

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creado por Ley N° 25265)



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

**“CONTROL DE SOBRETENSIÓN APLICADO A EQUIPOS DE CÓMPUTO Y
TELECOMUNICACIONES, PARA PREVENIR SU DETERIORO, EN EL DISTRITO
DE PAMPAS”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
TELECOMUNICACIONES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
ROMUALDO ESCOBAR APASI**

HUANCABELICA 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
 (Creada por Ley N° 25265)
 FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, a los 24 días del mes de AGOSTO del año 2017, a horas 16:00, se reunieron: el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

Presidente: Mg. ING. ÁNGEL ALTIDÓN GLESCANO
 Secretario: MSc. JAVIER ALFREDO HERRERA MORALES
 Vocal: Mg. ING. EVERTH MANUEL RAMOS LAPA

Ratificados con Resolución N° 296-2017-UNH; del: proyecto de investigación (Tesis), Titulado: "CONTROL DE SOBRETENSION APLICADO A EQUIPOS DE COMPUTO Y TELECOMUNICACIONES, PARA PREVENIR SU DETERIORO, EN EL DISTRITO DE PAMPAS"

Cuyos autores son los graduado (s):

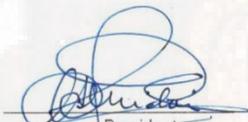
BACHILLER (S): ROMUALDO ESCOBAR APASI

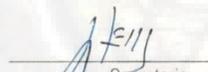
A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

Finalizado la evaluación; se invito al público presente y a los sustentantes a abandonar el recinto; y, luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al siguiente el resultado:

