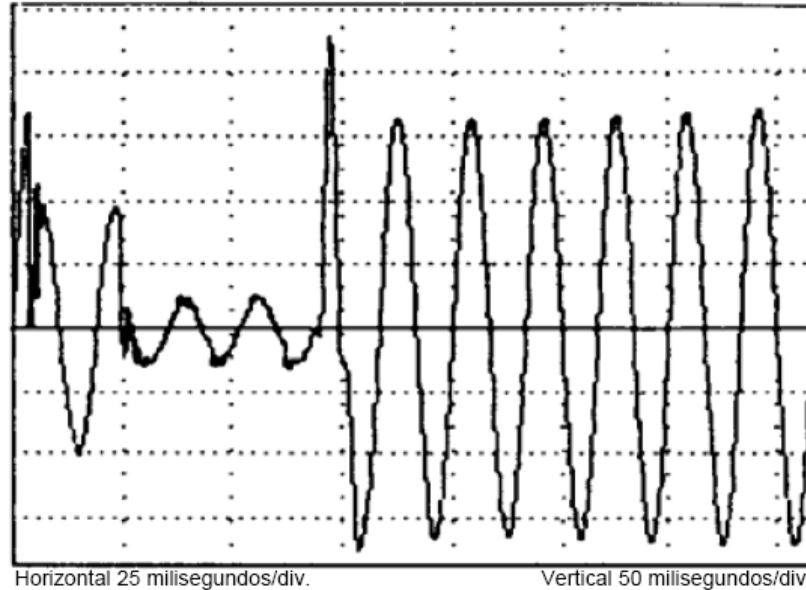


**Figura 3.12** Interrupción por desconexión de interruptor en panel de distribución. <sup>[2]</sup>



### 3.6.3 Elevación (Swell)

Es un incremento en el valor eficaz (RMS) de la tensión de corriente alterna a la misma frecuencia del sistema, con duración entre medio ciclo a algunos segundos.



**Figura 3.13** Elevación de tensión debido a falla remota en el sistema de distribución.<sup>[2]</sup>

Es importante resaltar que un incremento de voltaje o corriente aplicado a equipo eléctrico o electrónico por arriba de su valor nominal puede causar falla en los componentes dependiendo sobre la frecuencia de ocurrencia.

### 3.6.4 Depresión (Sag)

Se define como una reducción en el valor eficaz (RMS) del voltaje de corriente alterna a la frecuencia del sistema, con duración entre medio ciclo a algunos segundos. La terminología que emplea IEC (International Electrotechnical Commission) es "dip". Uno de los problemas que presentan este tipo de eventos es la detección de esta reducción en la tensión por equipo con controladores de proceso electrónico como una falla por el circuito de detección, dando inicio a paros, de otras cargas menos sensibles. Estos paros o desconexión de equipos de potencia como por ejemplo equipo de aire acondicionado, puede ocasionar transientes en el momento de la desconexión y arranque de motores y compresores.

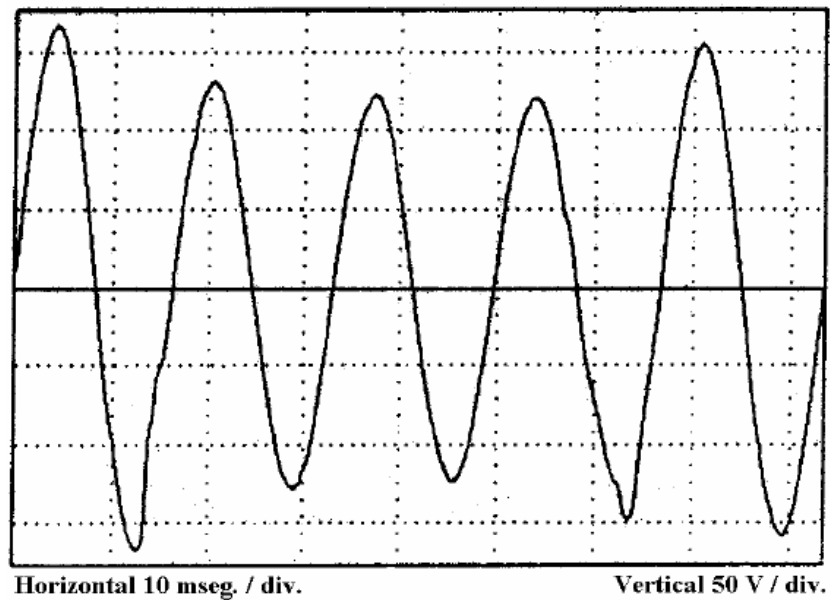


Figura 3.14 Disminución de tensión. <sup>[2]</sup>

### **3.7 Efecto de los transitorios y disturbios de la calidad de energía**

Cuando las consecuencias de este tipo de fallas tienen un impacto económico significativo, es adecuado y recomendable realizar un balance económico de la situación.

Las consecuencias que los transitorios pueden causar en los equipos se pueden clasificar en:

- a. Los equipos que experimentan una degradación en sus componentes siendo esa degradación un punto latente de falla porque los niveles de daño de los transitorios pueden no haber sido visibles u operacionales.
- b. Fallas en el procesamiento de información que puede ser recuperado por software o que puede requerir la intervención del personal especializado para restaurar la operación.
- c. Falla del equipo o de sus componentes, requiriendo su reemplazo y ocasionando la indisponibilidad del equipo. La problemática de este aspecto es que el daño puede ocurrir sin ser detectado, a menos que una evaluación especial de la condición del equipo se lleve a cabo.
- d. Daño consecuente causado por un equipo que ha sido afectado por un transitorio y que sus errores de procesamiento o daño provocan que otros equipos fallen o queden indispuestos, es decir, el equipo sometido a un incremento repentino de voltaje puede causar daños en su entorno más allá de la importancia del daño o malestar causado al propio equipo.
- e. Daño a futuro, porque el elemento protector falló en la fase final del transitorio protegiendo hasta ese momento el equipo, pero creando un vacío de protección para la siguiente vez que se presente un transitorio destructivo.

### 3.8 Supresores de Transientes

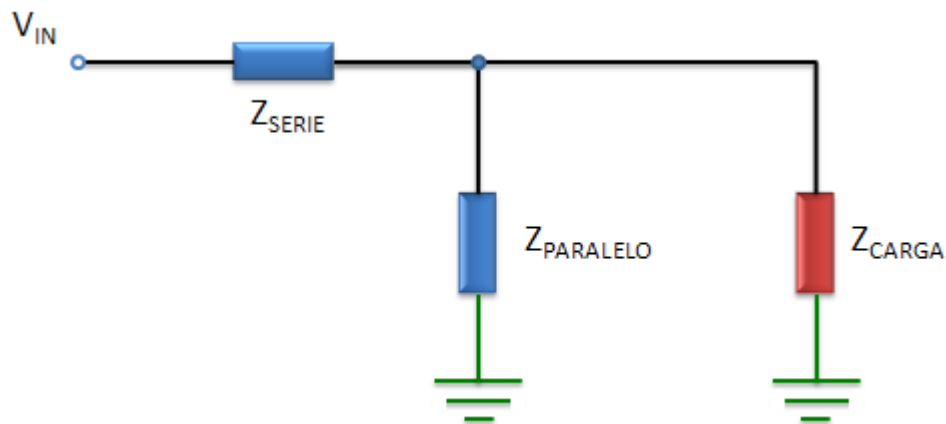
Los supresores de picos o TVSS, son dispositivos de desvío y captura de energía, los cuales tienen como función principal el recortar el valor pico de la forma de onda de tensión, desviando el exceso de energía para no dañar el equipo sensible que este alimentado en su mayoría de algún tablero de distribución eléctrica, y mantener el voltaje que alimenta esta carga susceptible, libre de transitorios y ruido eléctrico.

Los supresores de sobretensiones transitorias o como se les conoce actualmente, dispositivos de protecciones contra picos (SPD), se pueden clasificar de acuerdo a la conexión con la carga que protegen. La conexión puede ser en paralelo o en serie con la carga, siendo la conexión en paralelo la más común. Es importante mencionar que este tipo de dispositivos normalmente se instalan en los paneles de distribución de energía, sistemas de control de procesos, sistemas de comunicaciones, y otros sistemas industriales de alta potencia.

El tamaño de los supresores paralelo no depende del tamaño de la carga, sino de su cercanía a la acometida y de la corriente que pueden tolerar. El supresor de sobretensiones transitorios conectado en paralelo y el pararrayos tienen el mismo principio de operación: Cuando el voltaje en sus terminales aumenta, la resistencia del elemento de protección disminuye, permitiendo de este modo que la corriente eléctrica excedente fluya a través de él.

Una característica básica de este tipo de dispositivos es que los supresores o circuitos de protección deben tener una mínima influencia en la operación normal del sistema a proteger. Esto es, la impedancia serie debe ser mucho muy pequeña ( $Z_{SERIE} \ll Z_{CARGA}$ ) y la impedancia paralelo debe ser muy grande ( $Z_{PARALELO} \gg Z_{CARGA}$ ) para las señales de operación normal del equipo a proteger.

Durante la presencia de transitorios, la impedancia serie debe ser muy grande ( $Z_{SERIE} \gg Z_{CARGA}$ ) para limitar la corriente transitoria y la impedancia paralelo debe ser muy pequeña ( $Z_{PARALELO} \ll Z_{CARGA}$ ) para drenar la corriente a tierra. En la figura 3.15 se ilustra un circuito básico de protección contra sobretensiones.



**Figura 3.15** Circuito básico de protección contra transitorios.

Los dispositivos de protección deben ser lo suficientemente robustos para soportar, sin dañarse, los eventos transientes. Durante el sobre esfuerzo eléctrico, la diferencia de potencial presente es mayor que la tensión de la señal de operación normal. Por lo tanto, los elementos en arreglo paralelo con un comportamiento no lineal de sus características V-I (voltaje-corriente) pueden ofrecer muy baja impedancia durante las condiciones transitorias y una impedancia muy elevada bajo condiciones normales de operación. Las formas de onda de los eventos transientes tienen un tiempo de subida o de bajada corto (una tasa de cambio muy elevada), por lo que es necesario que los elementos en paralelo del dispositivo de protección respondan muy rápido, en el rango de los microsegundos y en algunos casos hasta nanosegundos.

Estos dispositivos de conexión en paralelo se pueden ser clasificados en dos tipos:

- a. Sujetadores de voltaje (voltage clamping devices)
- b. Dispositivos de arco, (crowbar devices)

Ambos tipos de protectores (supresores) paralelo conducen corriente a tierra cuando la tensión aumenta por arriba del valor de ruptura. Los sujetadores de voltaje recuperan el estado de circuito abierto, o sea no conducen, cuando el voltaje disminuye por debajo del nivel de ruptura, mientras que los de arco entran en conducción cuando el voltaje está muy por arriba del voltaje de arco (digamos un 50% por arriba de dicho voltaje), una vez en conducción el voltaje en terminales cae repentinamente a ese voltaje de arco y se mantiene casi constante. Entre los dispositivos sujetadores de voltaje se tienen los siguientes:

- a. Varistor de óxido metálico (MOV).
- b. Celdas de selenio.
- c. Diodos de avalancha de silicio (TVS).

Entre los dispositivos de arco se encuentran los siguientes:

- a. Tubos de gas.
- b. Puntas metálicas con separación pequeña, entrehierros.
- c. Puntas de carbón con separación pequeña.
- d. Tiristores de protección contra picos (TSPD).

### 3.8.1 Varistor de Oxido Metálico (MOV)

Un varistor de óxido metálico se compone de un material semiconductor (capa de óxido de zinc de forma granular), el cual es un elemento no lineal cuya resistencia disminuye con el incremento en la tensión, es decir, estos dispositivos son capaces de drenar grandes corrientes cuando se presenta una tensión superior a su tensión nominal. Los MOV suelen limitar las tensiones que superan 3 a 4 veces la tensión del circuito normal, desviando la corriente de choque a tierra, resguardando la carga protegida.

La desventaja principal de este tipo de dispositivos es la reducida expectativa de vida, porque se degradan cuando se exponen a un número relativamente reducido de grandes transitorios, o una gran cantidad de transitorios pequeños.

Otro de los parámetros que afecta el comportamiento del varistor lo constituye la temperatura. Como el varistor tiene un coeficiente de temperatura negativo, la corriente se incrementa cuanto más caliente es el varistor, lo cual incrementa la corriente aún más, resultando en problemas térmicos.

Entre sus principales características se encuentra que la capacidad de corriente está en función de su masa, es decir, entre mayor sean los MOV mayor será su capacidad.

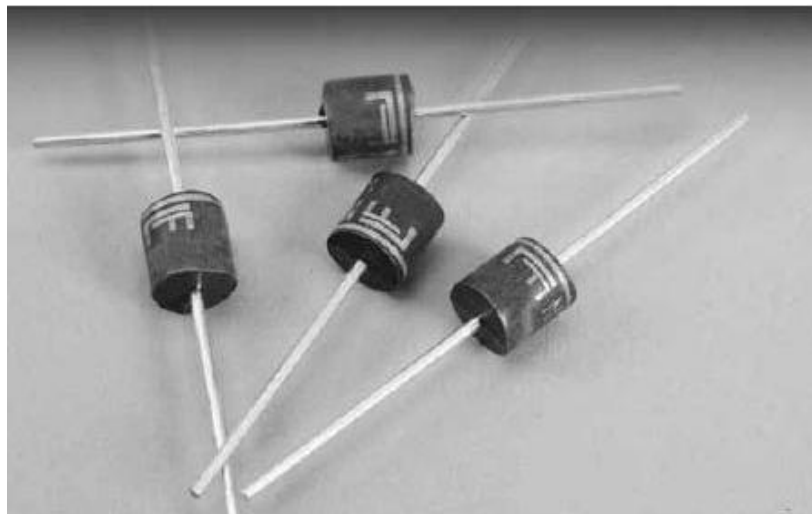


**Figura 3.16** Varistor de Oxido Metálico (Fuente: Internet).

### 3.8.2 Diodos de Avalancha (TVS)

Un diodo TVS es un tipo de diodo Zener, también llamado diodo de avalancha o diodo de avalancha de silicio (SAD), destinados a limitar los picos de tensión. Estos componentes proporcionan la mayor acción de respuesta presente en los componentes de protección (teóricamente en picosegundos), pero tienen una capacidad de absorción de energía relativamente baja. Si los impulsos de corriente permanecen dentro de las capacidades del dispositivo, la esperanza de vida es prácticamente ilimitada, pero si los valores nominales del componente son excedidos, el diodo puede fallar como un corto circuito permanente, en cuyo caso, la protección puede permanecer, pero el funcionamiento del circuito normal se termina en el caso de las líneas de señales de baja potencia.

Para lograr una capacidad elevada y resistir grandes cantidades de energía, se tienen que combinar cierta cantidad de dispositivos TVS. Pero al aumentar la cantidad de estos dispositivos sube el precio del equipo de protección que lo contiene. Además, la instalación de una cantidad insuficiente o inadecuada de dispositivos TVS puede provocar fallas catastróficas en el equipo de protección contra sobretensiones transitorias.



**Figura 3.17** Diodo de avalancha de silicio (Fuente: Internet).



### 3.8.3 Tubos de Descarga de Gas (GDT)

Este tipo de dispositivos poseen una cubierta de vidrio sellada la cual contiene una mezcla especial de gas atrapado entre dos electrodos, que conduce la corriente eléctrica después de ser ionizado por un pico de alta tensión. Los GDT pueden conducir mucha más corriente que otros componentes destinados para la protección de equipos sensibles. Al igual que los MOV, los tubos de descarga de gas tienen una esperanza de vida limitada, ya que pueden manejar pocos transitorios muy grandes o un mayor número de pequeños transitorios. Otro problema que presentan es que estos dispositivos son sensibles a la luz, es decir, a medida que la exposición a la luz aumenta, disminuye su tensión de disparo. Por lo tanto, los GDT deben ser protegidos de la exposición de luz, en algunos casos existen versiones opacas que son insensibles a esta luminosidad.

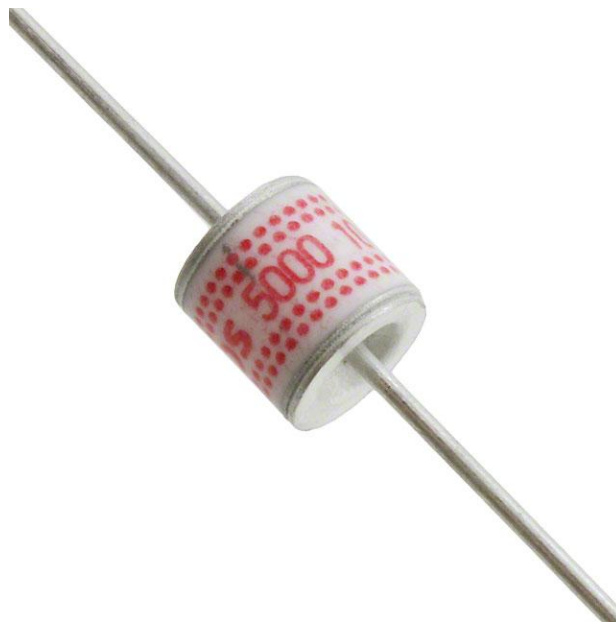
En algunos casos, son necesarios componentes adicionales de protección para evitar daños a la carga protegida, ya que existen filtraciones de energía causadas por la alta velocidad del transitorio que se produce antes de que el tubo de gas comience a operar.



**Figura 3. 18** Tubo de descarga de gas (Fuente: Internet).

### 3.8.4 Supresores de puntas de carbón contra sobretensiones

Una chispa es una de las más antiguas de las tecnologías de protección eléctrica que todavía se encuentran en algunos circuitos telefónicos, después de haber sido desarrollado en el siglo XIX. Un electrodo de varilla de carbono se lleva a cabo con un aislante una distancia específica de un segundo electrodo. La dimensión de la distancia entre electrodos determina la tensión a la que una chispa salta entre las dos partes y corto a tierra. Los supresores de bloque de carbono son similares a los descargadores de gas (GDT), pero con los dos electrodos de contacto con el aire, por lo que su comportamiento se ve afectado por el ambiente donde es instalado, especialmente por la humedad presente en el mismo. Dado que su funcionamiento produce una chispa abierta, estos dispositivos no se deben instalar en un ambiente en donde se pueda producir una explosión.



**Figura 3. 19** Supresor de puntas de carbón (Fuente: Internet).

A continuación se presenta un cuadro comparativo con varias de las tecnologías antes mencionadas.

**Tabla 3.3** Características de algunos dispositivos utilizados en la protección contra transientes.

Supresor	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
GDT	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Capacidad para manejar corrientes elevadas.</li> <li>b. Baja capacitancia.</li> <li>c. Elevada resistencia de aislamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Ciclo de vida limitado.</li> <li>b. De lenta respuesta.</li> <li>c. Elevadas tensiones de arco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Protectores primarios en telecomunicaciones y líneas AC.</li> <li>b. Son parte de modelos híbridos de protección.</li> </ul>
MOV	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Capacidad para manejar corrientes elevadas.</li> <li>b. Bajo costo.</li> <li>c. Amplio rango de corriente-voltaje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Degradación gradual.</li> <li>b. Elevado voltaje limitador.</li> <li>c. Difícil montaje en superficies.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Protectores para líneas de AC y motores.</li> <li>b. Protección secundaria o primaria para esquemas híbridos.</li> </ul>
TVS	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Bajo voltaje limitador.</li> <li>b. No se degrada.</li> <li>c. Tiempo de respuesta muy rápido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Rango limitado de corriente transitoria.</li> <li>b. Costo elevado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Aplicación a nivel de tarjetas con componentes semiconductores.</li> <li>b. Protección final para esquemas híbridos.</li> </ul>
TSPD	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. No se degrada.</li> <li>b. Tiempo de respuesta muy rápido.</li> <li>c. Manejo de altas corrientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. No se restablece bajo CD.</li> <li>b. Limitado rango de voltaje.</li> </ul>	<p>Protección primaria y secundaria en circuitos destinados a las telecomunicaciones</p>

Fuente: Internet

Con base en lo anterior y según la aplicación y el equipo a proteger, el precio puede representar una limitación importante, pero la confiabilidad debe ser la preocupación primaria. Los dispositivos de protección se deben evaluar con base en su capacidad para sobrevivir múltiples sobrevoltajes transitorios.

## **Capítulo 4: Procedimiento Metodológico**

### **4.1 Reconocimiento y definición del problema**

El procedimiento para identificar el problema fue segmentado en varias partes. Ya que antes se realizaron varias reuniones con diferentes Ingenieros en la empresa para abordar las características principales del proyecto, esto mientras se analizaba la mejor ubicación para realizar el estudio e implementación del mismo. De esta forma se puede decir que la primera definición del problema fue dada por el asesor de la empresa. A manera de introducción se explicó la problemática existente y la importancia de la realización del proyecto en cuestión.

Luego se examinó la información presente en el departamento. La mayoría de la información encontrada concierne a equipos destinados a la distribución de energía eléctrica así como equipos de aire acondicionado y plantas eléctricas. Se determinan los departamentos que se ven involucrados en el proyecto y se realiza una caracterización superficial del edificio, esto con el fin de realizar un plan para obtener más información que permita definir el problema.

Se procedió a preparar y programar entrevistas con los funcionarios que tienen a su cargo las diferentes tecnologías de servicio destinado a las telecomunicaciones esto con el fin de tener una idea del funcionamiento del equipo a proteger así como el nivel de importancia del servicio brindado.

Se realiza un análisis básico de las ventajas y desventajas de las herramientas y equipo disponible el cual pueda ser útil en el momento de buscar una solución. Asimismo se recopila mucha información en manuales y demás fuentes relacionadas con el tema, se describe detalladamente la situación actual y se traza con ello un esbozo de las posibles soluciones.

En el momento de ingreso a la central telefónica se presenta la oportunidad de conocer la subestación eléctrica y los equipos a proteger en los diferentes pisos del edificio. Se comprobó el faltante de una herramienta vital para el buen desarrollo del proyecto como lo es un sistema analizador de calidad de energía ubicado en puntos importantes del sistema de distribución (tableros principales como el Gran Normal y transferencias) así como se conoció la estructura de todo el sistema de distribución de energía el cual es la zona en donde se sustenta este proyecto comprobando así la falta de equipo de protección contra transitorios.

Se concluye que la instalación eléctrica de la central telefónica de San José, no cuenta con un adecuado esquema de protección contra transientes de tensión, ya que se pudo observar tableros de distribución con supresores de picos de tensión, pero en la mayoría de los casos estos dispositivos de protección no existen dejando sin defensa a otros tableros con equipo susceptible a este tipo de eventos así como también el equipo productor de transientes de voltaje a la hora de su operación.

## 4.2 Obtención y análisis de información

La información preliminar se obtiene de entrevistas a funcionarios (expertos en el tema de las protecciones contra picos de tensión y sistemas de distribución eléctrica de las centrales telefónicas). La información obtenida fue de gran importancia, permitiendo ubicar el problema en un contexto actual. Se detalla sobre el historial del problema, los intentos de solución anteriores en cuanto a criterios de instalación de los supresores de transientes ya existentes y se define las características mínimas que debe cumplir una adecuada solución.

Fue indispensable recopilar información sobre los equipos electrónicos sensibles involucrados en el problema y el servicio de telecomunicaciones que brindan así como de los diferentes dispositivos que conforman el sistema de distribución eléctrica, asimismo, se corroboró la inexistencia de un sistema de monitorización de calidad de energía el cual poseyera una base de datos en donde se pudiera sustentar una base estadística sólida de eventos perjudiciales para el correcto funcionamiento de los diferentes dispositivos dentro de la central telefónica, un sistema de pararrayos y puesta a tierra en los cuales se analizaron sus posibles virtudes y debilidades.