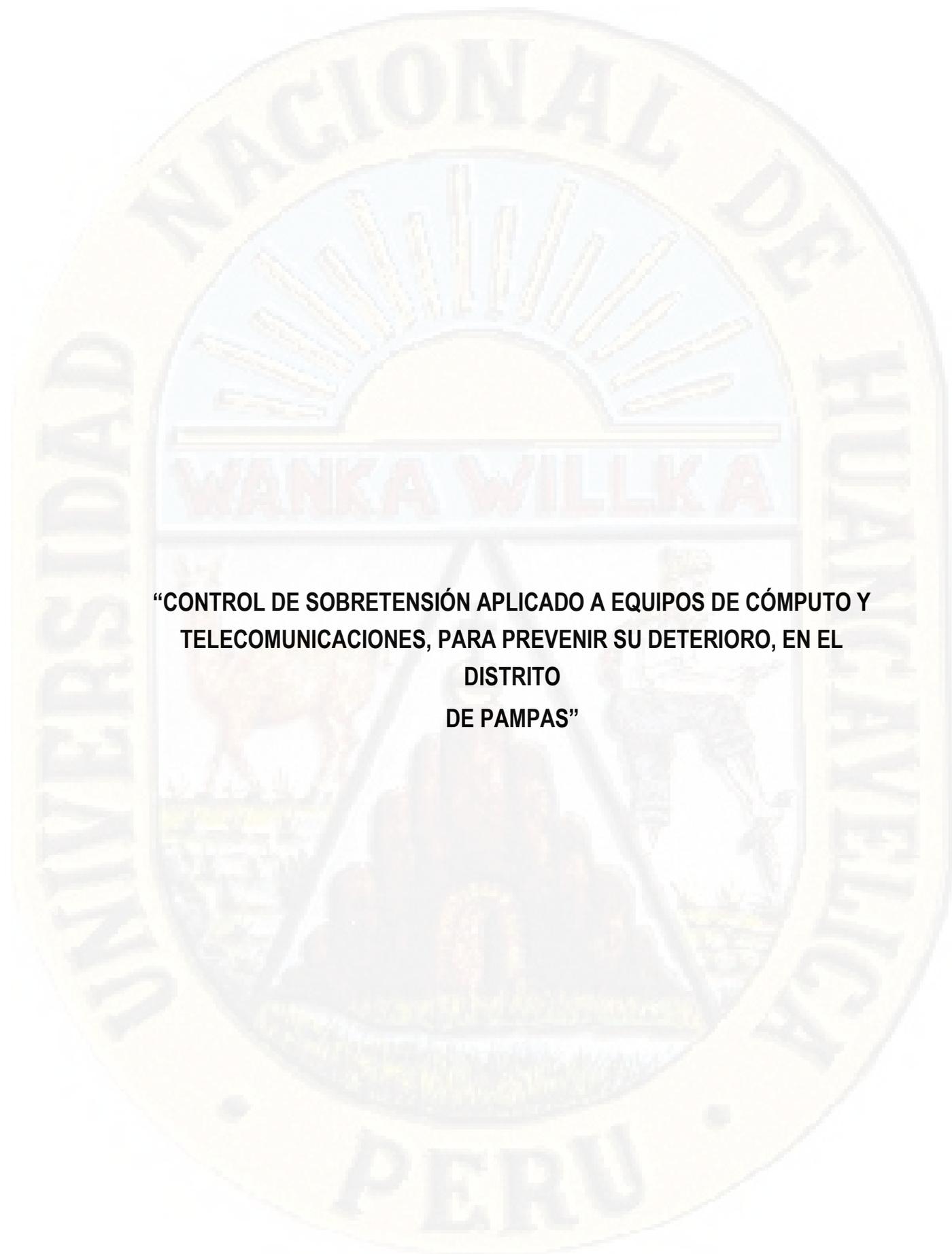
APROBADO POR MAYORIA
 DESAPROBADO

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.