Se realiza un estudio de los diferentes equipos a proteger, se genera un listado de los sectores en donde estos están alimentados y se obtiene algunos manuales del fabricante de los equipos de aire acondicionado. Las normas internacionales referentes al tema de las protecciones fueron objeto de un estudio exhaustivo, esto con el fin de determinar su posible aporte en la implementación de un sistema completo de defensa contra transitorios.

El uso de Internet fue una herramienta informativa de gran utilidad puesto que permitió el acceso a datos relacionados a sistemas de protección, estándares (IEEE) y recursos disponibles en el mercado.

En resumen, lo que se busca es un sistema compatible con las características propias del sistema de distribución eléctrica de la central telefónica, además del cumplimiento de los estándares internacionales referentes al tema de las protecciones, esto para que los costos de implementación sean aprovechados de la mejor manera.



### 4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

En el diseño de un sistema de comunicaciones se debe tener en cuenta las distintas etapas para la implementación de las protecciones, las cuales se dividen en tres etapas como se muestra en la figura 4.1.



**Figura 4.1** Cobertura de protección en los sistemas de comunicaciones.

En este caso, el proyecto está enfocado a la protección dentro de las centrales telefónicas.

Las alternativas que se consideraron debían cumplir con el estándar UL 1449 2<sup>DA</sup> Edición y el estándar IEEE C62.41-1991, siendo el último la base en la cual se sustentó todo el proyecto. Igualmente se determinó el sistema de monitorización de calidad de energía que se iba a implementar el cual brindaría la posibilidad de establecer una base de datos de todos los sucesos referentes a la calidad de energía ofrecida en la central telefónica y que poseyera la facilidad de revisar estos datos desde cualquier localidad por medio de una dirección IP al igual que poder observar eventos en tiempo real de lo que está sucediendo con la energía eléctrica tanto en la subestación como en las etapas de emergencia del sistema de distribución.

En la verificación de la información recopilada con respecto a las formas de onda perjudiciales para equipo electrónico sensible se utilizaron herramientas de simulación con el fin de confirmar estos datos teóricos puesto que están inmersos de manera directa en la funcionalidad de las propuestas, esto recurriendo a software especializado en la simulación de circuitos. La simulación fue indispensable para realizar pruebas y mediciones de intervalos de tiempo en formas de ondas como las que se originan por causa de descargas atmosféricas comprobando si los datos estadísticos presentes en la norma IEEE C62.41-1991 eran correctos.

Se configura la herramienta de monitorización que fue de gran ayuda en la obtención de datos en cuando a magnitudes de corriente, tensión, formas de onda, armónicas y posibles disturbios ocasionados en la red de distribución eléctrica por equipo de alta potencia. Mediante el mismo paquete de software se realizó una configuración la cual permita ingresar al dispositivo de medición desde cualquier localidad o central telefónica esto facilitando no tener que llegar de manera física al lugar de los equipos para ver los datos medidos.

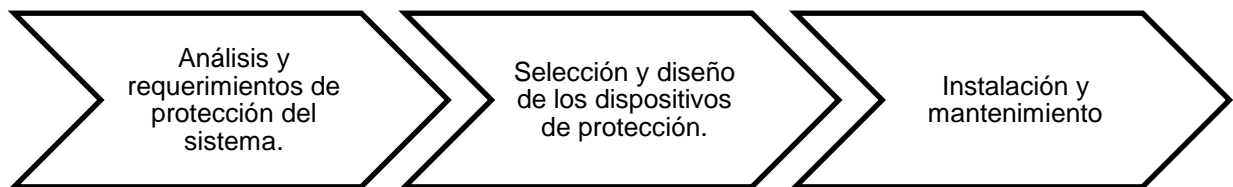
En el proceso de selección de la mejor alternativa se consideraron factores de costo, desempeño y cumplimiento de estándares en la fabricación. Se pretende establecer un sistema de protección completo que incluya toda la subestación eléctrica hasta las cargas finales.

#### 4.4 Implementación de la solución

La solución del proyecto es proyectada en dos etapas siendo la primera el sistema de monitorización o analizador de calidad de energía. Una vez que se seleccionó la mejor alternativa de solución, esta fue presentada a la empresa para su evaluación. El proceso para implementar la solución inició con la aprobación por parte de la empresa.

Se procedió a adquirir los diferentes componentes y materiales que se requieran, encontrando todos disponibles en el mercado nacional, siendo estos vitales para el correcto funcionamiento del analizador. El proceso de instalación y configuración del sistema requirió de cuatro semanas, de las cuales la mayoría de ellas se dedicaron a la lectura del manual del dispositivo y estableciendo criterios de instalación al igual que realizando las cotizaciones de los materiales necesarios y una semana en el proceso físico de instalación en el lugar establecido.

Finalizado este punto se procedió con la implementación de la protección del sistema de comunicaciones, el cual se divide en varias etapas, como lo demuestra la siguiente figura:



**Figura 4.2** Diagrama de implementación de un sistema de protección y puesta a tierra.

- a. *Análisis y requerimientos de protección del sistema:* En esta etapa se examina cuidadosamente las condiciones bajo las cuales va a operar el sistema de protección, de tal forma que los dispositivos de protección a implementar no sean sobredimensionados o por el contrario vayan a quedar con déficits en el momento de operación. De esta manera se pueden establecer parámetros para recrear un modelo inicial a implementar.
- b. *Diseño y selección de las protecciones:* Existen factores diversos a la hora de seleccionar el sistema de protección adecuado en base a diversos parámetros.
1. Tiempo de respuesta.
  2. Vida útil del dispositivo.
  3. Elevación de temperatura.
  4. Sensibilidad del equipo protegido.
  5. Puesta a tierra.
- c. *Instalación y mantenimiento:* La instalación de cada dispositivo se analiza en las secciones posteriores, con base en las consideraciones generales. Es necesario generar una base de datos de las averías, para determinar un historial con base a fallos y colapsos en los sistemas de comunicación de tal forma que en futuros diseños se tenga en cuenta consideraciones de probabilidad de falla en base a datos concretos.

De esta forma, conforme a lo anterior, se describen los pasos utilizados para encontrar la solución a este proyecto:

1. Se investigaron diferentes tecnologías para atenuar los transientes en la red eléctrica de las centrales telefónicas.
2. Se analizaron las posibles mejoras de los sistemas de puesta a tierra existentes para disminuir esta problemática.
3. Se estudiaron las repercusiones que tienen las distorsiones inducidas al sistema eléctrico existente en las centrales telefónicas, para determinar la manera más óptima de contrarrestarlas.
4. Se analizaron diferentes normas y estándares internacionales relacionados con este tema con la intención de aplicarlos en su solución.
5. Se determinaron las características propias de los lugares donde están establecidas las centrales telefónicas incluyendo también aspectos climáticos y de obra civil.
6. Se realizaron mediciones para determinar la presencia o ausencia de transitorios en la red de distribución eléctrica y también el equipo que genera este tipo de eventos.
7. Se categorizaron los supresores actualmente instalados según su ubicación y equipo conectado a los tableros de distribución.
8. Finalmente se presentaron los resultados a la empresa con los que se demuestra la operatividad del sistema, se confeccionaron manuales y se presentaron las conclusiones finales obtenidas por medio de una exposición final.

#### **4.5 Reevaluación y rediseño**

Con este proyecto se definieron todos los parámetros necesarios para implementar un sistema de protección contra distorsiones perjudiciales dentro del sistema de distribución eléctrica.

Dentro del estudio y pruebas realizadas se determinó un deficiente sistema de puesta a tierra lo cual debe de ser mejorado como parte medular del sistema para garantizar la supresión efectiva de las señales transientes perjudiciales. Conjuntamente, se sugiere reestructurar el sistema de distribución eléctrica por tipos de carga agrupando localmente cargas sensibles y focalizando también el equipo productor de transientes, para facilitar una categorización de los dispositivos protectores de picos de voltaje de una manera más racional y efectiva.

## **Capítulo 5. Descripción detallada de la solución.**

### **5.1 Análisis de soluciones y selección final.**

Desde un inicio la empresa propone que la solución a implementar contemple el uso de dispositivos protectores contra transientes o TVSS. Debido a esto se vislumbra claramente que la solución debe contar con una estructura similar como la mostrada en la figura 3.2, en la cual es indispensable el uso del estándar IEEE C62.41 el cual dicta todas las normas y directrices correspondientes para una correcta instalación de este tipo de dispositivos. De esta manera se establecen las bases del rumbo que llevará la solución del problema, las cuales se enfocan en la realización de un estudio del sistema de protección actual basado en supresores de transitorios con el objetivo de conocer sus debilidades para mejorarlo o en el caso que sea inexistente, diseñarlo acorde con las normas internacionales.

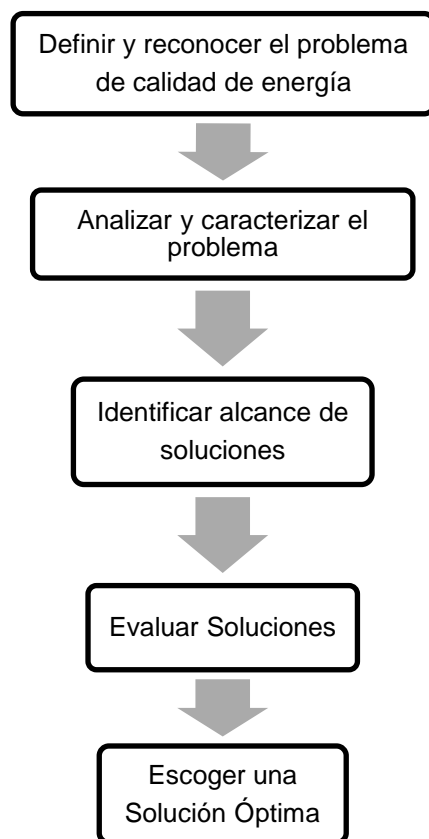
De esta forma se empezaría con una revisión del sistema de puesta a tierra y de los protectores contra sobretensiones para establecer un sistema completo de protección, como se muestra en la figura 3.1.

Cabe destacar que en la solución inicial no se contemplo la implementación de un sistema para la monitorización y análisis de la calidad de energía en la central telefónica, aspecto fundamental para la obtención de información que respalde el estudio realizado. De esta forma la solución se divide en dos etapas a la hora de definir la estructura del sistema de protecciones.

Lo anterior cumple con la filosofía de la empresa de aprovechar las facilidades existentes para lograr una solución que no incremente los costos puesto que el ICE posee dispositivos destinados al monitorización de los eventos eléctricos en las diferentes etapas del sistema de distribución eléctrica de las centrales telefónicas. Así, la primera etapa de la solución se enfocó en determinar los tipos de dispositivos aptos para cubrir las necesidades existentes en la central telefónica así como en determinar los parámetros tanto de instalación como de configuración de los mismos,

es decir, la localización de los dispositivos, las configuraciones de conexión con el sistema de distribución, los parámetros de alimentación, los niveles de corriente y tensión, la capacidad de los transductores a utilizar, entre otros.

En cuanto a la segunda etapa de la solución, la cual comprende el grueso del proyecto, el diagrama de bloques de la solución implementada se muestra en la figura 5.1 destacando que los problemas de calidad de la energía comprenden un amplio rango de fenómenos diferentes, descritos anteriormente (ver 3.6). Cada uno de estos fenómenos puede tener una variedad de causas diferentes y diferentes soluciones pero se pueden establecer pasos generales que son a menudo requeridos en una investigación de este tipo.



**Figura 5.1** Diagrama de metodología para la evaluación de los problemas de calidad de la energía.



En el primer bloque de la metodología presentada se deben determinar todos aquellos eventos perjudiciales para cargas sensibles alimentados dentro del sistema de distribución como lo son transitorios, elevaciones de tensión, ruido, etc.

A la hora de analizar y caracterizar el problema, es necesario formalizar una recopilación de datos históricos trascendentales de los eventos ya determinados en la etapa anterior y realizar mediciones en todos los sectores en donde sea necesario, esto para identificar las causas y características propias de los disturbios, asimismo, localizar los puntos críticos en el sistema a proteger, es decir, la zonas en donde se encuentren los equipos eléctricos y electrónicos sensibles así como los dispositivos generadores de transientes. De aquí la importancia de poseer un sistema de monitorización de calidad de energía que maneje una base de datos para el almacenamiento de este tipo de información.

Una vez obtenidos todos los datos y graficas relevantes mediante las mediciones de los diferentes equipos destinados para este propósito, es necesario identificar las diferentes tecnologías que resolverían esa problemática, es decir, el diseño del sistema de protección a implementar. Fundamentado en los estándares de aplicación obligatoria. Todo esto con el fin de iniciar con el modelado y análisis de las características propias del sistema a desarrollar.

Por último se evalúa la solución propuesta técnica y económicamente con base en todos los lineamientos definidos por las normativas internacionales.

## **5.2 Sistema de monitorización y análisis de calidad de energía**

Como se mencionó anteriormente, el Instituto Costarricense de Electricidad posee equipo destinado para monitorear los diferentes eventos y niveles de energía que se presentan en la red eléctrica de distribución dentro de las centrales telefónicas. Este equipo en su mayoría se le conoce como PowerLogic y es de la marca Schneider Electric, es una gama avanzada y completa de productos de software y de medición para la gestión de la energía. Pero en los últimos años se ha venido introduciendo otro dispositivo de medición llamado Nexus 1500 de la compañía Electro Industries/GaugeTech, el cual posee características similares a las del PowerLogic ya que tiene todo lo necesario para supervisar los activos de energía para una sola instalación y se diferencian en la interfaz con el usuario, y es más amigable y de fácil uso. Además, el Nexus 1500 posee una pantalla táctil que grafica y muestra la información en tiempo real y se enlaza con los dispositivos conocidos como Shark de Electro Industries/GaugeTech, los cuales poseen las mismas características de medición que el Nexus 1500 con la diferencia en su interfaz con el usuario. Asimismo, estos dispositivos poseen 1GB de memoria interna y 4 MB en los Shark 200 para almacenar todo tipo de eventos referentes a la calidad de energía.

Para la central telefónica de San José se dispuso instalar un dispositivo Nexus 1500 y cuatro dispositivos de medición Shark 200 en las mismas condiciones.

## 5.2.1 Descripción del Hardware

### 5.2.1.1 Medidores de calidad de energía Nexus 1500 y Shark 200

Este tipo de dispositivos proveen el panorama global de la calidad y el uso de la potencia de cualquier punto medido dentro de una red de distribución, permitiendo a los usuarios tomar decisiones relacionadas a potencia de manera rápida y efectiva.

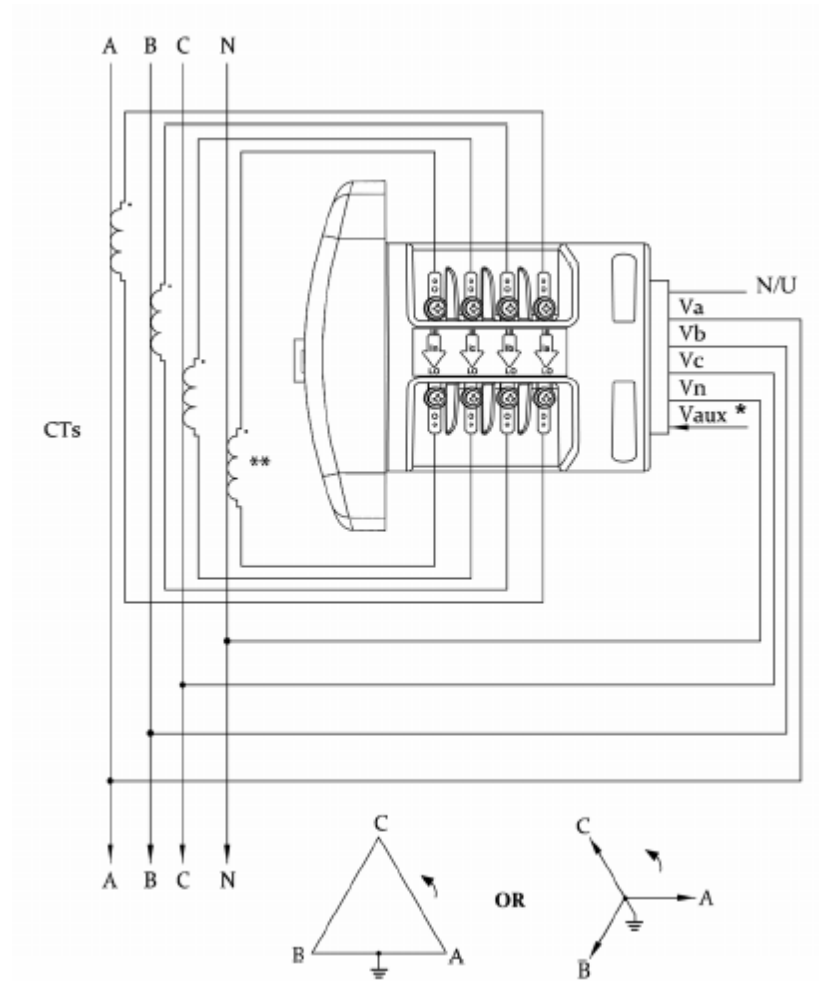


**Figura 5.2** Medidor de calidad de energía Nexus 1500. <sup>[8]</sup>

Entre las características principales de este dispositivo tenemos:

- a. Análisis y monitorización de calidad de potencia en tiempo real para rápida detección de eventos.
- b. Administración de demanda pico y uso eficiente de energía.
- c. Confiable acceso a toda la información a través de Ethernet o comunicaciones seriales.
- d. Análisis avanzado de transientes para sistemas de potencia críticos
- e. Monitorización de transformadores e interruptores.

Para realizar la instalación de este instrumento se debe determinar el tipo de configuración del sistema a medir. La central telefónica en estudio posee un transformador de configuración delta en el primario y estrella en el secundario, en función de esto se seleccionó el siguiente diagrama eléctrico de conexión.



**Figura 5.3** Diagrama eléctrico de conexión 3 fases 4 hilos estrella directo para Nexus 1500. <sup>[8]</sup>

Luego, según los datos que provee el fabricante, se procedió a determinar las protecciones del sistema (fusibles para entradas de voltaje), esto para cada una de las entradas de voltaje y en las entradas del voltaje de alimentación del medidor. De esta manera se definieron fusibles de 250 mA para cada entrada de voltaje, fusibles de 3 A para las entradas del voltaje de alimentación de control y 5 A para la fuente de alimentación del dispositivo.

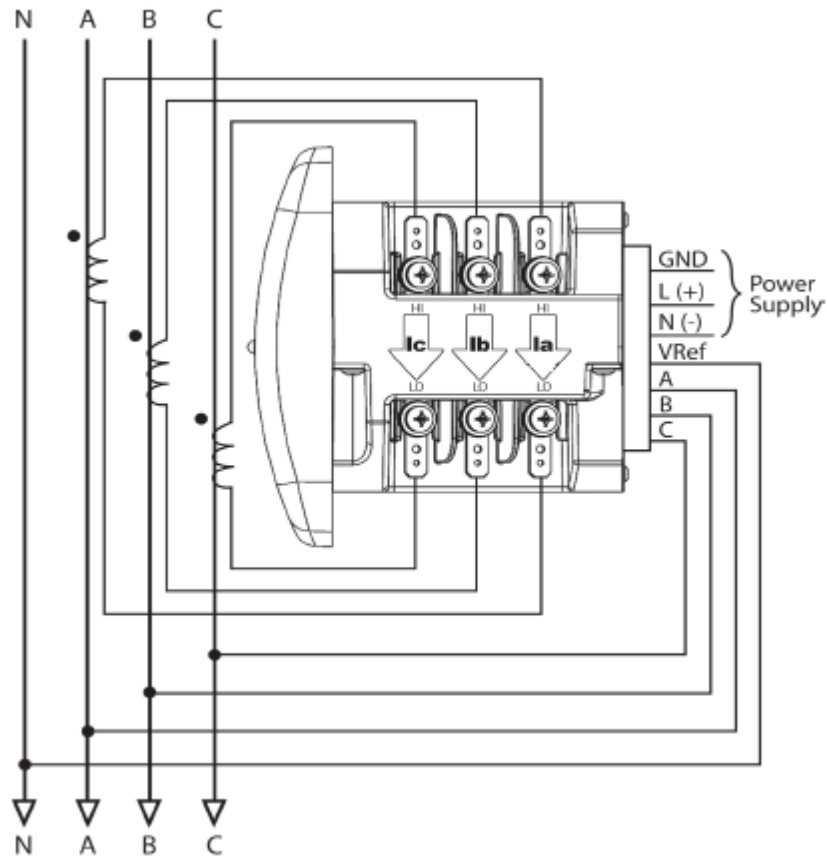
Otro aspecto que se tomó en cuenta fue que la terminal a tierra se conectó directamente al sistema de tierras de la instalación utilizando cable AWG#12 con una sección transversal de  $2.5\text{mm}^2$ , esto como recomendación del fabricante tanto para el Nexus 1500 como para el Shark 200.



**Figura 5.4** Medidor de calidad de energía Shark 200. <sup>[6]</sup>

En el caso de los Shark 200 se realizó el mismo procedimiento que el implementado en el Nexus 1500 ya que estos dos dispositivos manejan el mismo protocolo de instalación eléctrica. A continuación se muestra el diagrama de conexión.

Se eligió destinar el medidor Nexus 1500 para la etapa Normal en el sistema de distribución y los Shark 200 a las etapas de Emergencia ubicándoles en las transferencias. (Ver tabla 5.1)



**Figura 5.5** Diagrama eléctrico de conexión 3 fases 4 hilos estrella directo para Shark 200. <sup>[6]</sup>

Para estos instrumentos de medición se uso un fusible de 100 mA para cada entrada de voltaje y un fusible de 3 A para las entradas del voltaje de alimentación.

### 5.2.1.2 Transductores de corriente (CT's)

Estos dispositivos proveen una corriente secundaria proporcional a la corriente real del consumidor. Son ideales para medidores de calidad de energía los cuales no pueden manejar altas intensidades de corriente. Los niveles de corriente van de 0 a 5 A a la salida, en donde la proporción depende de la capacidad del transductor.



**Figura 5.6** Transductor de corriente (CT) (Fuente: Internet).

Según las características de consumo de energía de la central telefónica se dimensiona la capacidad del transductor, transformador de corriente o “dona”, como se le conoce en el argot técnico. Para obtener esta información se verificó el sistema de medición antiguo (ver figura 5.7) ubicado en la subestación. La magnitud de corriente obtenida es de aproximadamente 1.6 kA, pero a este dato se le debe sumar el consumo del sistema aire acondicionado por medio de agua helada (Chiller), el cual a capacidad máxima consume alrededor de 600 A, de este modo los CT's fueron dimensionados para una capacidad de 3000 A en el caso del Tablero Gran Normal (medidor Nexus 1500) y de 1000 A en el caso de las transferencias (medidores Shark 200), puesto que los consumos en los tableros de emergencia son menores ya que en ellos no están conectados todos los equipos.



**Figura 5.7** Antiguo sistema de medición ubicado en la subestación eléctrica.

Es importante poner atención a la polaridad del transductor para no cometer errores de medición.

### **5.2.2 Descripción del Software**

Tanto el Nexus 1500 como los Shark 200 poseen una aplicación compatible con Windows capaz de capturar la historia del desempeño del voltaje y eventos de calidad de potencia almacenados en la memoria de cada uno de estos instrumentos para un detallado análisis posterior.



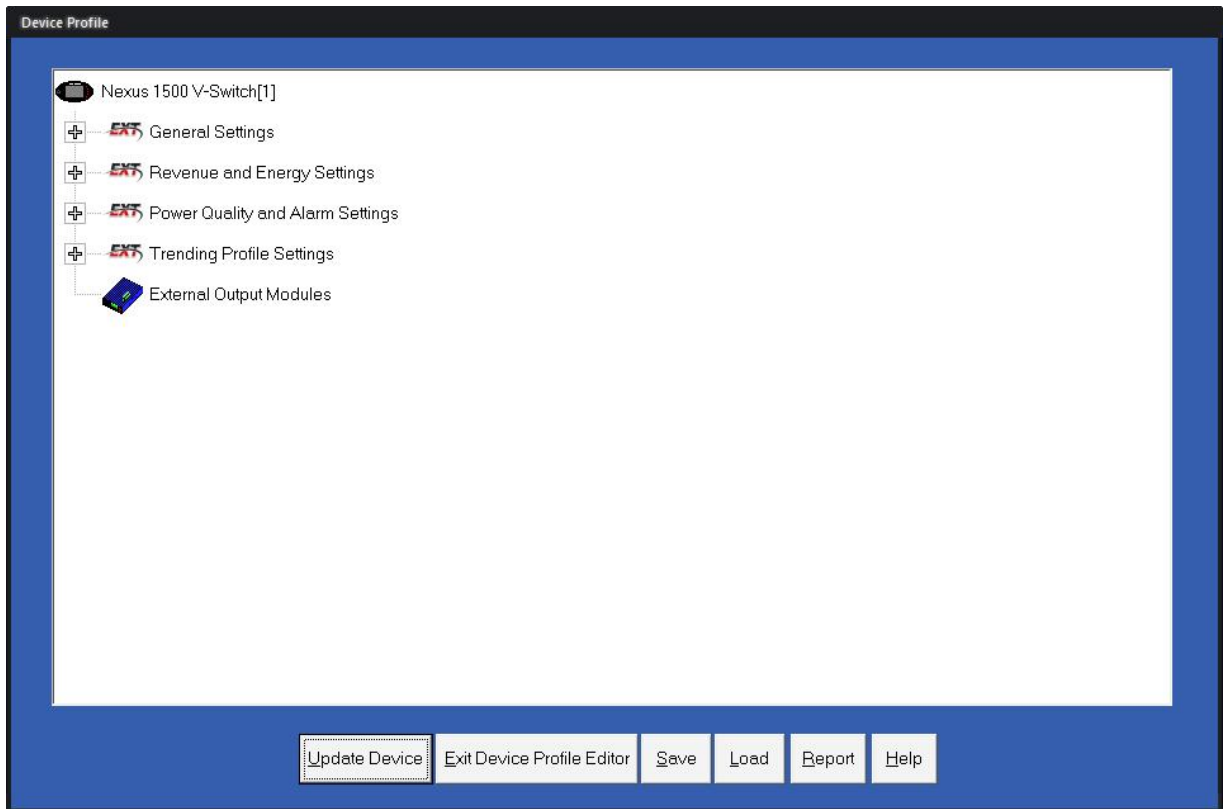
Esta aplicación es conocida como Communicator Ext y está basada en un protocolo Modbus/TCP el cual permite el control de una red de dispositivos como en este caso instrumentos de medición, y comunicar los resultados a una computadora por medio de Ethernet. Modbus también se usa para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) y en sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA).

Según los requerimientos especificados por el asesor en la empresa, los dispositivos de medición debían de ser configurados para ser accedidos desde cualquier localidad. En la tabla 5.1 se exponen las características de cada uno de estos dispositivos.

**Tabla 5.1** Características y parámetros de instalación de los dispositivos de medición.

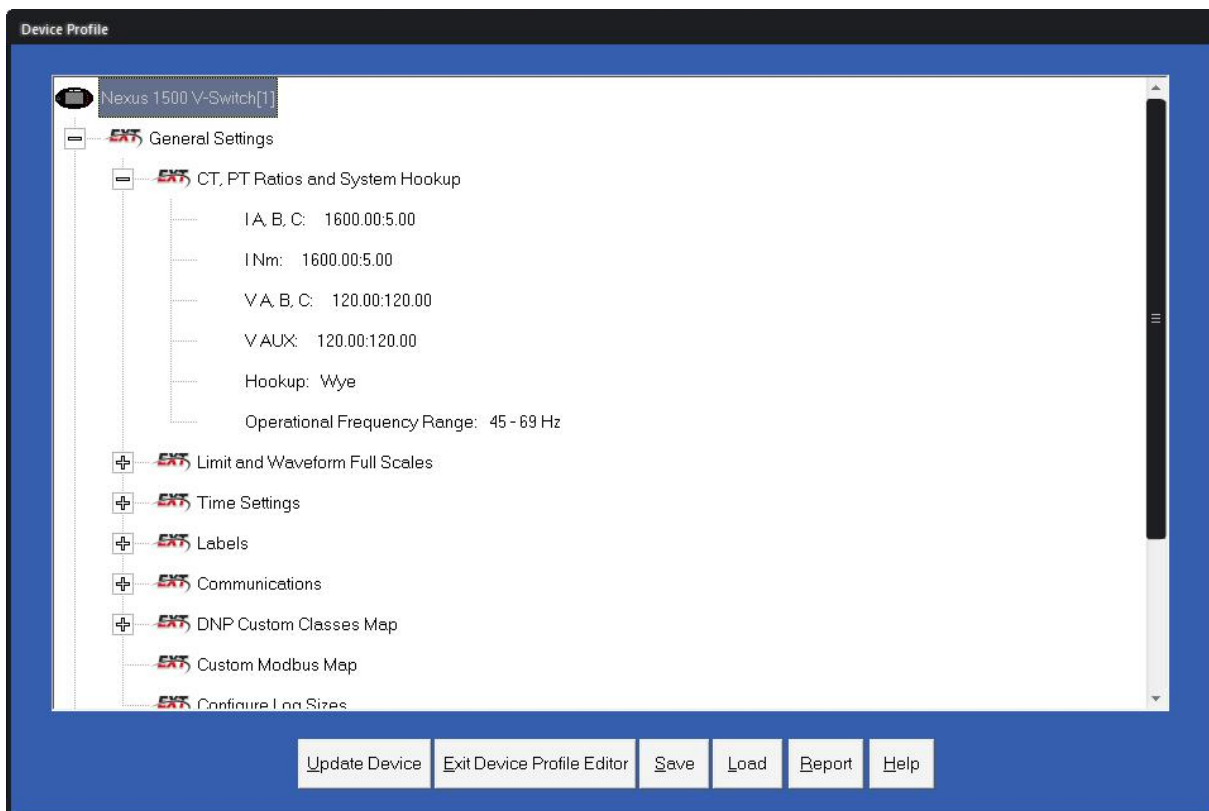
Nombre del dispositivo	Tipo de dispositivo	Dirección IP asignada	Localización	Tipo y tensión de alimentación del dispositivo	Características de los CT's
Central San José	Nexus 1500	172.31.5.7	Tablero Gran Normal	Corriente Alterna (208V)	3 x 3000 A (Fases) 1 x 1000 A (Neutro)
Cummins CSJ	Shark 200	172.31.5.8	Transferencia Cummins	Corriente Directa (48V)	3 x 1000 A (Fases)
Kohler 180 CSJ	Shark 200	172.31.5.9	Transferencia Kohler 180 kW	Corriente Directa (48V)	3 x 1000 A (Fases)
Kohler IP CSJ	Shark 200	172.31.5.10	Tablero TEK IP	Corriente Directa (48V)	3 x 1000 A (Fases)

En la tabla anterior se detallan las direcciones IP asignadas a cada uno de los instrumentos de medición. El proceso de configuración se describe a continuación, en el cual se detallan los pasos más significativos que se realizaron para establecer las características de sistema a medir, para ingresar parámetros como direcciones IP y establecer los protocolos de comunicación al igual que establecer la capacidad de los transductores de corriente, entre otros.



**Figura 5.8** Perfil del dispositivo, configuración Nexus 1500.

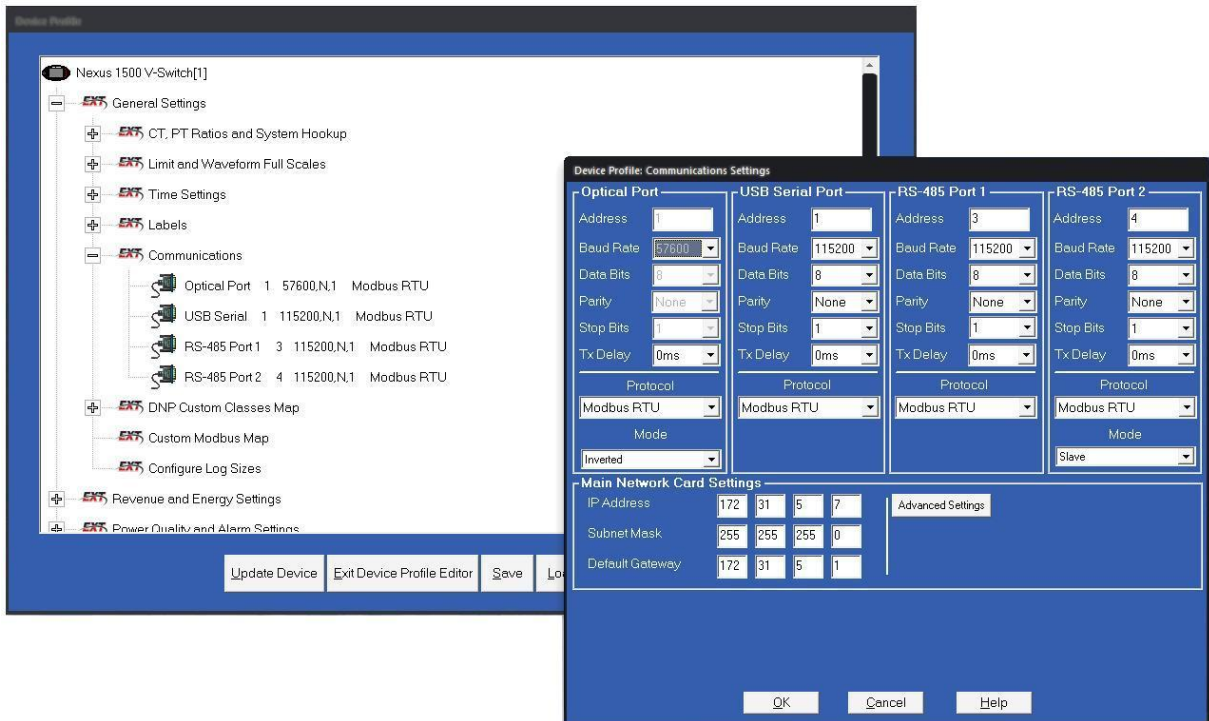
La configuración de los dispositivos de medición se realiza por medio del Communicator Ext. Cada dispositivo posee un perfil en el cual se deben establecer todos los parámetros necesarios para obtener el mejor rendimiento según las necesidades del usuario.



**Figura 5.9** Parámetros generales, configuración Nexus 1500.

Como se observa en la figura anterior, en esta etapa deben de ser ingresadas todas la características propias del lugar en donde se va a realizar la medición: el tipo de configuración trifásica de conexión, las tensiones de fase, la frecuencia del sistema, además de los valores de los CT's.

En este apartado también se configuran la dirección IP del dispositivo y los protocolos de comunicación. Asimismo, se puede configurar la fecha y hora además de poder sincronizar el Nexus con aplicaciones mundiales por medio de IIRG/B, establecer leyendas significativas para detallar descripciones del sistema al cual se monitorea y establecer relaciones con sistemas SCADA para captar tramas de datos.

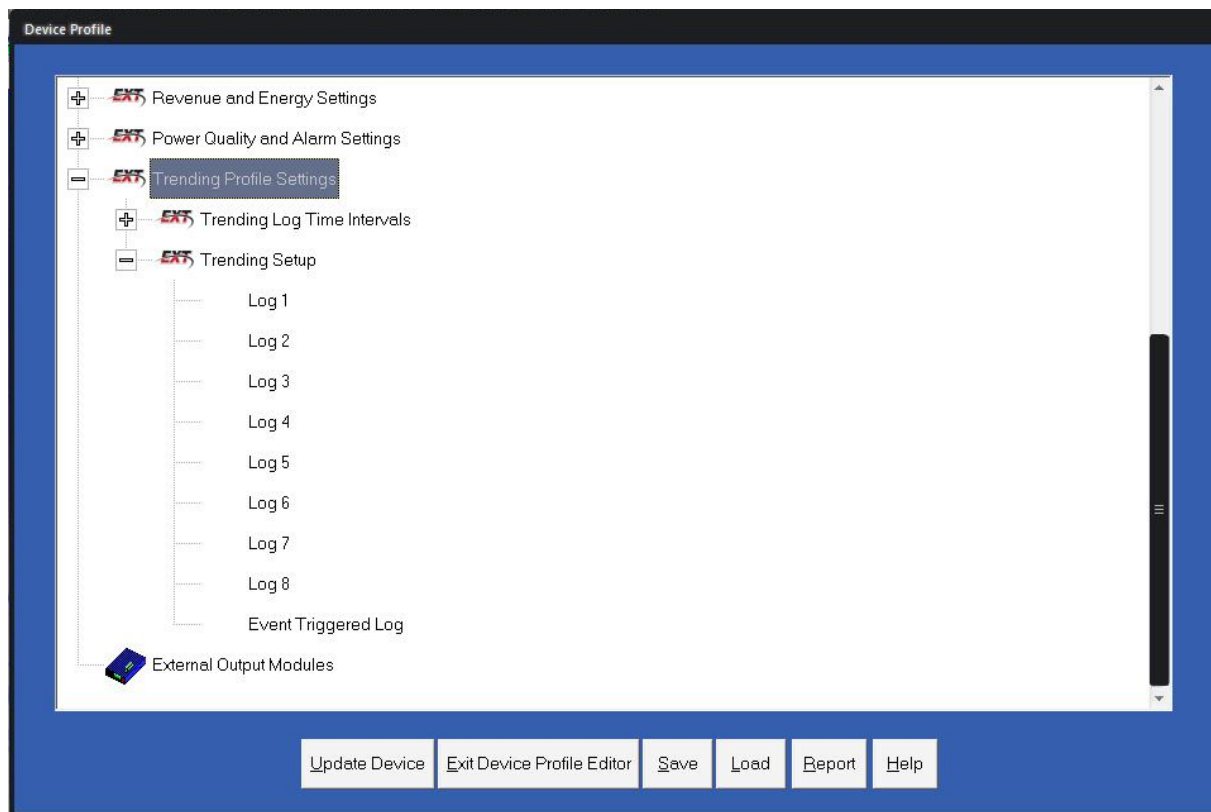


**Figura 5.10** Dirección IP, configuración Nexus 1500.

La opción Revenue and Energy Settings es utilizada para establecer parámetros necesarios para procesos de facturación esto con el fin de informar al usuario la demanda energía y los costos que el consumo de la misma generan. Además, según la configuración, indica al usuario situaciones anormales perjudiciales para la empresa como un factor de potencia erróneo.

En la sección de calidad de energía y alarmas se establecieron las limitantes del sistema de monitorización, entre las más importantes esta determinar un límite de corriente con base en la capacidad de los transductores. De igual relevancia, según la ARESEP la tensión de fase debe de mantenerse entre un 95% y 105% siendo este otro limite a considerar.

En la opción Trending Profile Settings, se determinan los datos a almacenar por el Nexus 1500, en los diferentes registros que este posee.



**Figura 5.11** Registros de almacenamiento, configuración Nexus 1500.

### **5.3 Sistema de protección contra transientes**

Este proyecto está enfocado en elaborar un instructivo indique todos los parámetros necesarios para una correcta selección e instalación de supresores de transientes aplicable al edificio de la central telefónica de ubicada en San José del Instituto Costarricense de Electricidad. Para ello, se desarrolló un estudio basado en el estándar internacional IEEE C62.41-1991.

#### **5.3.1 Sensibilidad del equipo**

El concepto de protección implica la confrontación de un entorno hostil y de un equipo sensible.

El objetivo de desarrollar sistemas de protección basados en tecnologías ya descritas en este documento es garantizar la protección del equipo sensible cuando opera en un ambiente hostil. Los equipos eléctricos y electrónicos deben operar en este entorno sin sufrir o generar disturbios que degraden el funcionamiento de los mismos.

Determinar el nivel de sensibilidad del equipo es un aspecto difícil de cuantificar ya que se requiere la información precisa de los fabricantes, sin embargo un proceso de consenso ha producido una gráfica útil de los niveles típicos de sensibilidad que se muestra en la figura 5.12.

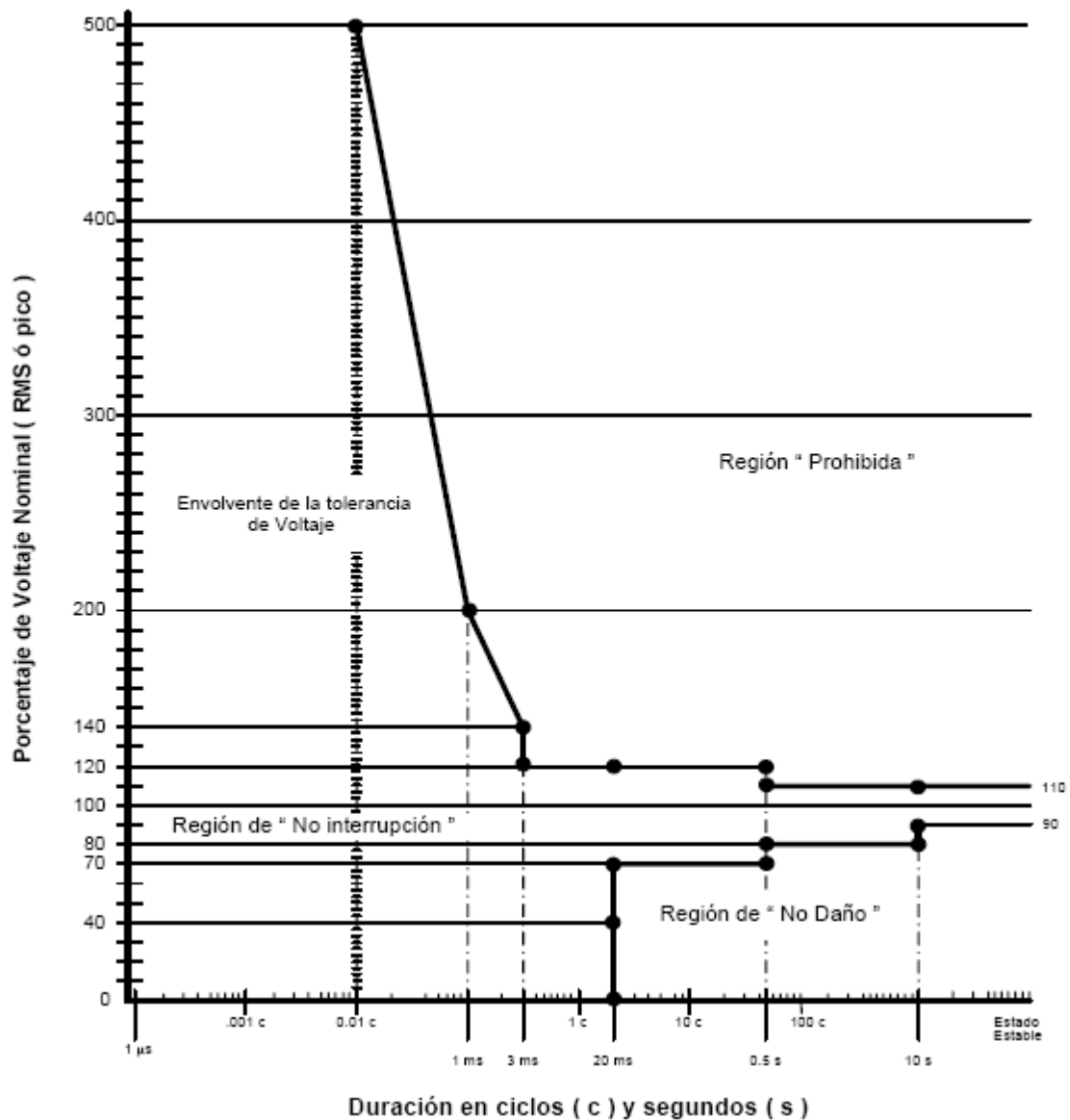
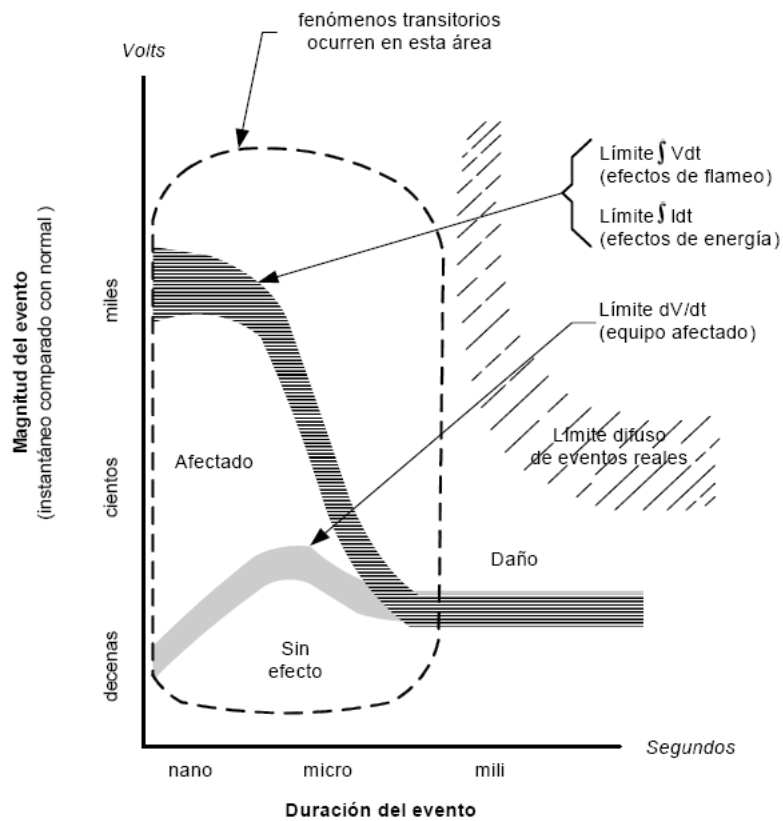


Figura 5.12 Curva ITI (CBEMA). [2]

De la figura anterior es importante destacar la región de "no daño" en la cual la tensión aplicada continuamente es menor que el límite inferior del rango de tolerancia de estado estable, básicamente una interrupción del servicio no causara un daño pero no se espera que los equipos normalmente funcionen en esta región y por eso tampoco existan consecuencias fatales y costosas.

Además en la otra región, llamada “región prohibida”, si los disturbios exceden el límite superior de la frontera de la curva se espera un daño serio en el equipo conectado y definitivamente van presentar consecuencias tales como la pérdida de información hasta daños severos.