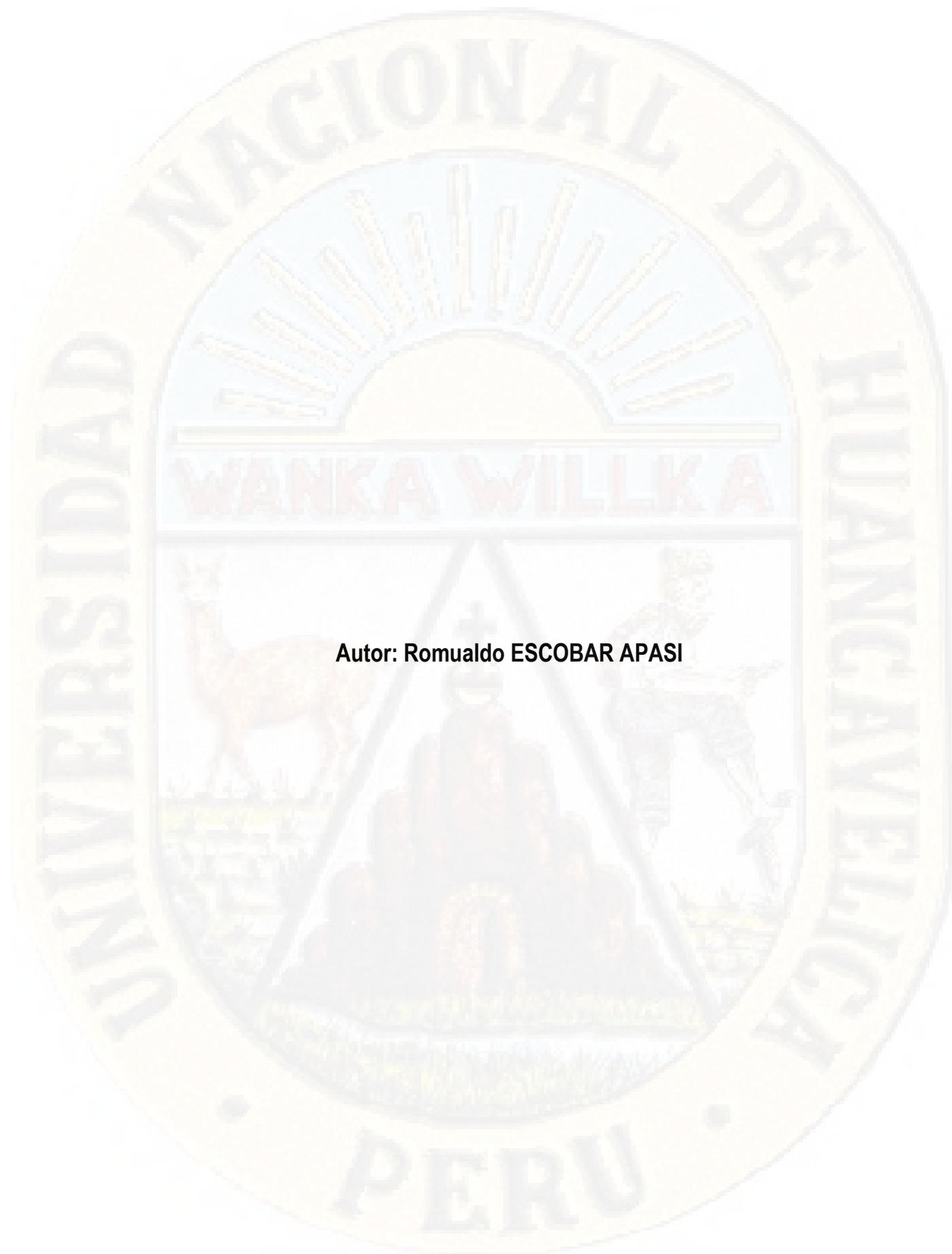

 Presidente


 Secretario

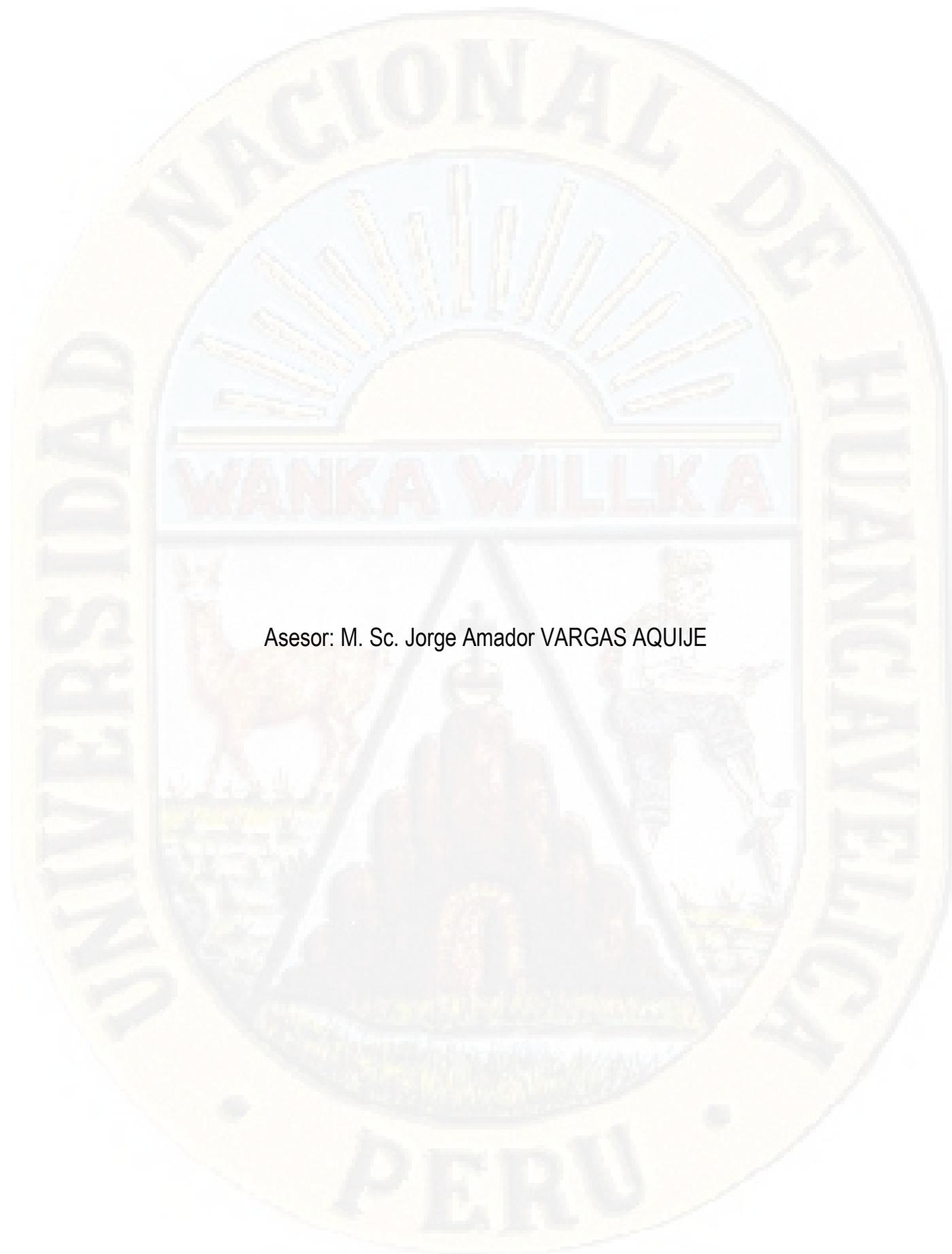

 Vocal



**“CONTROL DE SOBRETENSIÓN APLICADO A EQUIPOS DE CÓMPUTO Y
TELECOMUNICACIONES, PARA PREVENIR SU DETERIORO, EN EL
DISTRITO
DE PAMPAS”**



Autor: Romualdo ESCOBAR APASI



Asesor: M. Sc. Jorge Amador VARGAS AQUIJE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creado por Ley N° 25265)