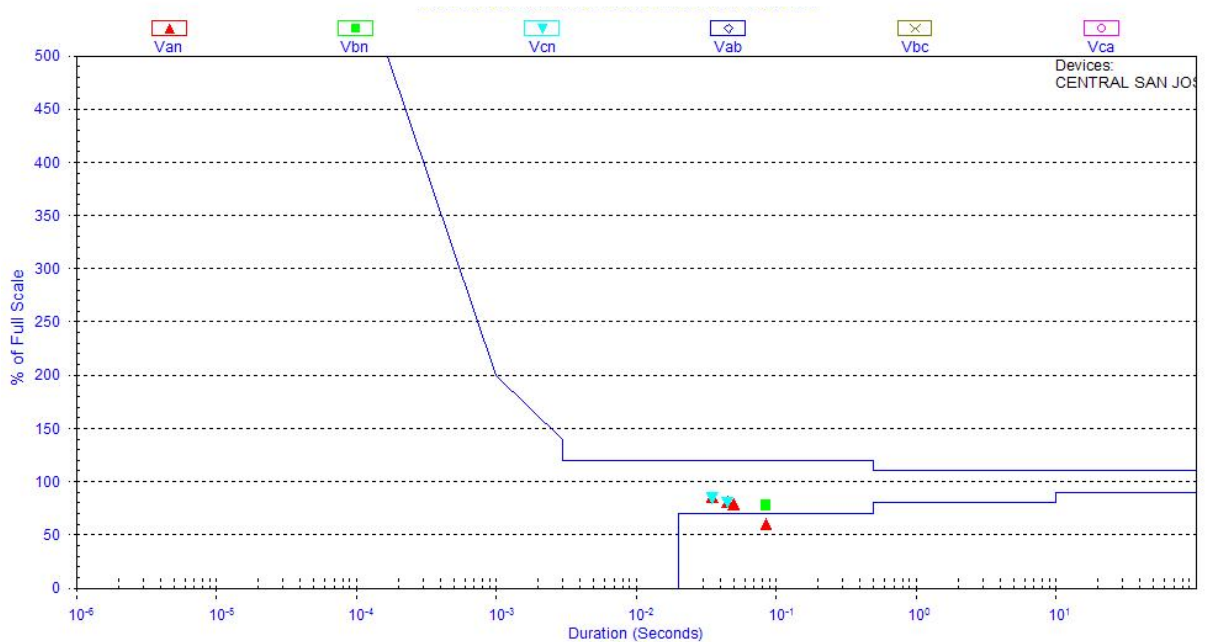
La IEEE propone prevenir al equipo sensible de un ambiente hostil, tomando dos aspectos en cuenta: La caracterización del entorno y la caracterización de la susceptibilidad del equipo. Una preocupación adicional es la frecuencia de los eventos perjudiciales, la cual es un parámetro que debe ser considerado cuando el equipo es sensible al incremento de eventos en un tiempo determinado. Algunos equipos o los circuitos de protección de estos, eventualmente fallan a causa de la degradación que producen múltiples transitorios o por razones de cambio lentas.



**Figura 5.13** Relación entre las amplitud, duración, razón de cambio y sus efectos en el equipo. <sup>[1]</sup>



Para la central telefónica de San José, por medio del Nexus 1500, se logró realizar un análisis CBEMA lo cual nos dio una idea del entorno al que estamos expuestos. Los datos de este análisis fueron basados en un corto lapso de medición y no tienen validez estadística, pero presentan un ejemplo del ambiente real del entorno. Esto se puede validar en futuras mediciones.



**Figura 5.14** Gráfica CBEMA para la central telefónica de San José  
(Fuente: Medidor Nexus 1500)

La figura anterior indica que la calidad de energía para los equipos de la central de San José no presenta mayor problema en cuanto a la presencia de disturbios que puedan afectar el correcto funcionamiento de los mismos. Aunque cabe resaltar que se registraron eventos en la zona de “no daño”, lo cual puede inducir a desconexión tanto de dispositivos sensibles como equipo capaz de producir transitorios al restablecer su funcionamiento normal.

### **5.3.2 Consideraciones para la protección contra transientes**

A la hora de diseñar un sistema de protección contra transientes, se deben tener en cuenta ciertas consideraciones que son necesarias para alcanzar un nivel razonable de protección.

En aquellas aplicaciones que no involucran procesamiento en línea, la protección se requiere para disminuir la falla de los equipos. Adicionalmente a esto, en otros casos como este del ICE, se brindan servicios de telecomunicación y procesamiento de datos que son de importancia no sólo por los ingresos que generan, sino también porque una interrupción del servicio es inaceptable por la necesaria confiabilidad del sistema.

Otra consideración importante está relacionada con la sensibilidad de los equipos a proteger, puesto que la sensibilidad es diferente para la falla de equipos que para errores de procesamiento. En este último se deben de tomar en cuenta la amplitud máxima remanente del pico y la duración que puede tolerar, así como la energía contenida y la forma de onda.

Detallar el entorno del sistema de potencia es un factor clave para lograr una correcta protección contra transitorios. Esto implica cuantificar las formas de onda de los disturbios con base en su clasificación por localización y determinar los niveles de exposición de la zona en donde está inmersa la central telefónica.

Se debe evaluar el desempeño de los equipos de protección contra transitorios de voltaje partiendo de lo prolongada que pueda ser la vida del dispositivo bajo los efectos de los transitorios como por las variaciones del sistema eléctrico.

Y por último, el costo de los dispositivos de protección del sistema a implementar debe ser menor que los costos de reemplazo y mantenimiento de los equipos a proteger. Por otro lado los beneficios que se produzcan por un servicio de calidad sin interrupciones son también de gran valor para la institución.

### **5.3.3 Consideraciones del sistema de puesta a tierra**

La conexión a tierra es esencial para obtener un desempeño seguro y satisfactorio en el sistema de energía eléctrica, además que es la base fundamental para que la protección de equipos sensibles pueda operar en forma segura. Por este motivo la conexión a tierra debe de cumplir con tres requisitos indispensables:

- a. Proporcionar una trayectoria de baja impedancia a las corrientes de falla, de forma que los dispositivos de protección operen oportuna y seguramente.
- b. Mantener una diferencia de potencial baja entre las partes metálicas expuestas para evitar daños al personal.
- c. Controlar las sobretensiones que los supresores descargan a este sistema.

### **5.3.4 Niveles de exposición**

El nivel de exposición al medio ambiente está relacionado con los transitorios inducidos en el sistema de potencia, dependiendo de las condiciones del sistema y del entorno. Se establecen tres rangos según en estándar estudiado:

- a. Exposición baja: Representa los sistemas en áreas geográficas con baja actividad de rayos, además de poca actividad de conmutación de cargas o capacitores.
- b. Exposición media: Aquí se encuentran los sistemas en áreas geográficas con actividad de rayos de media a alta, o con una actividad significativa de transientes por conmutación. Una o ambas de estas causas pueden estar presentes; es difícil separarlas revisando los resultados de la monitorización de disturbios.

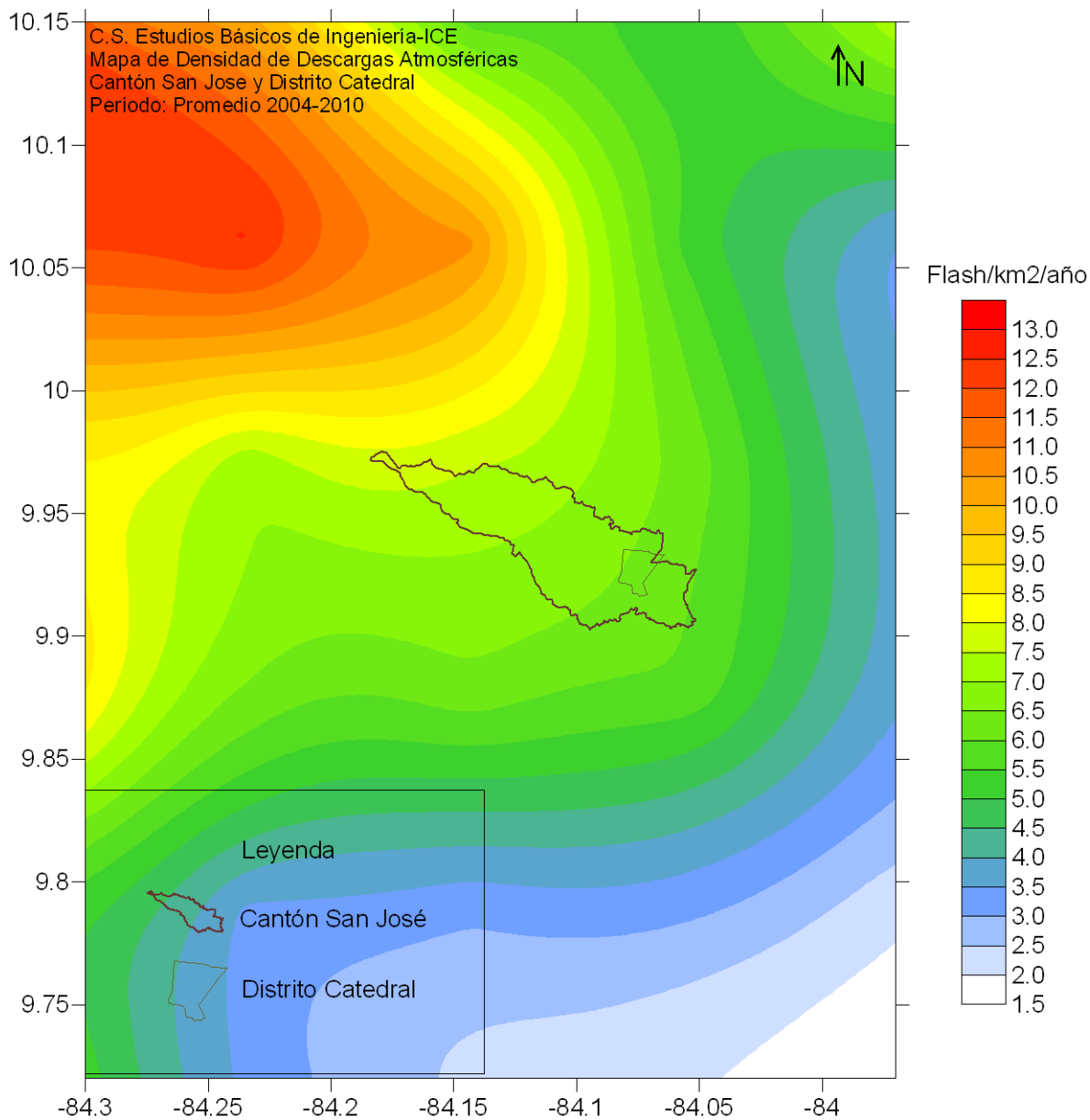
- c. Exposición alta: Estas instalaciones tienen exposición a transientes de voltaje mayor que los niveles antes mencionados como resultado de una extensa exposición a rayería o a severas sobretensiones creadas por conmutaciones en la red de energía eléctrica.

Con base en lo anterior y en lo especificado en la norma IEEE 62.41-1991 se pudo determinar el rango de exposición en que se encuentra la central telefónica de San José ante eventos transitorios.

Dicha central está ubicada en el Cantón Central de la provincia de San José, específicamente en el Distrito Catedral. Para poder ubicar el rango de exposición de esta zona se solicitó el Resumen de Descargas Atmosféricas del 2010 y la información referente al cantón Central sobre descargas atmosféricas de los últimos años al Centro de Servicios Estudios Básicos de Ingeniería de Instituto Costarricense de Electricidad.

En los datos suministrados se detalla la fecha, hora, ubicación e intensidad de los eventos registrados por el sistema de medición de este departamento, que van desde el 22 de Marzo de 2005 hasta el 1 de Noviembre de 2010. Cabe destacar que la corriente de descarga máxima registrada tiene una magnitud de 163 kA y se presentó el 26 de Junio de 2009, la mínima de 1kA y un promedio de 15,74 kA. Datos que nos estiman las magnitudes que eventualmente tendría que soportar el supresor de sobretensiones que pertenezca a la categoría C de la instalación, como posteriormente se detallará.

La figura 5.15 representa el mapa de densidad de descargas atmosféricas para el Cantón Central lugar donde se ubica el distrito antes mencionado. Según la escala de colores, se aprecia que el área que comprende el Distrito Catedral tiene valores entre los 6 y 7 flash/km<sup>2</sup>/año. De esta manera, según la tabla 3.1 se determina que esta zona es de severidad moderada.



**Figura 5.15** Mapa de densidad de descargas atmosféricas del Cantón Central y Distrito Catedral. <sup>[11]</sup>

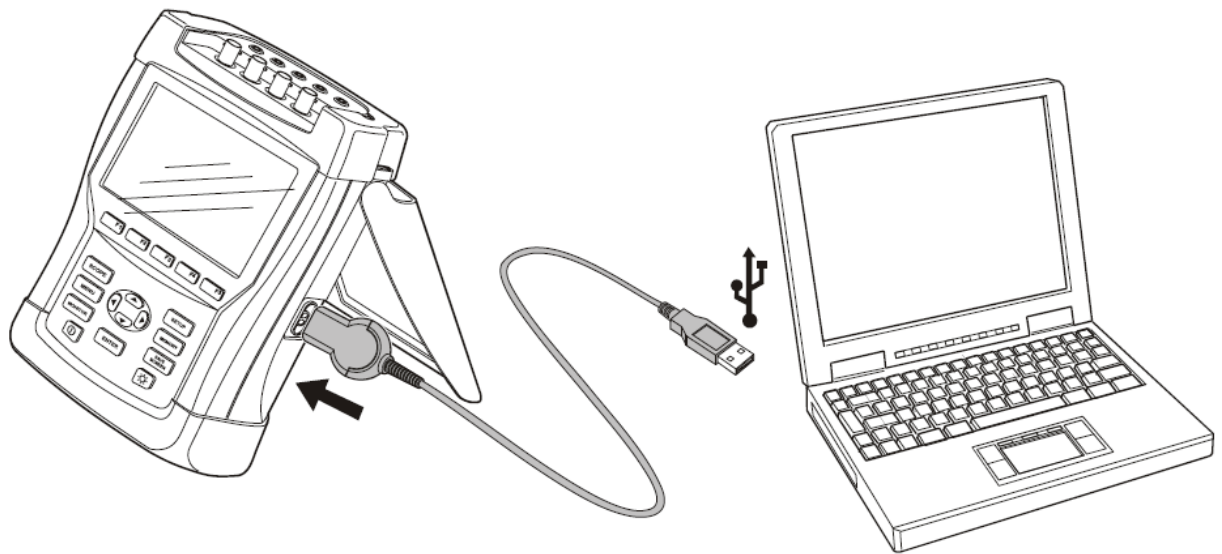
Aunque no existe relación alguna entre la clasificación que realiza el Centro de Servicios de Estudios de Ingeniería y la IEEE, se usó la tabla 3.1 para lograr establecer la exposición de la zona en estudio ante descargas atmosféricas. Así que, tomando los datos que se extraen del mapa, se realiza una analogía para clasificar el lugar dentro de la norma IEEE, por lo que se determinó que el Distrito Catedral tiene una exposición media ante este tipo de eventos.

Seguidamente se realizó una identificación de todos los equipos productores de transientes para poder determinar la exposición ante este tipo de disturbios. Localizando las cargas en donde por operación normal del sistema, se realiza este tipo de maniobra.

La central telefónica posee en distintos pisos una cantidad considerable de motores de inducción, ya que se cuenta con sistemas de aire acondicionado indispensables para un buen funcionamiento de los servicios que se brindan. También se hallaron motores que se usan para otro tipo de aplicaciones como ascensores y bombas de agua, los cuales fueron tomados en cuenta en la etapa de mediciones.

En varias salas del edificio existe abundante equipo electrónico que genera calor cuando funciona. Estas salas están provistas con un sistema de aire acondicionado para extraer todo el calor.

El departamento de Electromecánica de la central telefónica de San José posee un instrumento de medición portátil marca FLUKE modelo 435 el cual tiene todas las funciones de un analizador de calidad de energía con capacidad de conexión a la PC para descarga de datos y mediciones realizadas mediante una aplicación ya establecida. Entre sus funciones principales están un osciloscopio, diagrama fasorial, grabador de tendencias de voltaje y corriente, multímetro, analizador de armónicas, detección de transitorios, mediciones de potencia y energía, corrientes de arranque entre otros.



**Figura 5.16** FLUKE 435 Analizador de calidad de energía (conexión a PC). <sup>[5]</sup>

Esta herramienta fue de gran ayuda puesto que permitía ver el comportamiento de las forma de onda ante eventos como arranque de motores de inducción y conexión y desconexión de equipo de potencia. El objetivo de esta práctica es evaluar las zonas de riesgo y obtener datos importantes para la selección de supresores. Las magnitudes importantes en este caso son la corriente y la tensión pico, los valores RMS de los transitorios a mitigar así como comprobar la presencia de sobretensiones perjudiciales en los diferentes tableros de distribución a lo largo del edificio.

En la siguiente figura se exponen diferentes eventos transientes provocados por el movimiento del ascensor del edificio viejo de la central además de la operación de algunos equipos de aire acondicionado. La medición se realizó en el tablero TN 2 ubicado en el piso 10 del inmueble comprobando lo expresado anteriormente en el marco teórico (compare 3.3). Cabe resaltar que en el caso de los equipos de aire se simuló un corte de energía para poder observar el transiente que se crea a la hora que la máquina arranca. Esto para evitar que el dispositivo de medición esté conectado por mucho tiempo al tablero esperando poder registrar un evento.

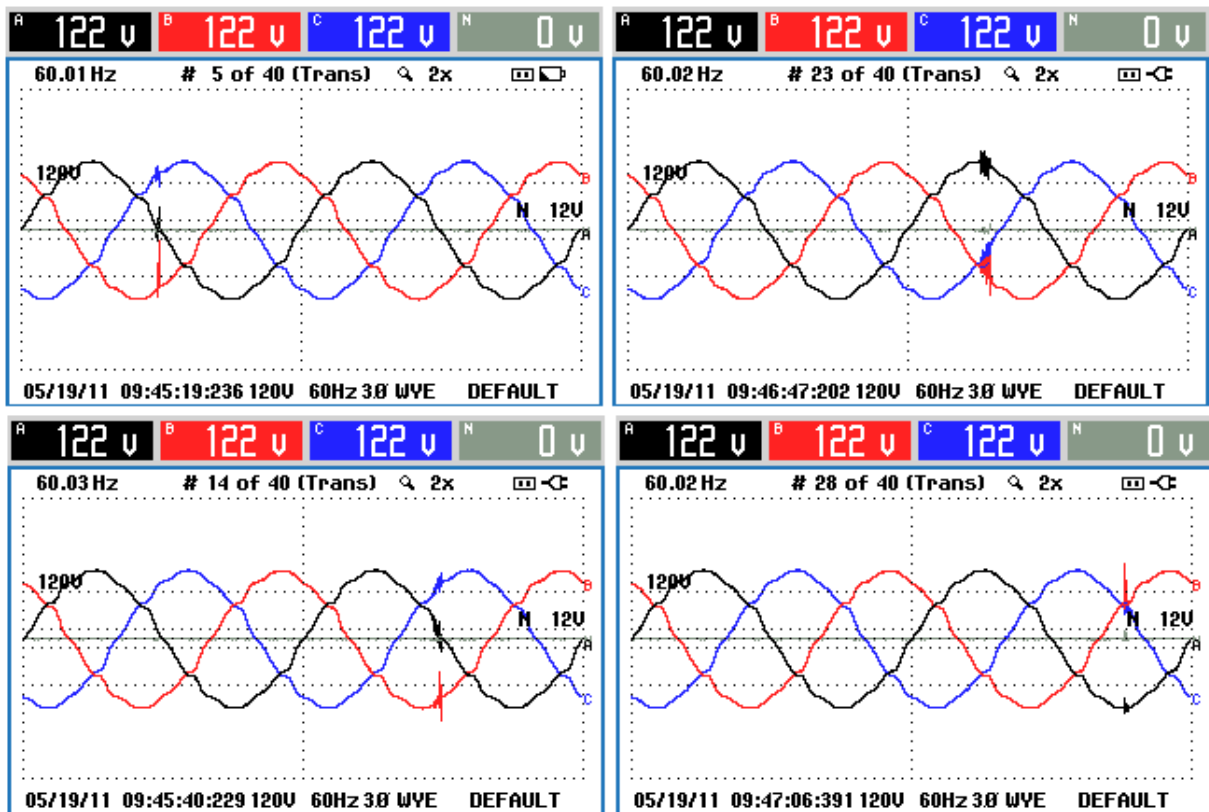
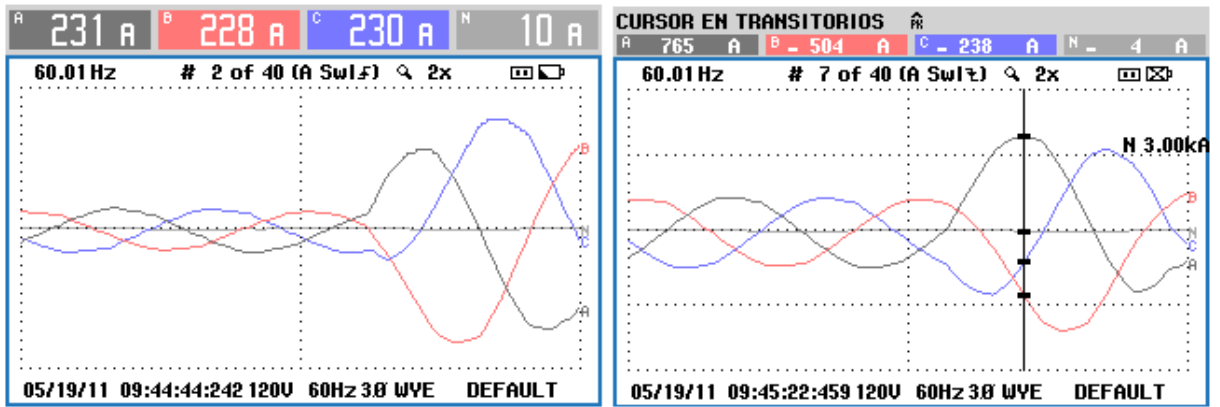


Figura 5.17 Eventos transientes de voltaje registrados en el tablero TN 2 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José.

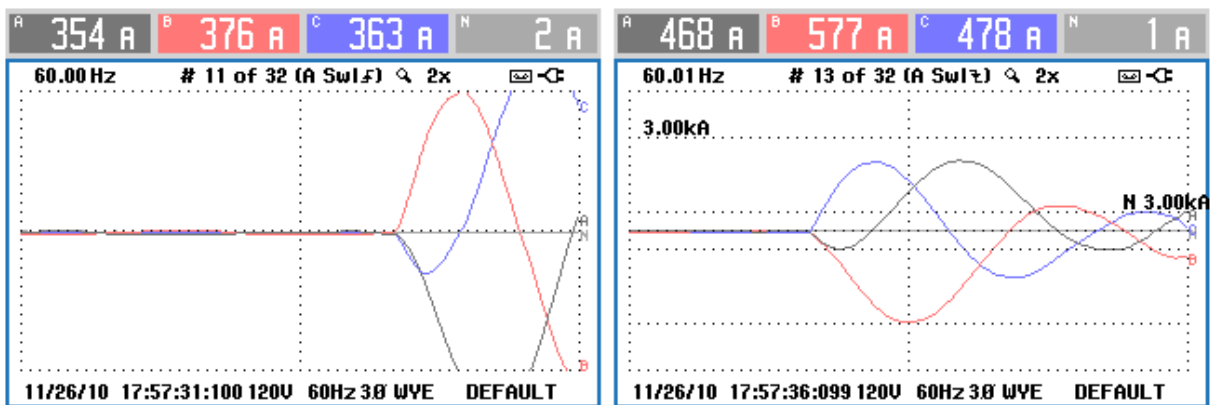
Pero además de transitorios, también se registraron elevaciones y disminuciones abruptas de corriente. Estas son el producto de una repentina demanda de energía por los motores del ascensor. En la figura 5.18 se muestran este tipo de eventos en donde se destacan corrientes pico de hasta 765 A.



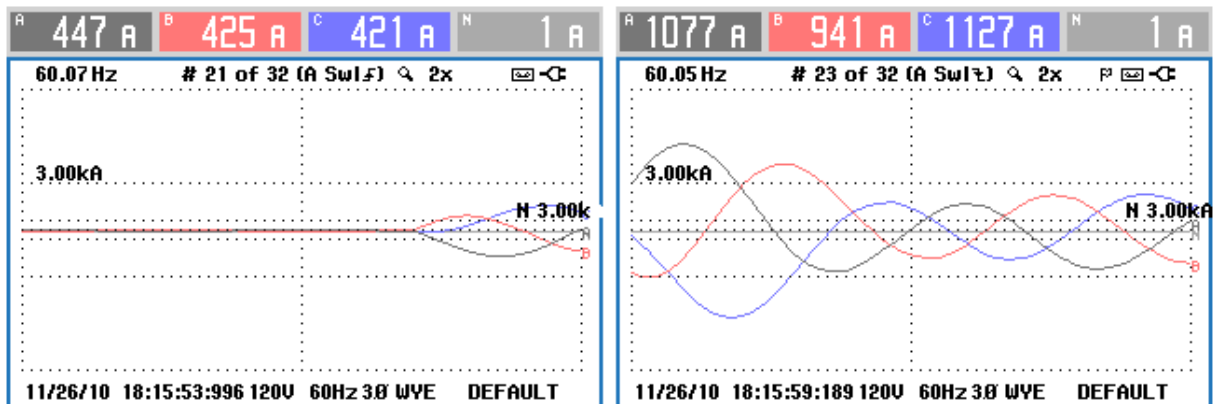


**Figura 5.18** Elevaciones de corriente (swell) registradas en el tablero TN 2 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José.

El equipo generador de transitorios de mayor intensidad se le denomina Chiller (equipo de aire acondicionado). Esto por su alto consumo y manejo de equipos de alta potencia como los son compresores y motores de inducción utilizados para mover abanicos destinados al enfriamiento y disipación de calor. Según la placa de datos del equipo, estas unidades demandan corrientes de arranque de más de 800 A. Las siguientes graficas muestran el comportamiento de estos equipos al momento de realizar varias pruebas de encendido y arranque.



**Figura 5.19** Elevaciones de corriente (swell) registradas en el tablero T10 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José para el compresor A.



**Figura 5.20** Elevaciones de corriente (swell) registradas en el tablero T10 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José para el compresor B.

Las figuras anteriores muestran mediciones de corriente realizadas al momento del arranque de los distintos compresores. El sistema chiller tiene un sistema de arranque estrella-delta. Así las figuras 5.19 y 5.20 se muestran dos graficas mostrando la figura izquierda el arranque en estrella y la derecha la conexión delta.

Durante el proceso de pruebas se produjo una falla inesperada en el sistema de agua helada, provocada por una sobrecarga del mismo y generando una interrupción en la alimentación del chiller. Estos eventos fueron registrados por el FLUKE 435 demostrando así cuan peligrosos pueden ser este tipo de incidentes. En la figura A.2.5 ubicada en el apéndice, se detalla el valor instantáneo de la corriente pico en alto y bajo de este suceso.

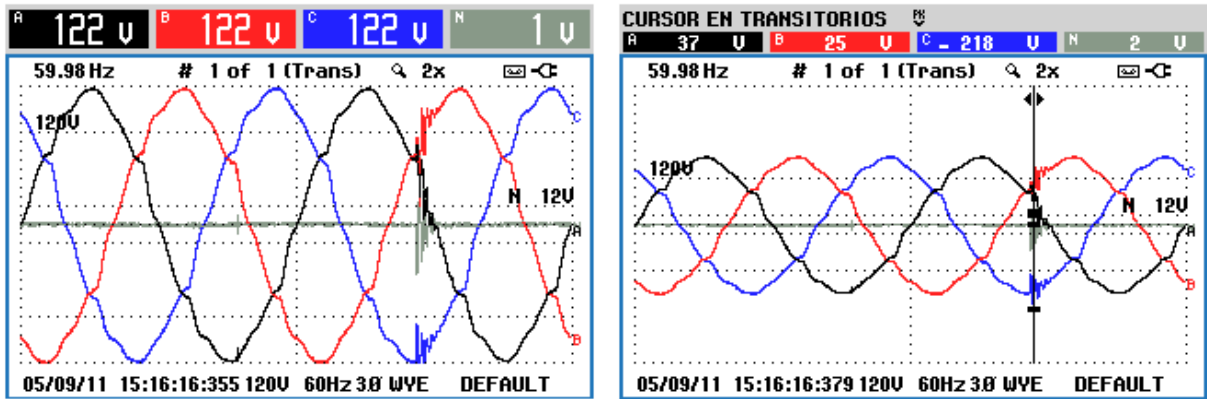
**Tabla 5.2** Equipo de aire acondicionado de la central telefónica de San José.

Equipo	Edificio	Localidad	Ubicación equipo	Tablero	Ubicación tablero
Union Aire	Viejo	Sótano	Sala Eq. Fza Sótano	TE C 2	Sótano
Lennox	Viejo	Sótano	Sala Eq. Fza Sótano	TE C 2	Sótano
Multiaqua	Nuevo	Planta Baja	Antiguo Taller Electromecánica P.B	N.E	PB
Samsung	Nuevo	Planta Baja	Oficina Administrador Edificio	N.E	Sótano
Union Aire	Nuevo	Planta Baja	Taller Electromecánica Nuevo	TE C 4G	PB
Spa. Cooler	Nuevo	Piso 2	Sala Equipos TX RX	N.E	Piso 2
Lennox	Nuevo	Piso 2	Sala Equipos TX RX	Ductos	Piso 2
Lennox	Nuevo	Piso 2	Sala Distribuidor ed. Nuevo	Ductos	Piso 2
Lennox	Viejo	Piso 2	Sala Distribuidor ed. Viejo	Ductos	Piso 2
Magic Aire (2)	Viejo	Piso 3	Sala Central Digital Ericsson	N.E	Piso 3
Lennox	Nuevo	Piso 3	Sala Equipos TX RX	Ductos	Piso 2
Lennox	Viejo	Piso 3	Sala Central Digital Ericsson	Ductos	Piso 2
Tecair LV	Nuevo	Piso 3	Sala Equipos TX RX	T4	Piso 4
Liebert	Nuevo	Piso 4	Sala Eq. Dslam	TE K IP 1	Piso 4
Hiross	Nuevo	Piso 4	Sala Eq. Dslam	TE K IP 1	Piso 4
Lennox	Viejo	Piso 4	Oficina de Gestión	Ductos	Piso 5
Lennox	Viejo	Piso 4	Gestión Celular	Ductos	Piso 5
Liebert	Nuevo	Piso 5	Sala Central Digital Alcatel	TE K	Piso 6
Miller	Nuevo	Piso 5	Sala Call Center	TE C2 E5	Piso 5
Lennox	Nuevo	Piso 5	Sala Eq. Fza Vortex	Ductos	Piso 5
Lennox	Viejo	Piso 5	Sala Call Center	Ductos	Piso 5
Liebert	Nuevo	Piso 6	Sala Central Digital Alcatel	TN 5	Sótano
Liebert	Nuevo	Piso 6	Sala Central Digital Alcatel	TE K	Piso 6
Lennox	Nuevo	Piso 6	Sala Central Digital Alcatel	Ductos	Piso 6
Tempstar	Nuevo	Piso 6		Ductos	Piso 6
Liebert	Viejo	Piso 6	Sala Central Digital Ericsson	TN 2	Piso 10
Liebert	Viejo	Piso 6	Sala Central Digital Ericsson	TE C2	Piso 6
Mc Quay	Nuevo	Piso 7	Sala Equipos Red I.P	TN 3D	Piso 7
Mc Quay (2)	Nuevo	Piso 7	Sala Supervisión Equipos Red I.P	TN 3D	Piso 7
Liebert	Nuevo	Piso 7	Sala Equipos Red I.P	TE C6	Piso 7
Liebert	Nuevo	Piso 7	Sala Equipos Red I.P	TN 2	Piso 10
Lennox	Nuevo	Piso 7	Sala Gobierno Digital	T7	Piso 7
Mc Quay (3)	Nuevo	Piso 8	Sala Supervisión Celular	TN 4 G1	Piso 8
Magic Aire	Nuevo	Piso 8	Oficina Supervisión Celular	TN 4 G1	Piso 8
Air Conditioner (3)	Nuevo	Piso 8	Oficina Supervisión Celular	TN 4 G2	Piso 8
Tecair LV (2)	Nuevo	Piso 8	Sala Supervisión Celular	TE K	Piso 6
Mitsubishi Daiya (10)	Nuevo	Piso 9	Sala Servidores	TE C 2G	Piso 9
Mitsubishi Daiya (3)	Nuevo	Piso 10	Azotea Ed. Nvo	TE C 2G	Piso 9

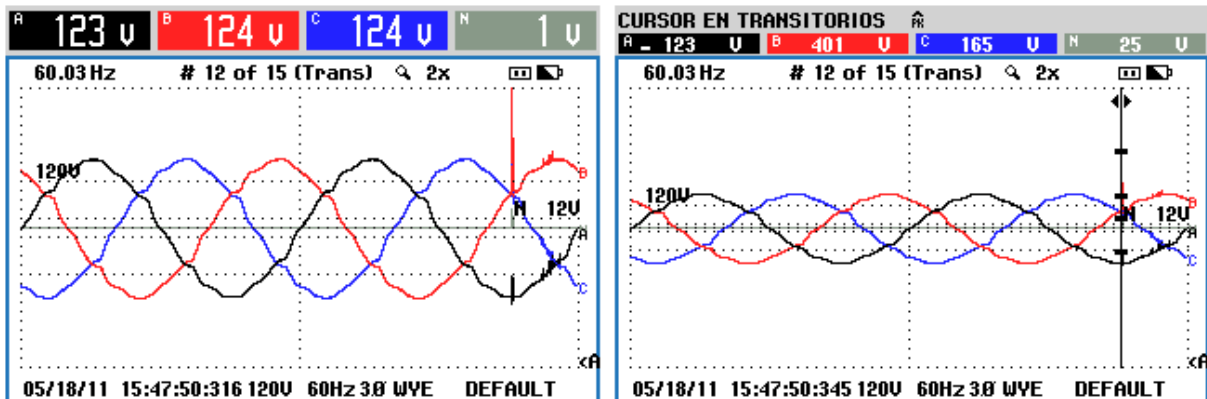
**Nota:** Los números entre paréntesis a la par de cada equipo indican la cantidad de los mismos.

En la tabla anterior se detallan todos los equipos de aire acondicionado presentes en la central telefónica, especificando su ubicación en el edificio, el tablero del cual se encuentran alimentados y el lugar donde están establecidos. Esto con el fin de determinar todas aquellas zonas en el sistema de distribución eléctrica que posean dispositivos productores de transitorios.

En el siguiente bloque de figuras se muestran algunos eventos registrados por el analizador de calidad de energía portátil demostrando el comportamiento perjudicial de algunos equipos mostrados en la tabla 5.2 (el resto de las mediciones se encuentran en el apéndice).



**Figura 5.21** Eventos transientes registrados en el tablero TE C2 G ubicado en el piso 9 de la Central Telefónica de San José.



**Figura 5.22** Eventos transientes registrados en el tablero TN 3D ubicado en el piso 7 de la Central Telefónica de San José.

### 5.3.5 Categorías de localización

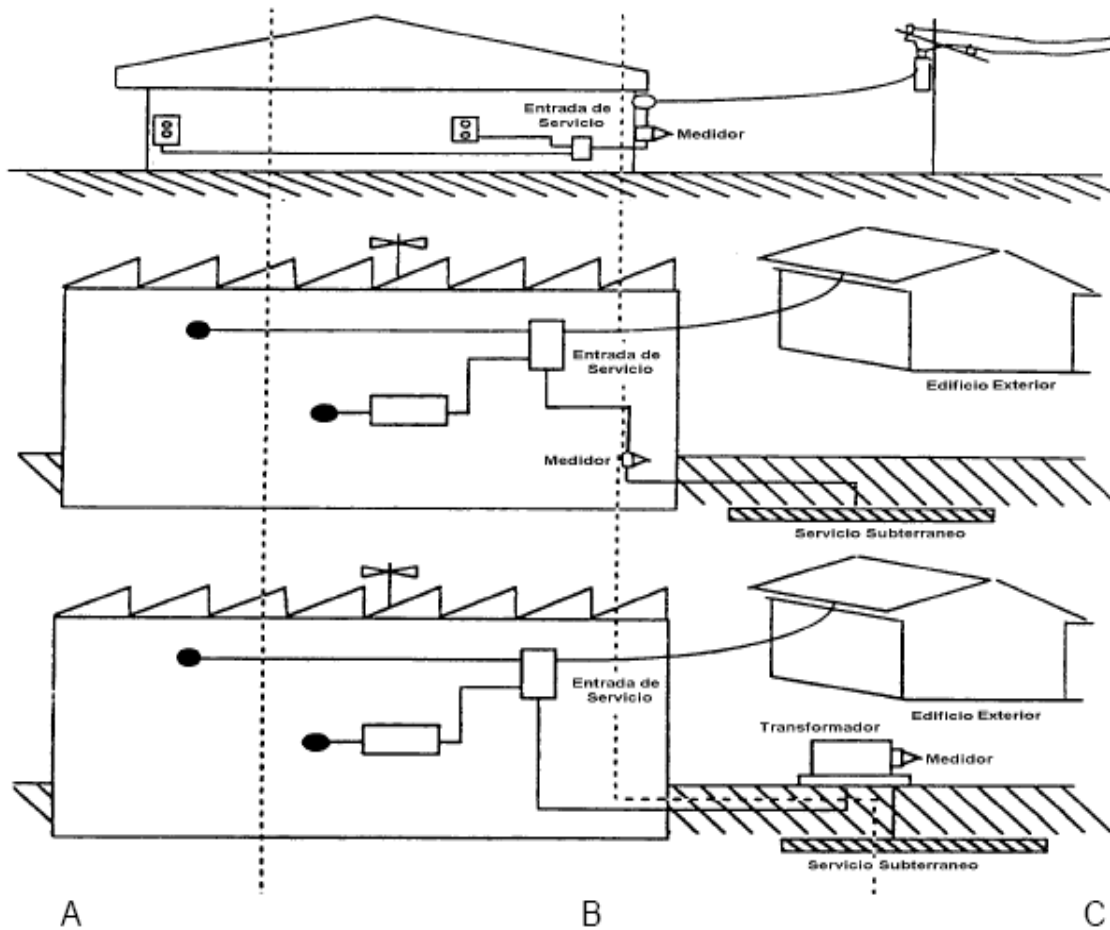
Según el estándar IEEE C62.41-1991 se han definido tres categorías por localización de circuitos que representan la gran mayoría de ubicaciones, desde aquellas cercanas a la acometida hasta las más remotas.

Para los transitorios originados en la alimentación del suministrador, la impedancia de la fuente puede considerarse como constante, mientras que la impedancia serie se incrementa con la distancia hasta la carga, restringiendo la razón de crecimiento de la corriente del transitorio.

La figura 5.23 muestra la aplicación de las tres categorías de localización en un sistema de potencia relacionado con la impedancia y por lo tanto con la corriente del transitorio.

En la Categoría C se está expuesto a transitorios de mayor nivel, esperando voltajes que excedan los 10 kV y corrientes de descarga de 10 kA y mayores. La norma indica que la experiencia de campo muestra que la aplicación de pararrayos con capacidades de 10 kA, 4/10  $\mu$ s han demostrado su efectividad para desviar la mayor parte de las corrientes asociadas con este entorno. Aun cuando descargas directas de rayos en el punto de interés producen voltajes y corrientes mayores.

La mayoría de las aplicaciones de protección involucran entornos interiores distantes de la conexión de entrada de servicio y de las condiciones de la categoría C, por lo que no deberá aplicarse indiscriminadamente como una especificación para todos los equipos, es decir, un dispositivo de la categoría C puede ser usado en una localización A o B, mas esto generalmente no es necesario puesto que para las categorías A y B los niveles de corriente varían en una exposición, decreciendo desde la categoría B hasta la categoría A.



**Figura 5.23** Categorías de localización de supresores. <sup>[1]</sup>

Con base en lo especificado, se procedió a realizar una categorización en el edificio seleccionando los tableros que poseen dispositivos que crean transientes de voltaje al igual que equipo sensible a estos disturbios, para poder sugerir un esquema de protección ante tales eventos.

En las siguientes tablas se especifican los tableros de relevancia de algunos pisos en donde se asignan las categorías de los supresores a instalar según su ubicación en el edificio igualmente como por el tipo de cargas que poseen, los demás resultados se encuentran en el apéndice.

**Tabla 5.3** Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 7 de la central telefónica de San José.

<b>Tablero</b>	<b>Tipo de Cargas</b>	<b>Categoría Localización IEEE</b>
T UPS 1A	Equipo de transmisión de datos	A
T UPS 1B	Equipo de transmisión de datos	A
T UPS 1C	Equipo Internet Gobierno Digital	A
T UPS 1 B1	Equipo de transmisión de datos	A
T UPS 1 B2	Equipo de transmisión de datos	A
T UPS 1 B3	Equipo de telecomunicación y pantalla plana	A
T UPS MGE	Regletas para equipo de Internet	A
Proyecto AAA	Equipo de transmisión de datos	A
TE K 2	Equipo de transmisión de datos	A
TE C 6B	Equipo de transmisión de datos	A
TN 3 D	Equipo de A/C	B
TE C 6	Tableros	B

**Tabla 5.4** Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al sótano de la central telefónica de San José.

<b>Tablero</b>	<b>Tipo de Cargas</b>	<b>Categoría Localización IEEE</b>
TE C 4B	Sistema de alarmas del edificio y luces	A
TN 4	Tableros, extractores y equipo de A/C	B
TE C 5	Tableros, lámparas y extractores	B
TE C 4	Tableros	B
TN 5	Transferencia Planta Kohler 180 kW y equipo A/C	B
TE K IP	Tableros	B
Tablero Gran Emergencia (TE C)	Tableros	B
Tablero Gran Normal	Banco de condensadores, Transferencia Cummins Planta 450 kW, Transferencia Planta Kohler IP 250 kW, tableros de distribución.	C
TE K*	Abanicos y bombas de agua	A
T UPS	Tablero T UPS 1	B
TE K IP 3	Alimentación UPS y alimentación By Pass	B
TE C 2B	Equipo de A/C, extractor, iluminación, toma corrientes y tableros.	B
TN 1	Tableros	B



Entre los criterios utilizados para realizar la categorización de supresores a instalar en los diferentes tableros a lo largo del edificio está la distancia a la que se encuentran tableros de cargas finales que, aunque posean equipo productor de transientes, por su gran longitud con respecto al tablero que los alimenta se pueden encasillar en categorías tipo A, ya que la inductancia del cable actúa como un supresor en serie que amortigua este tipo de disturbios. Asimismo se consideró la cantidad de equipos productores de transitorios en un mismo tablero y otro tipo de equipos conectados al mismo, además del valor de tensiones pico que se midieron con el FLUKE 435 y la categoría de los paneles de distribución para obtener un esquema como el indicado en la normativa estudiada.

### 5.3.6 Selección de formas de onda

Las formas de onda de transitorios se aplican de acuerdo a la categoría de localización siendo la onda oscilatoria de 100 kHz y la onda combinada recomendadas para el diseño básico y pruebas. Las formas de onda adicionales solo deben ser incluidas cuando existe evidencia suficiente que garantice su uso. En la siguiente tabla se exponen las cinco formas de onda contenidas en el estándar IEEE C62.41-1991 y su aplicabilidad según las categorías de localización.

**Tabla 5.5** Resumen de las formas de onda estándar aplicables y adicionales para las categorías de ubicación A, B y C. <sup>[1]</sup>

<b>Categoría de localización</b>	<b>100 kHz Onda Oscilatoria</b>	<b>Onda Combinada</b>	<b>5/50 ns Ráfaga EFT</b>	<b>Onda 10/1000 µs</b>	<b>5 kHz Onda Oscilatoria</b>
A	Estándar	No	Adicional	Adicional	Adicional
B	Estándar	Estándar	Adicional	Adicional	Adicional
C	No	Estándar	No	Adicional	Adicional

La amplia variedad de eventos reportados en diferentes estudios pueden simplificarse en tres tipos de transitorios:

- a. Ondas oscilatorias (ring wave), las de mayor frecuencia tienen una capacidad limitada de energía pero presentan altos voltajes, mientras que los de menor frecuencia tienen mayor capacidad de energía pero voltajes de menor amplitud.
- b. Transitorios de alta energía de diversas formas de onda (combination wave), asociados con descargas atmosféricas cercanas, operación de fusibles o conmutación de capacitores.
- c. Ráfagas de transitorios muy rápidas (EFT), asociadas a conmutaciones de cargas locales de baja energía pero capaces de producir interferencia o bloqueo de la operación de equipo sensible.

Las dos formas de onda recomendadas por la IEEE para el diseño de sistemas de protección son las ondas oscilatorias de 100 kHz (ring wave) y la onda combinada de 1,2/50  $\mu$ s y 8/20  $\mu$ s.

#### **5.3.6.1 Ondas oscilatorias (100 kHz ring wave)**

Las mediciones en campo y en laboratorio indican que la mayor parte de los transitorios de voltaje que se propagan en los sistemas de baja tensión en instalaciones interiores tienen formas de onda oscilatorias.

Cuando un transitorio impacta en un sistema, aun cuando originalmente sea unidireccional, excita las frecuencias naturales de resonancia del sistema, generándose transitorios de diferentes amplitudes y formas de onda, teniendo estos transitorios frecuencias de oscilación que se ubican en el rango de 1 kHz, asociadas a conmutación de capacitores, a 500 kHz causadas principalmente por oscilaciones locales.

En este tipo de ondas la relación nominal del voltaje pico de circuito abierto con la corriente pico de corto circuito definen la impedancia efectiva, especificándose  $12 \Omega$  para simular los entornos de la categoría de localización B y  $30 \Omega$  para la categoría de localización A.

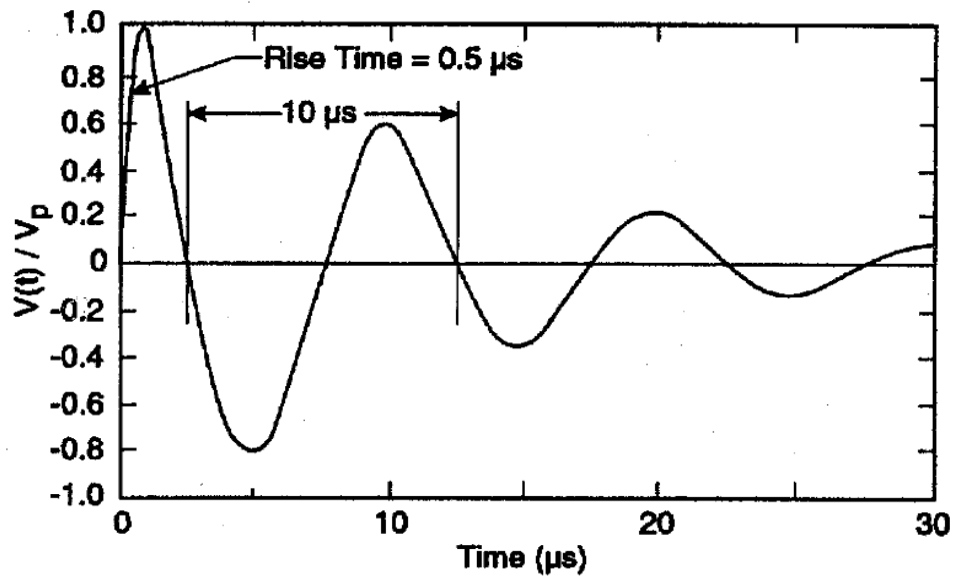


Figura 5.24 Onda oscilatoria de 100 kHz. <sup>[1]</sup>

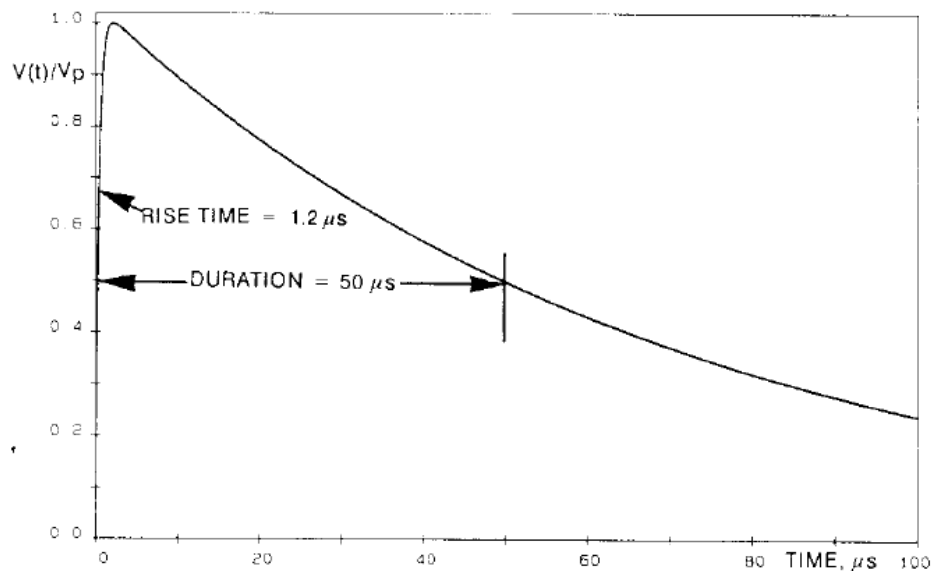
Entre los efectos dañinos a los que pueden inducir este tipo de eventos están las fallas a ciertos dispositivos semiconductores sensibles a altas derivadas de tensión  $dv/dt$ , esto por las razones de crecimiento rápidas en el frente de la onda oscilante, particularmente cuando estos dispositivos están en la transición de los estados de conducción.

La amplitud del voltaje pico puede producir la ruptura del aislamiento en equipos y componentes conectados, aun si la energía involucrada en la onda de 100 kHz es pequeña.

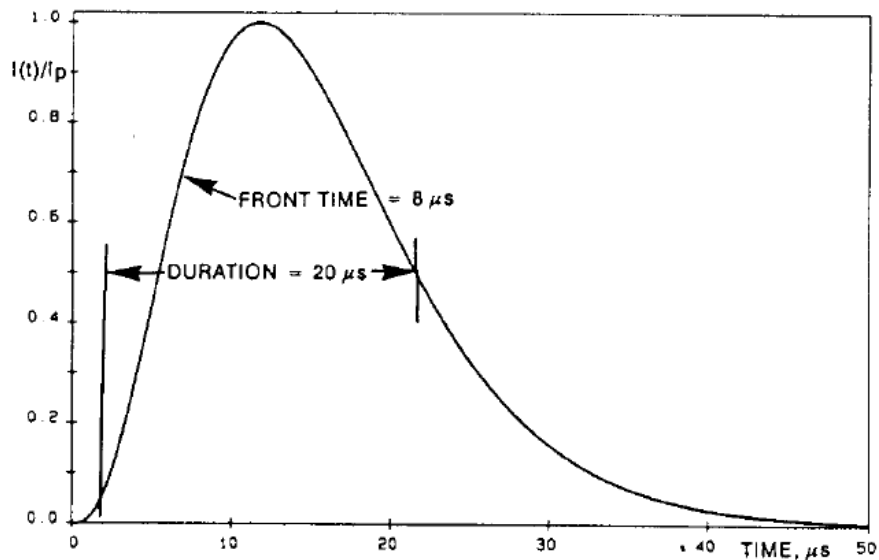
### 5.3.6.2 Forma de onda combinada

La norma detalla que experiencias de campo muestran que diversos dispositivos de protección contra transientes, con capacidades limitadas de manejo de corriente e instalados en la acometida han fallado repetidamente, mientras que cuando el mismo dispositivo es instalado adentro de la instalación opera adecuadamente.

Por esta razón se aplica el estudio a las formas de onda causadas por rayos en sistemas con líneas de distribución aéreas. A este tipo de eventos se les conoce como ondas combinadas, las cuales dentro de la norma IEEE C62.41-1991, son representadas por dos formas de onda, una de voltaje de circuito abierto y la otra de corriente de corto circuito, mostradas en las figuras 5.25 y 5.26 respectivamente. En este tipo de formas de onda, la relación nominal del voltaje pico de circuito abierto con la corriente pico de corto circuito es de  $2 \Omega$  para todos los niveles de severidad.



**Figura 5.25** Onda combinada de voltaje de circuito abierto. <sup>[1]</sup>



**Figura 5.26** Onda combinada de corriente de corto circuito. <sup>[1]</sup>

Estas formas de onda son una simplificación apropiada del ambiente cercano en las acometidas de construcciones conectadas a sistemas de distribución con líneas aéreas, teniendo una capacidad substancial de energía para provocar esfuerzos al equipo conectado.

### 5.3.6.3 Selección de los valores pico de las formas de onda

La norma en estudio establece una guía para la selección apropiada de parámetros como picos de corriente y de tensión esperados para los transitorios antes mencionados, según las categorías de localización del apartado 5.3.5 y los niveles de exposición del sistema analizado.

**Tabla 5.6 Onda oscilatoria estándar 0.5 $\mu$ s - 100 kHz.** [1]

Voltajes y corrientes transitorias esperadas en categorías de localización A y B para exposiciones Baja, Media y Alta.

Modos monofásicos: L-N, L-G y [L&N]-G

Modos polifásicos: L-L, L-G y [L's]-G

Categoría de Localización	Exposición del Sistema	Voltaje kV	Corriente kA	Impedancia Efectiva $\Omega$
A1	Bajo	2	0.07	30
A2	Medio	4	0.13	30
A3	Alto	6	0.2	30
B1	Bajo	2	0.17	12
B2	Medio	4	0.33	12
B3	Alto	6	0.5	12

**Nota:** La onda oscilatoria no se considera para la categoría de localización C.

**Tabla 5.7 Onda combinada estándar 1.2/50 $\mu$ s - 8/20 $\mu$ s.** [1]

Voltajes y Corrientes Transitorias Esperadas en Categorías de Localización B y C para exposiciones Baja, Media y Alta.

Modos monofásicos: L-N, L-G y [L&N]-G

Modos polifásicos: L-L, L-N, L-G y [L's]-G

Categoría de Localización	Exposición del Sistema	Voltaje kV	Corriente kA	Impedancia Efectiva $\Omega$
B1	Bajo	2	1	2
B2	Medio	4	2	2
B3	Alto	6	3	2
C1	Bajo	6	3	2
C2	Medio	10	5	2
C3	Alto	20	10	2

Con base en lo especificado anteriormente y partiendo del hecho de que la zona de estudio fue clasificada en un entorno con un grado de exposición media, es claro que para la central telefónica de San José los supresores de transientes deben de soportar valores pico de corriente de 0.13 kA y 0.33 kA, para las categorías A y B respectivamente y de voltaje de 4 kV para ambos casos. Esto según los datos de la tabla 5.6.

Los valores de voltaje y corriente para las categorías B y C, según la tabla 5.7, que deben de soportar los dispositivos a instalar en el sistema de protección, son para la categoría B de 2 kA y 4kV y para la categoría C de 5 kA y 10 kV.

**Tabla 5.8** Características de los TVSS para la central telefónica de San José.

Categoría de Localización	Exposición del Sistema	Voltaje kV	Corriente kA
A2	Medio	4	0.13
B2	Medio	4	2
C2	Medio	10	5

En el proceso de búsqueda de la información, se encontró un proveedor de este tipo de dispositivos de protección que cuenta con una aplicación para la selección correcta de los supresores. En esta aplicación se deben seleccionar los parámetros que correspondan a los de la central de San José, los cuales dan como resultado el código del producto que esta compañía recomienda, que cumple con las especificaciones anteriormente ingresadas.

IEEE C62.41

APT SPD Base Model	Peak Amps per Phase (kA)	SPD Type	Standard Features
XAS30	300	1	I-n=20kA, Modular, LEDs, Alarm, Contacts, Filter
XAS20	200	1	I-n=20kA, Modular, LEDs, Alarm, Contacts, Filter
XAS15	150	1	I-n=20kA, Modular, LEDs, Alarm, Contacts, Filter

**Figura 5.27** Resultados obtenidos de la página de internet [www.apttvss.com](http://www.apttvss.com) para la categoría de localización C.

IEEE C62.41

APT SPD Base Model	Peak Amps per Phase (kA)	SPD Type	Standard Features
XAS20	200	1	I-n=20kA, Modular, LEDs, Alarm, Contacts, Filter
XDS15	150	1	I-n=20kA, Non-Modular, LEDs
XCS10	100	1	I-n=20kA, Non-Modular, LEDs

**Figura 5.28** Resultados obtenidos de la página de internet www.apttvss.com para la categoría de localización B.

IEEE C62.41

APT SPD Base Model	Peak Amps per Phase (kA)	SPD Type	Standard Features
XCS10	100	1	I-n=20kA, Non-Modular, LEDs
SPDee	50	1	I-n=20kA, Non-Modular, LED
SPDee	50	1	I-n=20kA, Non-Modular, LED

**Figura 5.29** Resultados obtenidos de la página de internet www.apttvss.com para la categoría de localización A.

Este procedimiento se realizó con el fin de dar una idea de las características de los dispositivos a instalar en la central telefónica. Como se observa en la figura 5.27, y tomando como guía un valor de 163 kA, el cual representa la corriente máxima de una descarga atmosférica que se detectó para el Cantón Central de San José, la capacidad de corriente de descarga de los supresores de categoría C puede ser de 200 kA o 300 kA, esto para tener un rango más amplio de funcionamiento del supresor dando así más seguridad al sistema, ya que la intensidad de corriente generada por un rayo no es un dato que se pueda definir de manera exacta. Resaltando de lo anterior que a mayor capacidad de supresión menor velocidad de conmutación del supresor.



Asimismo, con la intención de tener un esquema de protección en donde el primer elemento del sistema de protección (desde la acometida hasta las cargas finales) tenga un nivel de protección más alto que los subsecuentes, la selección de la corriente nominal de descarga de los supresores de categoría B, fue de 200 kA y para la categoría A de 100 kA.

Los valores de rangos de voltaje de supresión (SVR) o “clamping voltage” mínimos que necesitan los supresores de picos para la central telefónica de San José son los indicados por la norma UL 1449 2<sup>DA</sup> Edición, revelando que para los supresores de transitorios se recomienda 330 V, 400 V, 600 V en las categorías A, B, C respectivamente. Siendo este parámetro la tensión en la que un supresor de picos lleva a cabo sus tareas de extinción, tales como desvío de la línea eléctrica a tierra o absorber el exceso de energía.

Es importante recalcar que los valores antes mencionados pueden variar según el fabricante, pero lo anteriormente expuesto se establece como un rango aceptable previniendo los valores mínimos de operación de los dispositivos de protección a instalar y evaluando los peores escenarios.

Al seleccionar los dispositivos de protección se debe considerar el modo de acoplamiento del transitorio al sistema pudiendo ser:

- a. L-N: Fase a neutro para sistemas monofásicos y trifásicos.
- b. L-L: Fase a fase para sistemas monofásicos y trifásicos.
- c. L-G: Fase al conductor de puesta a tierra del equipo en sus terminales de utilización.
- d. N-G: Neutro al conductor de puesta a tierra del equipo en sus terminales de utilización.

### 5.3.7 Supresores Existentes

En el sistema de distribución eléctrica de la central estudiada, se ubicaron cuatro paneles de distribución principales. Estos paneles o tableros de distribución poseen instalados supresores de picos instalados, a los cuales se les investigó, con el objetivo de aprobar si encajaban en el diseño del sistema de protecciones, es decir, se revisaron los parámetros de operación de estos dispositivos para comprobar si eran aptos para solventar las necesidades de calidad de energía de la central telefónica.

En la siguiente tabla se muestran los datos de operación de los supresores según el fabricante.

**Tabla 5.9** Paneles de distribución que poseen supresor de picos integrado.

Piso	Nombre Tablero
Sótano	T.G.N Sótano
Piso 4	T4
Piso 7	T7
Piso 10	T10

**Tabla 5.10** Voltajes de sujeción medidos según pruebas realizadas con base a formas de onda IEEE C62.41 para el supresor HL11MA12.

Categoría A Ringwave (6kV, 200A) 100 kHz				Categoría B Ringwave (6kV, 500A) 100 kHz				Categoría C (low) Impulse (6 kV, 3 kA)				Categoría C (high) Impulse (20 kV, 10 kA)			
L-N	L-G	N-G	L-L	L-N	L-G	N-G	L-L	L-N	L-G	N-G	L-L	L-N	L-G	N-G	L-L
369	375	399		420	428	455		429	428	468		607	627	650	

Fuente: Surgelocic SPDs – Schneider Electric IEEE Testing

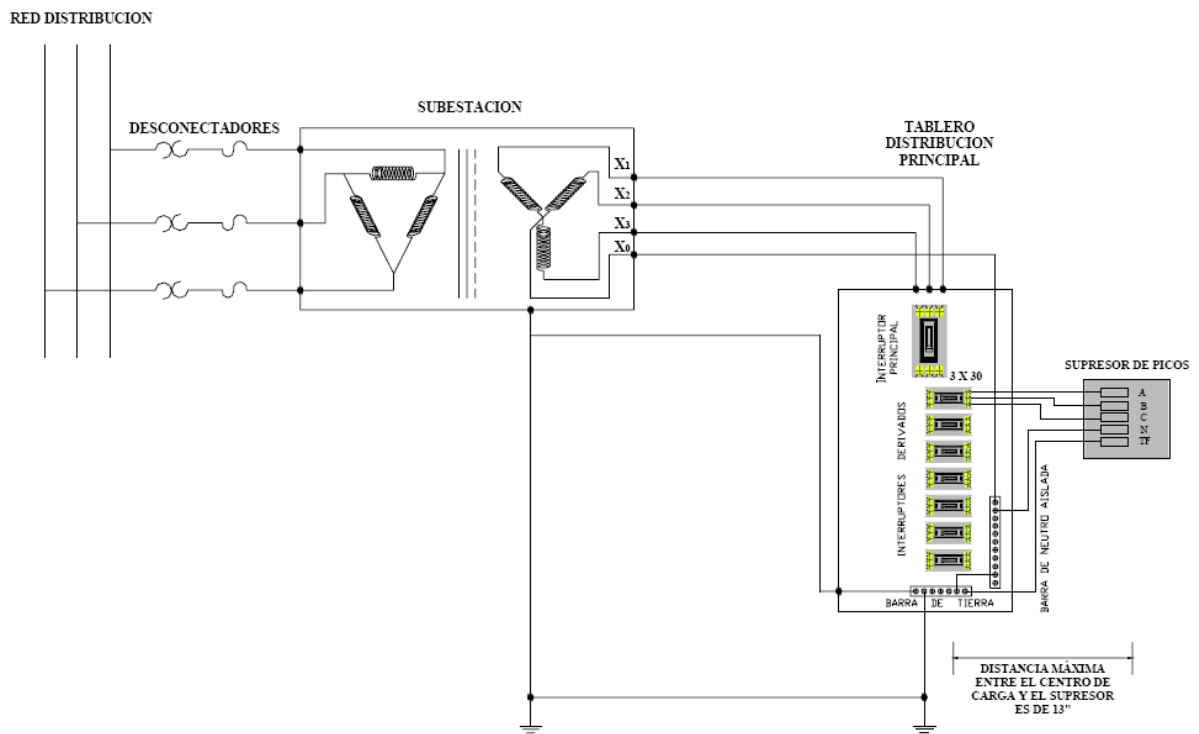
Con base en lo anterior se determina que los supresores instalados en los tableros indicados en la tabla 5.9 cumplen con las características determinadas para un buen funcionamiento en conjunto del sistema de protecciones, puesto que fueron diseñados para entornos con niveles de exposición altos y las tensiones de sujeción están dentro de los parámetros establecidos en el apartado anterior.

### **5.3.8 Criterios de instalación de supresores de transientes**

A continuación se establecen algunos criterios necesarios para una correcta instalación de dispositivos supresores de picos de tensión.

- a. Es muy importante que el supresor de transitorios esté cerca de la carga a proteger, máximo 30 cm. En caso de que el supresor esté retirado de la carga y se presente un transitorio con frente de onda muy pronunciado es posible que éste llegue al equipo sensible y lo dañe.
- b. Es importante respetar las categorías de ubicación para los supresores de transitorios en circuitos de alimentación de baja tensión. Por ejemplo, en la acometida debe emplearse uno de Categoría C como anteriormente se expuso.
- c. Es importante que los supresores cuenten con protección en modo diferencial y en modo común. La protección de modo diferencial es indispensable pero no es suficiente; se requiere de protección de modo común (ver capítulo 3).
- d. Con el propósito de evitar inductancias parasitas significativas es necesario que los supresores de transitorios se conecten con conductores tan cortos como sea posible, sin lazos, sin trenzados y sin curvas pronunciadas.
- e. Los supresores de transitorios no realizarán su función correctamente si no se instalan en forma adecuada. Por ejemplo, no podrán proteger contra disturbios de modo común si no están conectados entre un conductor de fase y la tierra.

- f. El Libro Esmeralda de la IEEE recomienda que el conductor empleado para conectar a tierra los supresores no tenga aislamiento sino que sea del tipo comúnmente usado para tales conexiones.
- g. Asimismo, esta referencia recomienda que se instalen supresores categoría B a la entrada de un UPS y a la entrada de los circuitos asociados de “bypass”. Ya que se tiene la idea errónea de que un UPS es la solución total a los problemas de calidad de energía.



**Figura 5.30** Diagrama de instalación para un supresor de transientes ubicado en tablero de distribución principal (Fuente: Internet).

## Capítulo 6: Análisis de Resultados

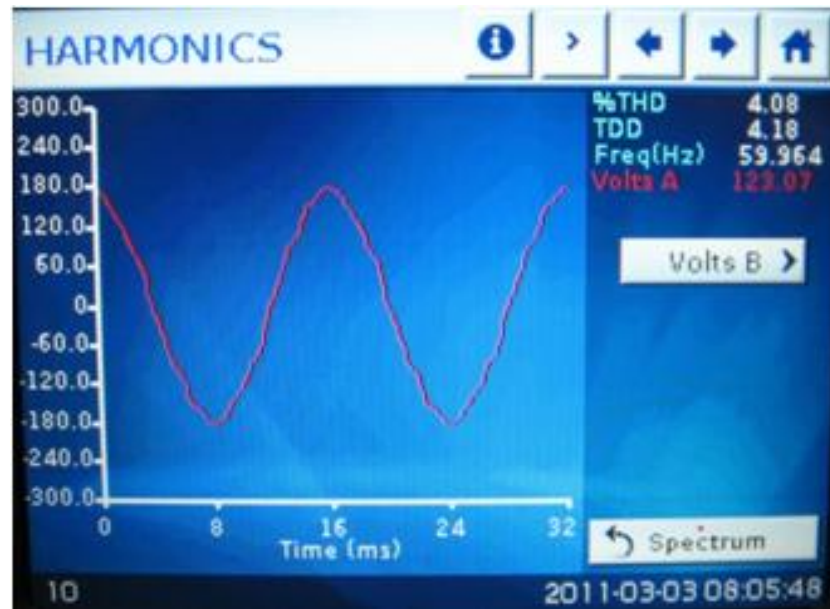
### 6.1 Resultados

En cuanto al sistema de monitorización de calidad de energía, se realizaron pruebas de rutina en cuanto a funcionalidad de los dispositivos. Estas pruebas de medición se efectuaron directamente de los aparatos así como desde varios puntos del edificio por medio de la aplicación Communicator Ext, esto para confirmar la conexión de los mismos a una PC desde algún punto remoto para la monitorización de los puntos seleccionados en la red de distribución por medio del protocolo Ethernet.

En las siguientes figuras se exponen diferentes mediciones realizadas directamente del Nexus 1500, dispositivo que está destinado a la monitorización del Tablero Gran Normal, el cual se alimenta directamente de las barras del transformador.



**Figura 6.1** Menú principal del analizador de calidad de energía Nexus 1500.



**Figura 6.2** Forma de onda de armónicos de la fase A utilizando el analizador de calidad de energía Nexus 1500.

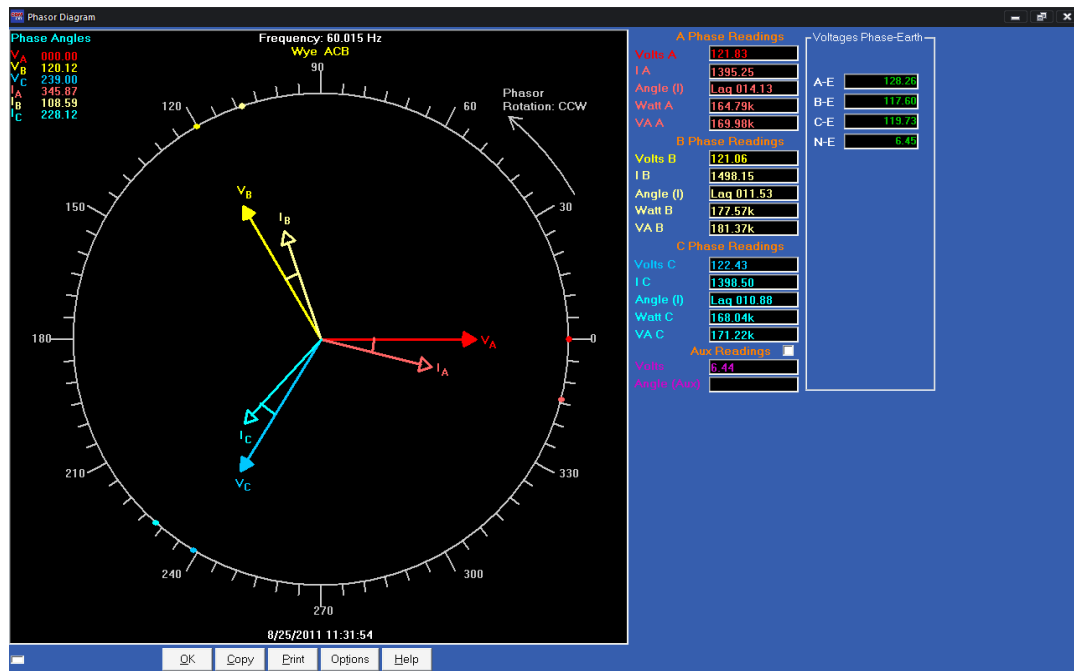
Este procedimiento también se realizó con los instrumentos Shark 200; en la siguiente imagen se muestra la interfaz con el usuario que poseen estos dispositivos la cual es menos gráfica que el Nexus 1500. De manera que si se desea obtener alguna forma de onda o gráfico en específico de los tableros de emergencia que monitorean estos equipos se debe recurrir al Communicator Ext desde la PC.

Es importante mencionar que en estos instrumentos solamente se pueden observar datos como voltaje de fase, voltaje de línea, consumos, potencia, entre otros.



**Figura 6.3** Funcionamiento normal de los analizadores de calidad de energía Shark 200.

Una vez realizadas todas las pruebas pertinentes a los dispositivos de monitorización desde la ubicación física de los mismos, se procedió a realizar mediciones en tiempo real y reconfigurar algunos parámetros para ratificar el correcto funcionamiento de los aparatos y una buena comunicación de ellos con la PC desde cualquier localidad de donde sean ingresados. En la siguiente figura se observa una medición realizada con el Communicator Ext.



**Figura 6.4** Diagrama fasorial de la subestación eléctrica de la central telefónica de San José.

Las mediciones realizados con el Nexus 1500 y con los instrumentos Shark 200 fueron entrelazadas por medio de IP y su lectura se realizó sin problemas desde la oficina de Electromecánica ubicada en el complejo ICE en San Pedro de Montes de Oca y desde las oficinas del ICE situadas en San Francisco de Dos Ríos por Ingenieros encargados de la supervisión de la calidad de energía de las centrales telefónicas en el Valle Central.

Se optó por ubicar dentro del edificio un tablero de distribución que tuviera instalado un supresor (ver figura 6.5) con características similares a las que fueron establecidas en el capítulo 5. Con ayuda de este supresor, se obtuvieron los resultados de medición del sistema que se instaló en el mismo panel de distribución que tiene equipo productor de transitorios: el motor de un ascensor y varias unidades de aire acondicionado. Así se pudo verificar la efectividad del mismo bajo funcionamiento normal.



Las características del supresor seleccionado se muestran en la tabla 6.1,

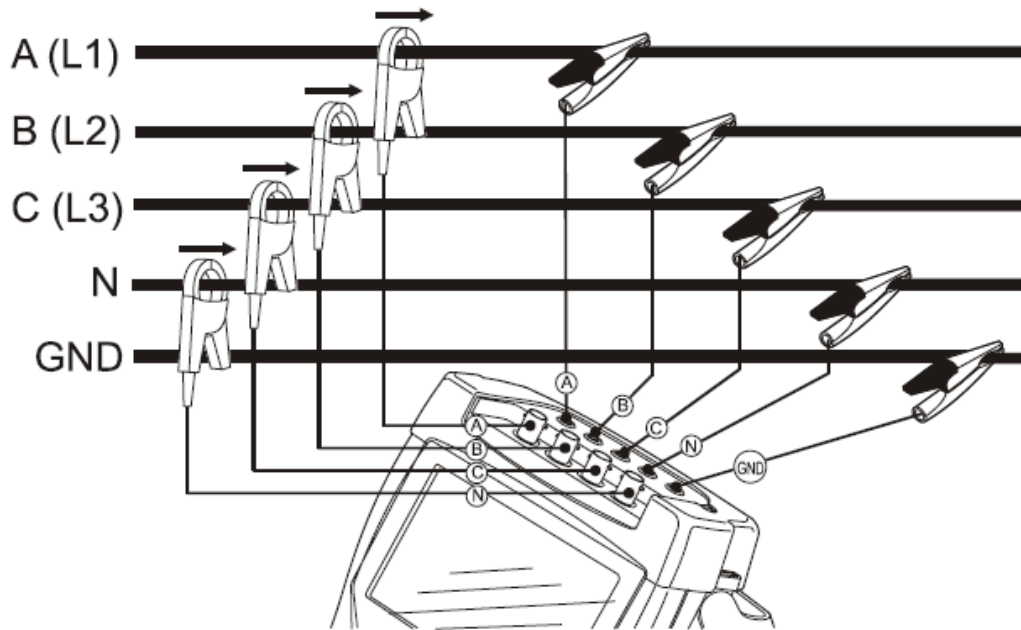
**Tabla 6.1** Características del supresor marca Hubbell modelo HBL4P160 instalado en el tablero TE C 2. <sup>[13]</sup>

Características del supresor	Especificaciones Técnicas
Pico de capacidad de corriente	160 kA
Supresión máxima de corriente por fase	160 kA
UL Clamping Voltage	400V
ANSI/IEEE C62.41 Clamping Voltage Category A3 200A (Ringwave)	364V
ANSI/IEEE C62.41 Clamping Voltage Category B3 500A (Ringwave)	480V
ANSI/IEEE C62.41 Clamping Voltage Category C1 3000A (Impulse)	560V
Frecuencia	50/60/400 Hz



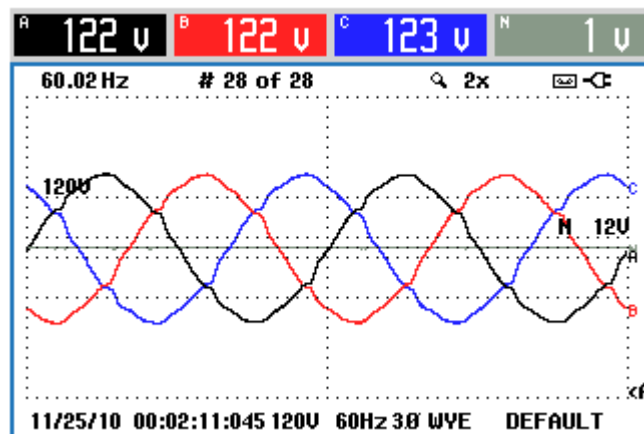
**Figura 6.5** Supresor de picos Hubbell HBL4P160. <sup>[13]</sup>

Las mediciones en este tablero se realizaron con el FLUKE 435, siguiendo la configuración de conexión que se muestra en la figura 6.6.



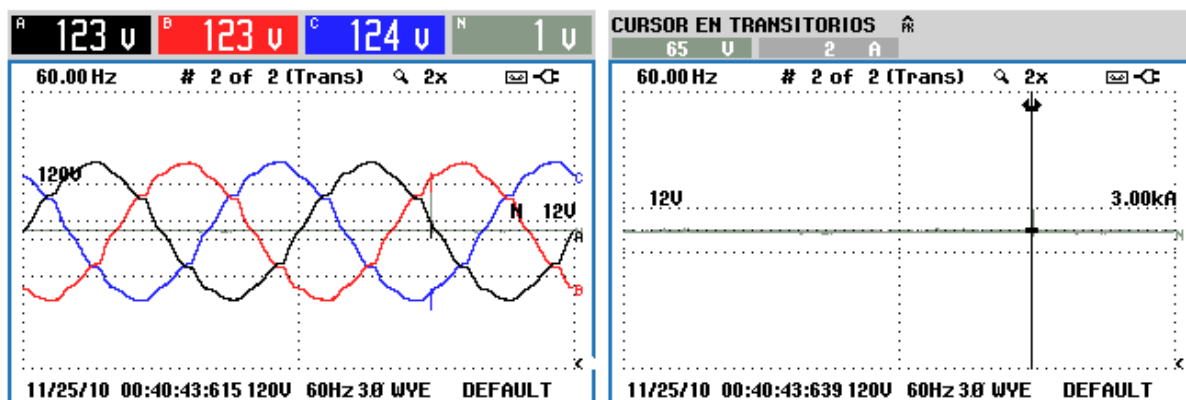
**Figura 6.6** Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico. <sup>[5]</sup>

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las formas de onda de tensión presentes en el tablero TE C 2.



**Figura 6.7** Formas de onda de tensión del tablero TE C 2 ubicado en el sótano de la central telefónica de San José.

Al igual que los resultados obtenidos en el apartado 5.3.4, referidos a los niveles de exposición del entorno en estudio. En la siguiente figura se muestra como una sobretensión generada por equipo de enfriamiento en el tablero TE K IP 1 ubicado en el piso 4 del edificio se filtra en la red de distribución hasta llegar al tablero TE K IP 1A en el cual se haya conectado equipo eléctrico y electrónico sensible como lo son rectificadores de tensión que alimentan los dispositivos de la red avanzada de internet.



**Figura 6.8** Eventos transientes registrados en el tablero TE K IP 1A ubicado en el piso 4 de la Central Telefónica de San José.

## 6.2 Análisis de Resultados

En las primeras imágenes de la sección de resultados se observa un correcto funcionamiento del sistema implementado para la monitorización de la calidad de energía de la central de San José. Los dos tipos de pruebas realizadas para comprobar el desempeño de los instrumentos de medición fueron satisfactorias. Se comprobaron tanto las mediciones realizadas en el sitio de los dispositivos como desde la aplicación en la PC con el analizador FLUKE obteniendo datos numéricos de las diferentes características de los sistemas de potencia prácticamente iguales (con diferencias en el segundo y tercer decimal de los datos) descartando errores de medición en los equipos por fallas en la configuración de conexión eléctrica de los mismos así como error de cálculo en los parámetros seleccionados de los dispositivos como lo son los transductores de corriente.

En cuanto a la accesibilidad de la información almacenada por los medidores, reconfiguración de los dispositivos y mediciones en tipo real de los mismos, desde una computadora por medio de direcciones IP, no se presentaron problemas siendo exitosas estas pruebas desde varios sectores dentro del edificio al igual como desde otras instalaciones pertenecientes al Instituto Costarricense de Electricidad a varios kilómetros de la central telefónica. Con la limitante que solo dentro de la red institucional del ICE pueden ser accedidos esto por las direcciones de los servidores que les fueron asignadas.

Las pruebas realizadas al sistema de monitorización verifican una correcta instalación de los equipos de medición en los puntos principales establecidos en el diseño. Igualmente, el acceso a los datos almacenados por el analizador de calidad de energía por medio del protocolo Ethernet cumplió de esta manera con todos los objetivos establecidos para este sistema.

En la figura 6.7 se evidencia las formas de onda de tensión presentes en el tablero TE C 2 por funcionamiento normal de los equipos conectados al tablero en estudio. Para comprobar la efectividad del supresor instalado, se realizaron mediciones en este tablero durante todo un día, seleccionando un día lluvioso con posibilidad de rayería, con el objetivo de analizar todos los posibles eventos basados en el funcionamiento normal de las cargas y del entorno. También se simularon cortes de corriente y arranques de los equipos de aire acondicionado simulando posibles sucesos que se presentan en zonas de la red eléctrica de este tipo.

Al final del día los únicos eventos registrados por el analizador fueron elevaciones de la corriente, normales por demanda de energía de motores para movilización de cargas siendo el caso del ascensor, y arranque de motores y compresores en los equipos de enfriamiento. No fueron registrados eventos transientes. Comprobando así la funcionalidad de supresores de picos como los recomendados para desarrollar el sistema de protección contra disturbios y demostrando que las características determinadas en el diseño basadas en el estándar IEEE C62.41-1991 para los supresores son las correctas.

En la figura 6.8 se comprueba que los disturbios producidos por equipo productor de transitorios son filtrados en la red eléctrica de los tableros donde están conectadas cargas sensibles. El tablero TE K IP 1 posee equipos destinados al enfriamiento de las salas de internet del cuarto piso además de ser un panel de distribución para otros tableros con cargas sensibles como lo es el panel TE K IP 1A. Evidenciando de esta forma la necesidad latente de implementar un sistema apto de protección que resguarde los equipos destinados a las telecomunicaciones presentes en esta central telefónica así como la seguridad de los trabajadores dentro de la misma.

Por los motivos antes expuestos y del análisis general del diseño se deduce que se logró cumplir con los objetivos de diseño propuestos, siendo el principal logro de este proyecto demostrar la posibilidad de adaptar un sistema de protección contra transientes basado en supresores de picos al sistema de distribución eléctrica actual.

## Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

- Se logró demostrar el correcto funcionamiento de los instrumentos que conforman el sistema de monitorización de calidad de energía con base en mediciones realizadas tanto con el FLUKE 435 y con los analizadores de energía Nexus 1500 y Shark 200, demostrando así la confiabilidad del sistema.
- El sistema de monitorización y análisis de calidad de energía instalado es una herramienta que complementa el diseño del sistema de protección, ya que los datos generados en las mediciones permiten analizar la respuesta de los sistemas de protección y en caso necesario buscar mejores soluciones alternativas adaptadas a la situación que prevalece en el sitio.
- Se logró comprobar la comunicación de los distintos dispositivos de medición mediante protocolo IP con una computadora en diferentes localizaciones del país.
- Con ayuda de la curva CBEMA se logró establecer el marco de calidad de energía proporcionada a los equipos sensibles de la central telefónica por ser una referencia para ubicar el efecto que causan los transitorios en duración y magnitud.
- Se logró demostrar la eficiencia del sistema de protecciones Hubbell instalado en el sótano ya que logró eliminar los transitorios peligrosos que se presentaron en la red de distribución eléctrica durante el tiempo de observación indicado.
- Se indica que la norma IEEE C62.41-1991 empleada en el diseño del sistema de protecciones de la central telefónica demostró ser suficiente para la asignación dada.

## 7.2 Recomendaciones

- Para aumentar la confiabilidad de cada uno de los dispositivos de protección se recomienda en todos sus extremos mejorar el sistema de tierras de la central telefónica, siendo este un factor fundamental para que el sistema funcione correctamente.
- Se necesita reestructurar el sistema de distribución eléctrica reubicando algunos consumidores, como por ejemplo, las unidades de aire acondicionado, para que los dispositivos electrónicos sensibles no se vean afectados directamente por estos equipos productores de transitorios.
- Es importante realizar un estudio al sistema de pararrayos existente, para medir su resistividad y asegurar su efectividad cuando sea necesario.
- Se recomienda climatizar la zona donde se encuentran los analizadores de calidad de energía, puesto que estos dispositivos están muy cerca de la subestación; lugar en donde la temperatura es muy alta y puede afectar a mediano y largo plazo el correcto funcionamiento de estos equipos.
- Cuando se realice cualquier mejora o cambio en el sistema de distribución eléctrica de la central telefónica de San José, se recomienda acatar el procedimiento descrito en el capítulo 5 de este informe, para determinar las características correctas de los dispositivos de protección e instalarlos en los nuevos tableros de carga, en los circuitos finales y en los paneles de distribución.



## Bibliografía

- [1] IEEE C62.41-1991, IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits.
- [2] IEEE STD 1100-1999, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment, Emerald Book.
- [3] Norma Técnica Colombiana NTC 4552-1, Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos).
- [4] Catalogo CITEL. Edición 8.1 Diciembre 2010.
- [5] FLUKE 435. Three Phase Power Quality Analyzer. Manual de Uso.
- [6] Shark 200 y 200T, Medidor de electricidad multifunción de alto desempeño de bajo costo, Manual de Instalación y Operación, Electro Industries/Gauge Tech.
- [7] Communicator Ext, Software for Windows. User Manual, Version 1.36, Electro Industries/Gauge Tech.
- [8] Nexus 1500, RTU Power Quality Revenue Meter, Installation and Operation Manual, Version 1.03, Electro Industries/Gauge Tech.
- [9] Catalogo Superior Electric, Serie TVSS Stabiline Supresores de voltaje.
- [10] Paper, Cascade Protection with Transient Voltage Surge Suppressors (TVSS) in Variable Speed Drive for Electro-Submergible Pumps, F. Bustamante, J. Biternas, J. Borjas, L. Viloría, J. Edwards, and J. Chavez.
- [11] Resumen Anual Descargas Atmosféricas 2010. C.S Estudios Básicos de Ingeniería del ICE.
- [12] Voltaje de sujeción, sitio web:  
<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/clamping+voltage>, visitado 27 de abril de 2011.
- [13] Supresor de picos Marca Hubbell, sitio web:  
<http://www.hubbellcatalog.com/wiring/datasheet.asp?FAM=powerquality&PN=HBL4P160>, visitado el 20 de mayo de 2011.
- [14] Advance Protection Technologies, selección de supresores, sitio web:  
<http://www.apttvss.com>, visitado el 13 de junio de 2011.

[15] Historia Grupo ICE, sitio web: <http://infocom.ice/detodos/empresa/historia.shtml>, visitado el 5 de julio de 2011.

## Apéndices

### A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

Tm	Tiempo de establecimiento hasta el valor de cresta en una descarga atmosférica.
Th	Tiempo de caída hasta el valor de mitad de cresta en una descarga atmosférica.
Hz	Abreviación de Hertz (ciclos por segundo)
kHz	kilohertz (1000 Hz)
ms	milisegundos (0,001 s)
µs	microsegundos (0,000001 s)
ns	nanosegundos (0,000000001 s)
TVSS	Transient Voltage Surge Suppressor.
SPD	Surge Protection Device.
MOV	Metal Oxide Varistor, componente electrónico que protege a los componentes más sensibles de los circuitos contra variaciones bruscas de voltaje o picos de corriente que pueden ser originados, entre otros, por relámpagos, conmutaciones y ruido eléctrico.
TVS	Transient voltage suppression, en este caso se refiere a un tipo de diodo específicamente diseñado para recortar los transiente de voltaje entre sus terminales.
Flash	Se denomina así al total de descargas o rayos que caen por segundo en un área de 100 km <sup>2</sup> .
Nivel Ceráuno	Intensidad de tormentas producidas en una determinada región.
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
IEEE	Institute Electric and Electronical Engenniers
V	Tensión eléctrica (voltios)
kV	kilovoltios (1000V)

A	Intensidad de corriente (Amperios)
kA	kiloamperios (1000 A)
Z	Impedancia
T.G.N	Tablero Gran Normal. Forma parte del sistema de distribución eléctrica de la central telefónica de San José alimentado directamente de las barras del transformador. Sus derivaciones son conocidas como TN.
T.G.E	Tablero Gran Emergencia. Forma parte del sistema de distribución eléctrica de la central telefónica de San José alimentado de la transferencia automática. Sus derivaciones son conocidas como TE C, TE K y TE K IP, para las plantas generadoras Cummins, Kohler 180kW y Kohler IP respectivamente
CT	Current Transductor. Dispositivo utilizado para medir grandes corrientes estableciendo una escala entre la corriente medida y corriente de salida del mismo.

## A.2 Mediciones

En el siguiente bloque de figuras se muestra el resultado de las mediciones realizadas en los pisos de la central telefónica de San José, con el fin de identificar las zonas en donde se presentan eventos transientes por funcionamiento normal de los diferentes equipos conectados a la red eléctrica.

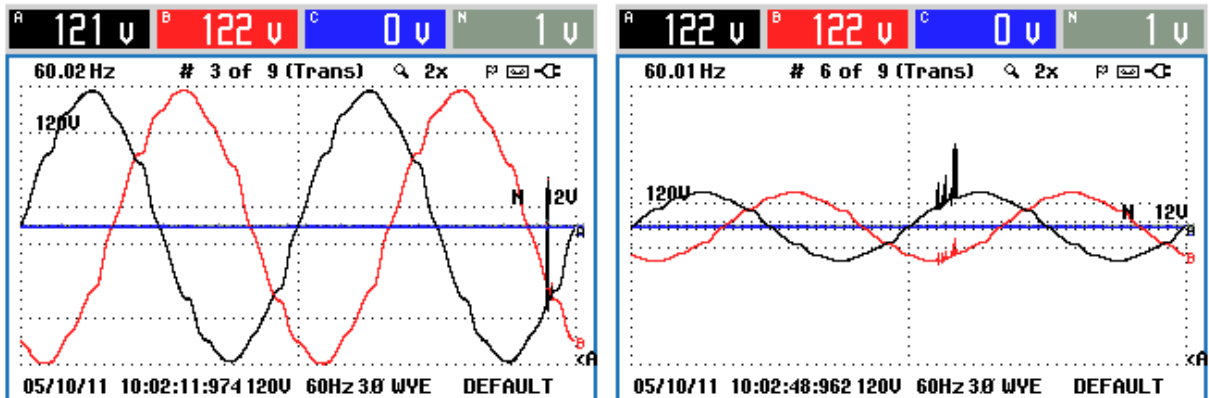


Figura A.2.1 Eventos transientes registrados en el tablero TN 4 G1 ubicado en el piso 8 de la Central Telefónica de San José.

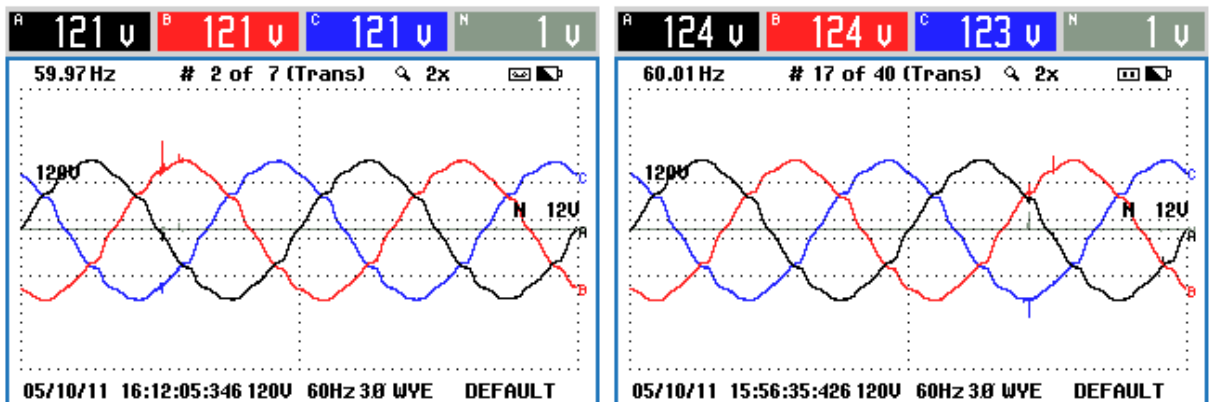
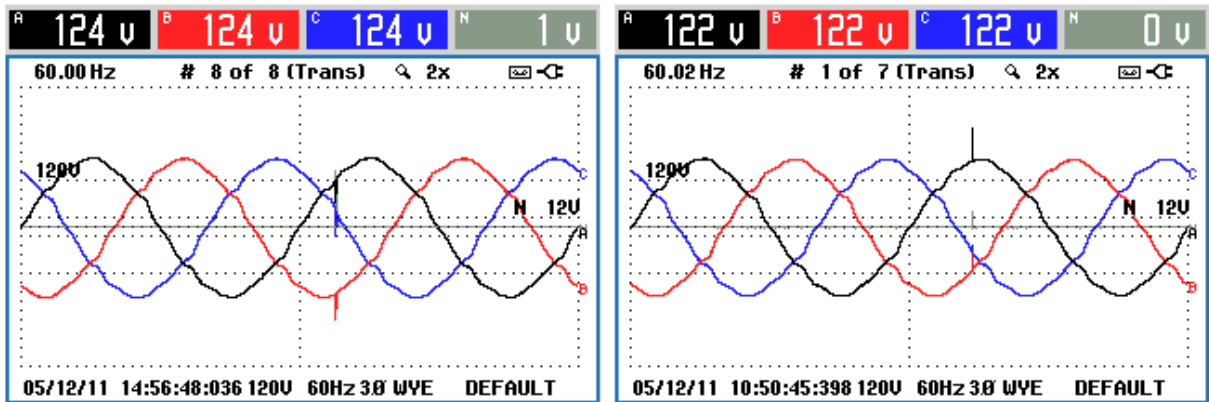
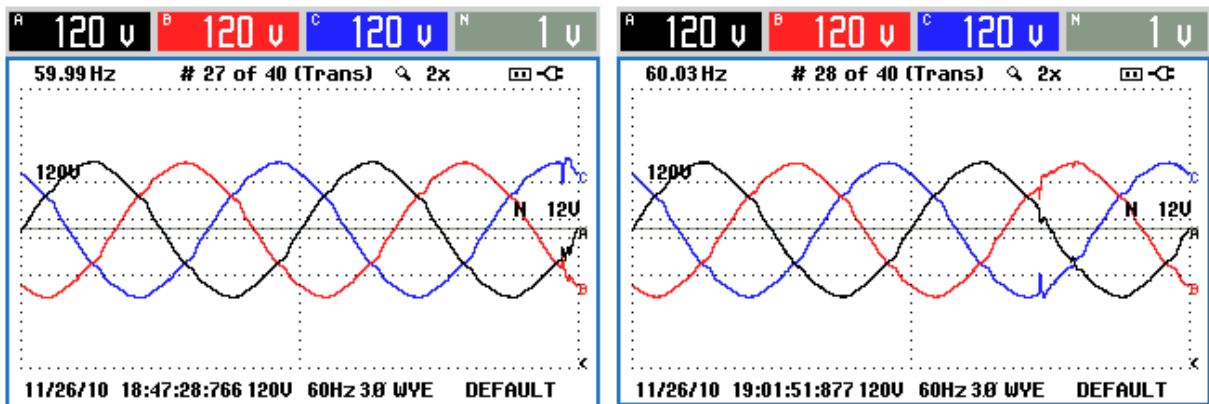


Figura A.2.2 Eventos transientes registrados en el tablero TE K ubicado en el piso 6 de la Central Telefónica de San José.



**Figura A.2.3** Eventos transientes registrados en el tablero de Ductos ubicado en el piso 5 de la Central Telefónica de San José.

En la siguiente figura se muestran dos transitorios por funcionamiento normal del sistema de agua helada.



**Figura A.2.4** Eventos transientes registrados en el tablero T10 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José.

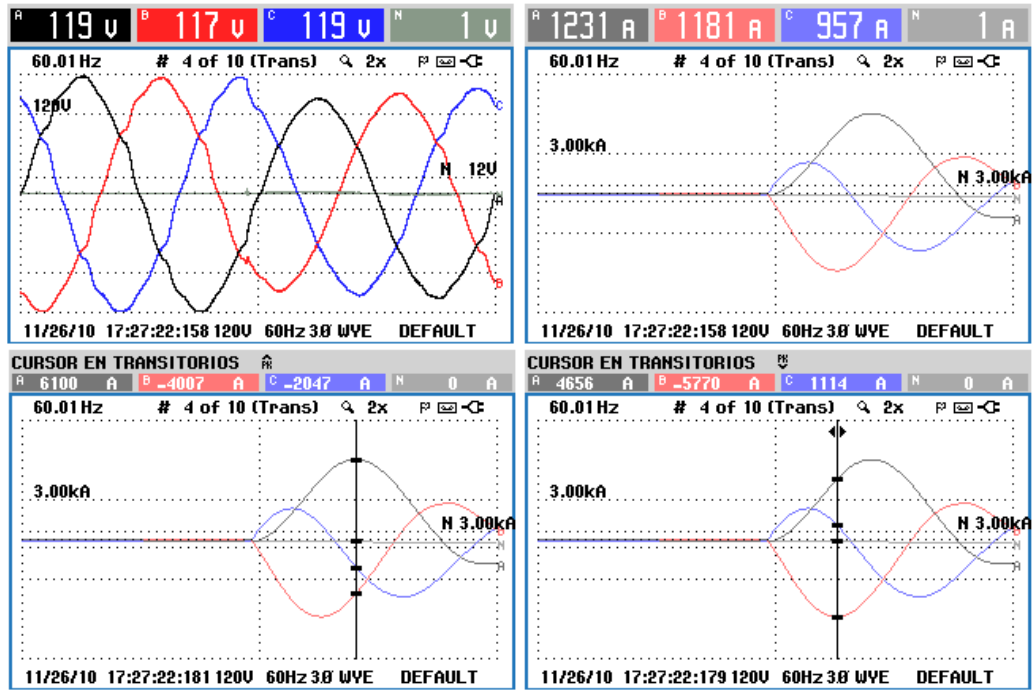


Figura A.2.5 Eventos transientes registrados en el tablero T10 ubicado en el piso 10 de la Central Telefónica de San José.

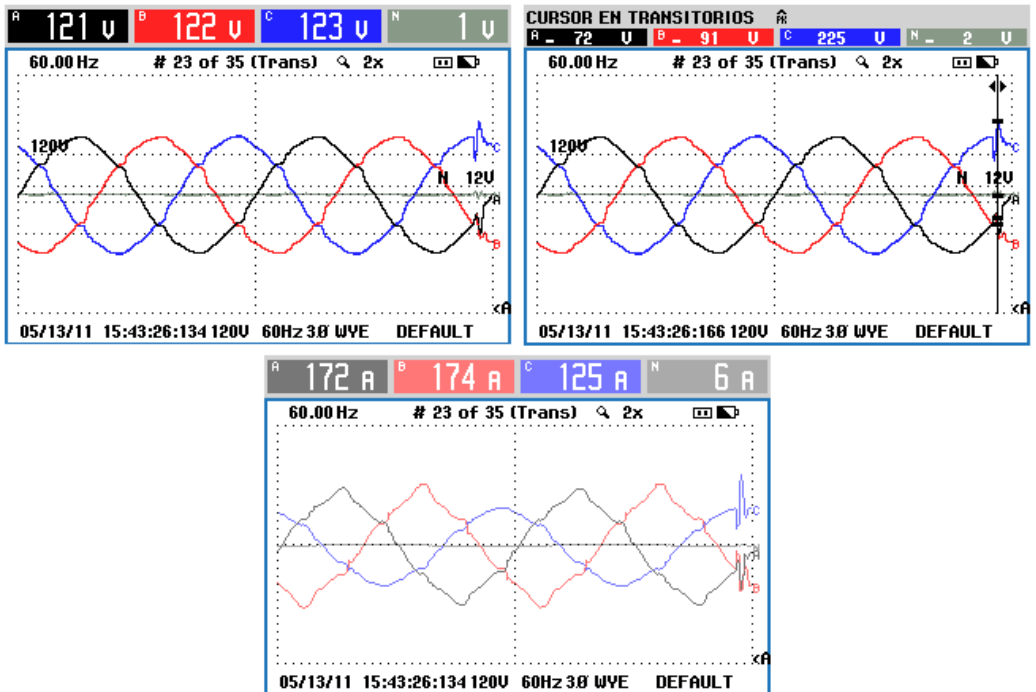


Figura A.2.6 Eventos transientes registrados en el tablero TE K IP 1 ubicado en el piso 4 de la Central Telefónica de San José.

### A.3 Categorías de localización

En las siguientes tablas se exponen las diferentes categorías de localización para los tableros del sistema de distribución eléctrica de la central telefónica de San José.

**Tabla A.3.1** Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 10 de la central telefónica de San José.

Tablero	Tipo de Cargas	Categoría Localización IEEE
TN 2	Ascensor y equipo de A/C	B

**Tabla A.3.2** Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 9 de la central telefónica de San José.

Tablero	Tipo de Cargas	Categoría Localización IEEE
TE C 2G	Equipo de A/C	A
TE K 3	Rectificadores	A

**Tabla A.3.3** Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 8 de la central telefónica de San José.

Tablero	Tipo de Cargas	Categoría Localización IEEE
TN 4 G1	Equipo de A/C	B
Tab. LV 1 ( TEK 4 )	Equipo de A/C	A
Tab. LV 1 ( TEK 4 )	Equipo de A/C	A
TE C 6C	Proyecto Ring Back Tone	A
TE C 6D	Gateway de contenido	A



**Tabla A.3.4** Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 6 de la central telefónica de San José.

<b>Tablero</b>	<b>Tipo de Cargas</b>	<b>Categoría Localización IEEE</b>
TN 3	Tableros	B
TE C 3	Tableros y equipos de A/C	B
TE K	Tableros y equipo de A/C	B
TE C 2A	Equipos de A/C	B
TE C 2A	Equipo de A/C, luces, cámara externa y toma corrientes	A
Tablero 1	Equipo de A/C	A
Tablero 2	Equipo de A/C	A
Tablero 3	Equipo de A/C	A
Tablero 4	Equipo de A/C	A

**Tabla A.3.5** Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 5 de la central telefónica de San José.

<b>Tablero</b>	<b>Tipo de Cargas</b>	<b>Categoría Localización IEEE</b>
TE K IP 2	Equipo de fuerza (Rectificadores)	A
TN 3A	Equipos de A/C	A
Ductos	Equipos de A/C	B
TE K IP 1A-1	Equipo computo y monitorización	A
TE K IP 1A-1A	Equipo electrónico	A

**Tabla A.3.6** Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 4 de la central telefónica de San José.

<b>Tablero</b>	<b>Tipo de Cargas</b>	<b>Categoría Localización IEEE</b>
T UPS	Pantallas y rack de comunicación	A
TE K IP 1B	Pantallas y tablero	A
TE K IP 1	Equipos de A/C y tableros	B
TE C 4I	Equipos de A/C	A
TE K IP 1A	Equipo de fuerza (Rectificadores e inversores)	A

**Tabla A.3.7** Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 3 de la central telefónica de San José.

<b>Tablero</b>	<b>Tipo de Cargas</b>	<b>Categoría Localización IEEE</b>
TE C 4C	Equipos de A/C	B
Ductos	Equipo de A/C	A
Tab. LV	Equipo de A/C	A
TE C 4D	Equipo telecomunicaciones, luces y toma corrientes	A
TE C 5F	Equipo telecomunicaciones y gestión seguridad	A

**Tabla A.3.8** Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes al piso 2 de la central telefónica de San José.

<b>Tablero</b>	<b>Tipo de Cargas</b>	<b>Categoría Localización IEEE</b>
TE C 5D	Equipo de transmisión de datos	A
TE C 4E	Equipos de A/C	B
Ductos	Equipos de A/C	B
TE C2 E7	Equipo electrónico	A
TE C 2E	Tableros	B

**Tabla A.3.9** Categorías de localización de supresores de tensión para los tableros de distribución eléctrica pertenecientes a la planta baja de la central telefónica de San José.

<b>Tablero</b>	<b>Tipo de Cargas</b>	<b>Categoría Localización IEEE</b>
Ductos	Equipos de A/C	A
TE C 4A	Equipo presurización	A
TN 4A	Cargador de baterías planta Kohler IP	A
TE C 4G	Equipo de A/C, luces y toma corrientes	A

#### A.4 Sistema Analizador de Calidad de Energía – Resultados

En las siguientes figuras se muestran algunas mediciones realizadas el dispositivo Nexus 1500 y los instrumentos de medición Shark 200 directamente desde el sitio donde están instalados.



**Figura A.4.1** Espectro de armónicos de la fase A utilizando el analizador de calidad de energía Nexus 1500.



**Figura A.4.2** Grafico de barras de valores de corriente medidos desde el Tablero Gran Normal utilizando el analizador de calidad de energía Nexus 1500.

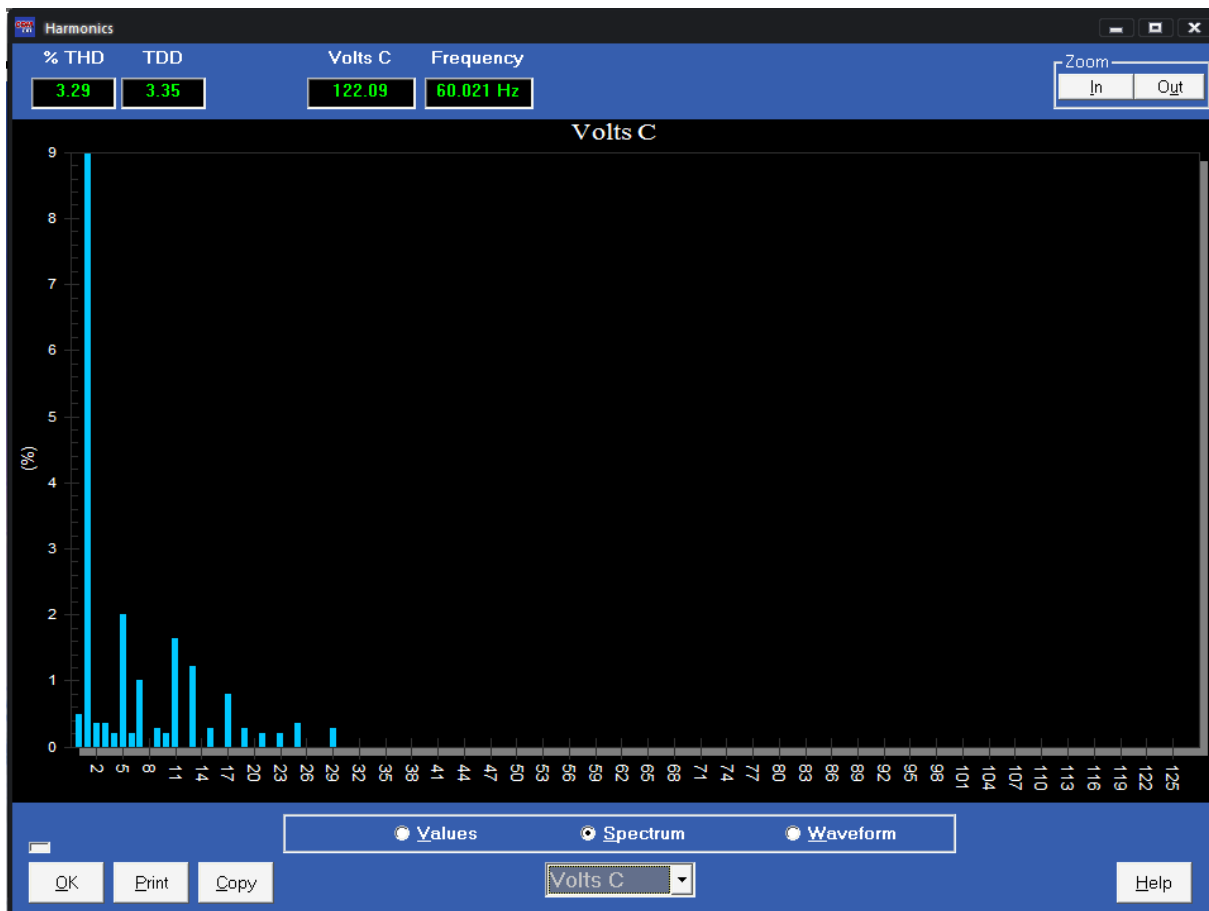


**Figura A.4.3** Medición de voltaje de línea realizada con el analizador de calidad de energía Shark 200.

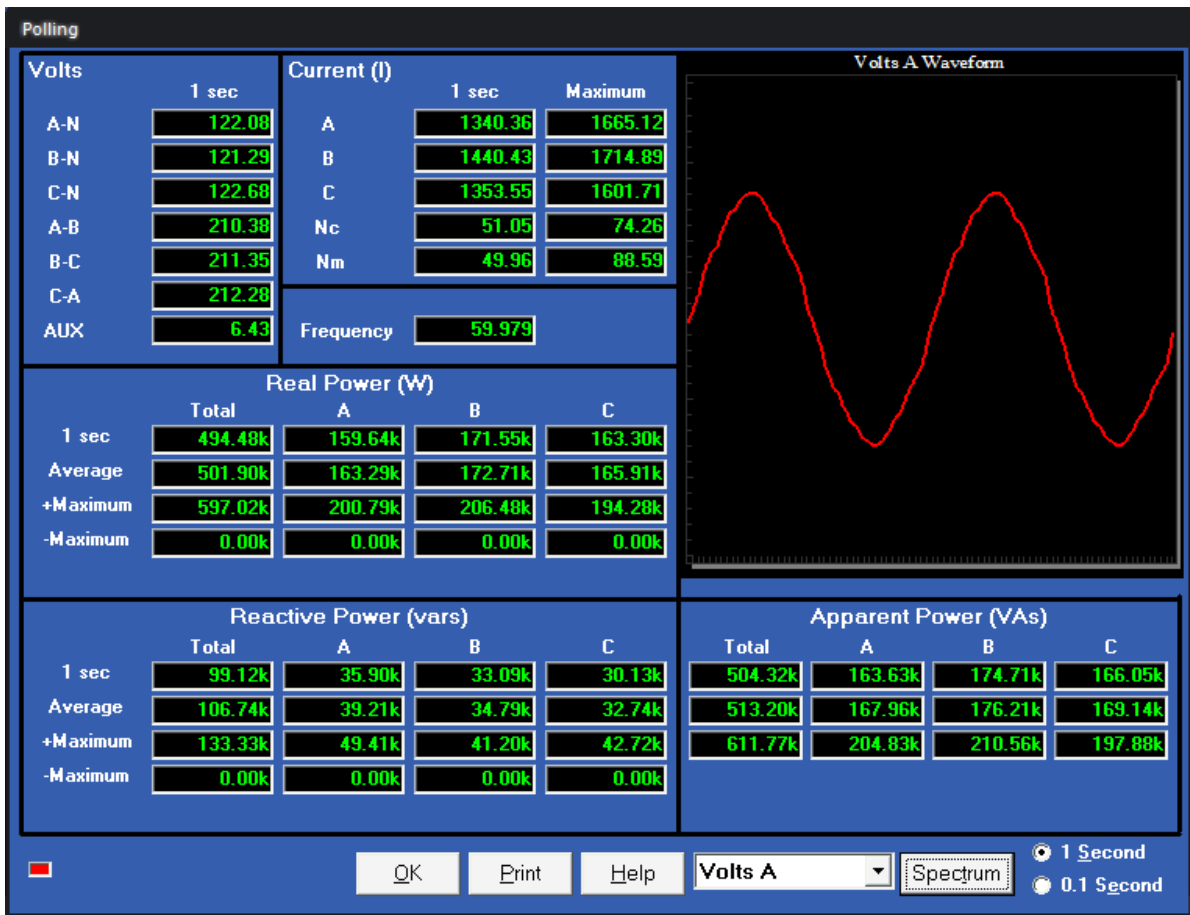


**Figura A.4.4** Medición de voltaje de línea realizada con el analizador de calidad de energía Shark 200.

La siguiente imagen muestra el espectro armónico para la fase C de la central telefónica. Medición realizada desde la oficina de Electromecanica de dicha central por medio de la aplicación Communicator Ext.



**Figura A.4.5** Armónicos de la fase C de la subestación eléctrica de la central telefónica de San José.



**Figura A.4.6** Mediciones en tiempo real de la subestación eléctrica de la central telefónica de San José.

## **A.5 Información sobre la empresa.**

### **A.5.1 Descripción de la empresa <sup>[15]</sup>**

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) fue creado por el Decreto - Ley No.449 del 8 de abril de 1949 como una institución autónoma, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Está dotado de plena autonomía e independencia administrativa, técnica y financiera. Al ICE le corresponde, por medio de sus empresas, desarrollar, ejecutar, producir y comercializar todo tipo de servicios públicos de electricidad y telecomunicaciones, así como actividades o servicios complementarios a estos.

Como objetivos primarios el ICE debe desarrollar, de manera sostenible, las fuentes productoras de energía existentes en el país y prestar el servicio de electricidad. A su vez, se encarga de desarrollar y prestar los servicios de telecomunicaciones, con el fin de promover el mayor bienestar de los habitantes del país y fortalecer la economía nacional.

Como Institución encargada del desarrollo de fuentes productoras de energía eléctrica del país, le fueron encomendadas las siguientes funciones:

- a. Solucionar el problema de la escasez de energía eléctrica del país, mediante la construcción y puesta en servicio de más plantas de energía hidroeléctrica, con sus correspondientes redes de distribución.
- b. Promover el desarrollo del país mediante el uso de la energía eléctrica como fuente de fuerza motriz.
- c. Procurar la utilización racional de los recursos naturales y terminar con la explotación destructiva e indiscriminada de estos.
- d. Conservar y defender los recursos hidráulicos del país, mediante la protección de las cuencas, fuentes, cauces de los ríos y corrientes de agua.



- e. Hacer de sus procedimientos técnicos, administrativos y financieros modelos de eficiencia capaces de garantizar el buen funcionamiento del Instituto y que sirvan de norma a otras actividades costarricenses.

Posteriormente, en 1963 y por medio de la Ley No. 3226, la Asamblea Legislativa le confirió al ICE un nuevo objetivo: el establecimiento, mejoramiento, extensión y operación de los servicios de comunicaciones telefónicas, radiotelegráficas y radiotelefónicas en el territorio nacional. Tres años más tarde, instaló las primeras centrales telefónicas automáticas y, a partir de entonces, las telecomunicaciones iniciaron su desarrollo.

Con el devenir del tiempo, ha evolucionado como un grupo corporativo de empresas estatales, integrado por el propio ICE (Sectores Electricidad y Telecomunicaciones) y sus empresas: Radiográfica Costarricense S.A. (RACSA) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. (CNFL), las cuales han trazado su trayectoria, mediante diversos proyectos de modernización desarrollados en las últimas décadas.

### **A.5.2 Descripción del departamento o sección en la que se realizó el proyecto**

El sector telecomunicaciones del grupo ICE es el encargado de brindar la mayoría de servicios en este tema al país, mediante la construcción de centrales telefónicas e instalación de todo el equipo pertinente para brindar estos servicios.

En la figura A.5.1 se muestra el organigrama institucional del Grupo ICE. El área de telecomunicaciones se subdivide en cuatro grandes secciones que son Clientes, Servicios, Gestión Sectorial y Redes y Sistemas, este último se subdivide en Desarrollo y Ejecución de Proyectos, Negocios y Redes Internacionales, Centro Nacional de Gestión de Sistemas, Infraestructura Electromecánica y Civil y Operación y Mantenimiento, siendo este último el departamento en el que se realizó el proyecto.

El departamento de Operación y Mantenimiento Electromecánico tiene como función velar por el correcto funcionamiento de los equipos destinados al enfriamiento de las diferentes salas de las centrales telefónicas en donde se encuentran los dispositivos consignados a brindar los servicios de telecomunicaciones al igual que se encarga del mantenimiento de los sistemas de distribución eléctrica dentro de las mismas edificaciones. Asimismo, una de las funciones primordiales de este departamento es mantener una alta calidad de energía para todos los dispositivos dentro de las centrales, esto con el fin de brindar un servicio ininterrumpido a los usuarios.

El Departamento de Electromecánica de la central estudiada se encuentra ubicado en el Cantón Central, Distrito Catedral de la provincia de San José. La coordinación de este departamento está ubicada en complejo San Pedro-San José del ICE, en San Pedro de Montes de Oca. A continuación se muestran los integrantes del departamento situados en San José al igual que el coordinador del mismo.

**Tabla A.5.1** Personal del Departamento de Electromecánica de la Central Telefónica de San José.

<b>Cargo</b>	<b>Nombre</b>
Coordinador Complejo San Pedro-San José. Operación y Mantenimiento Electromecánico	Ing. Hugo Sánchez Coto, MAIE
Encargado del Departamento de Electromecánica en la central telefónica de San José	Sr. Juan Carlos Brenes Salas
Técnico	Sr. Danilo Herrera Sancho



### **A.5.3 Antecedentes Prácticos**

La instalación de dispositivos de protección se ha manejado hasta el momento sin muchos criterios en cuanto a la caracterización del entorno y aplicabilidad de normativas internacionales. Por este motivo se generan errores de categorización de equipos de protección destinando dispositivos con características insuficientes para las localidades donde son instalados o por el contrario, sobredimensionados, generando un gasto innecesario en la compra de estos dispositivos.

En cuanto a trabajos realizados anteriormente relacionados con este proyecto, para el complejo de edificios del ICE ubicado en San Pedro de Montes de Oca, se realizó un estudio similar el cual determinó las características propias del sistema de protecciones contra picos de voltaje para esas edificaciones. Basándose de igual forma en la norma IEEE C62.41-1991. De esta forma, se marcó el rumbo para plantear la solución proyectada actualmente.

Aun así, se presenta la posibilidad de incursionar en un campo de acción novedoso, en el cual se tiene poca información por parte de la empresa. Es de particular interés para el ICE recopilar toda la información posible para futuros proyectos en este campo.

El proyecto a realizar cuenta con mucho apoyo al formar parte de sistema de mejora continua que el ICE pretende en el área de distribución de energía para las centrales telefónicas.