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

**“CONTROL DE SOBRETENSIÓN APLICADO A EQUIPOS DE CÓMPUTO Y
TELECOMUNICACIONES, PARA PREVENIR SU DETERIORO, EN EL DISTRITO
DE PAMPAS”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
TELECOMUNICACIONES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
ROMUALDO ESCOBAR APASI**

HUANCABELICA 2017

ÍNDICE

	Pág.
Resumen	
Introducción	
CAPÍTULO I: PROBLEMA	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Formulación del Problema.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación.....	3
1.4.1 Justificación social.....	3
1.4.2 Justificación tecnológica.....	3
1.4.3 Justificación económica.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2 Bases Teóricas.....	10
2.2.1 Las descargas atmosféricas.....	10
2.2.2 El rayo.....	12
2.2.3 Sobretensión.....	14
2.2.4 Transitorios y sobretensiones en un sistema eléctrico de potencia	22
2.2.5 Transitorios en las líneas de transmisión.....	30

2.2.6	Características de problemas de análisis sobretensiones.....	32
2.2.7	Técnicas para combatir las sobretensiones.....	34
2.2.8	Protección de sistemas de potencia debido a sobrevoltajes causados por descargas atmosféricas.....	47
2.2.9	Protección de equipo electrónico sensible.....	50
2.2.10	Esquemas de protección contra sobretensiones.....	66
2.2.11	Prácticas recomendadas de diseño para evitar daños por sobrevoltajes.....	67
2.2.12	Prácticas recomendadas para la instalación de dispositivos protectores.....	67
2.2.13	El programa ISIS.....	72
2.3	Hipótesis.....	74
2.3.1	Hipótesis general.....	74
2.3.2	Hipótesis específica.....	74
2.4	Variables de estudio	75
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		76
3.1	Ámbito de estudio.....	76
3.2	Tipo de investigación.....	76
3.3	Nivel de investigación.....	76
3.4	Método de investigación.....	77
3.5	Diseño de investigación.....	77
3.6	Población, Muestra, Muestreo.....	78
3.7	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	78
3.8	Procedimiento de Recolección de Datos.....	79
3.9	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	79

CAPÍTULO IV: RESULTADOS	80
4.1 Presentación de Resultados.....	80
4.2 Prueba de Hipótesis.....	86
4.3 Discusión.....	87
Conclusiones.....	89
Recomendaciones.....	90
Referencia Bibliográfica.....	91
Artículo científico.....	94
Anexos	
Gráficos, cuadros, imágenes	

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Título	Pag.
2.1	Formación del rayo	11
2.2	Forma de onda de una sobretensión temporal en la fase 3	16
2.3	Ilustración de una descarga atmosférica	19
2.4	Ondas normalizadas para sobretensiones	20
2.5	Forma típica de una sobretensión atmosférica	21
2.6	Espectro de frecuencias de una onda normalizada de 1.2/50us	21
2.7	Modelos eléctricos de sobretensiones	23
2.8	Ondas normalizadas de sobretensiones	26
2.9	Transitorio típico para un bloque de masa M	29
2.10	Temperatura del arco como una función del radio	36
2.11	Principio de protección en serie	40
2.12	Principio de protección paralela	42
2.13	Curva U/I del dispositivo de protección ideal	43
2.14	Limitador de tensión	44
2.15	Protección OCPD y SPD	46
2.16	Protección en cascada de equipos	46
2.17	Sobrevoltajes producidos por inducción	51
2.18	IEEE 587 onda circular 0,5 μ seg – 100 kHz	53

2.19	IEEE forma de onda externa	54
2.20	Inicio del disparo del gap en 10 nanosegundos	56
2.21	Supresor de silicio	59
2.22	Varistor de óxido de metal	60
2.23	Métodos de protección usando fusibles	62
2.24	Acoplamiento inductivo de onda de corriente al equipo sensitivo	63
2.25	Esquema básico de protección por voltaje	66
2.26	Combinación típica de varios elementos para protección de transitorios	68
2.27	Ubicación del apartarrayos próximo a la línea de datos	70
2.28	Pantalla del programa ISIS	73
4.1	Esquema del sistema de protección para control de sobrevoltajes.	81
4.2	Transformador de 12 Vca y corriente continua	82
A1	Vista de dispositivos utilizados en la implementación del circuito	100
A2	Esquematación del circuito	100
A3	Inicio del trabajo en protoboard	101
A4	Primer plano del autor al inicio de la construcción del circuito	101
A5	Avance de la construcción del equipo de acuerdo al plano diseñado	102
A6	Vista frontal del avance del circuito básico en protoboard	102
A7	Inicio de la fase final	103
A8	Perforación de la carcasa	103
A9	Multímetro empleado en las mediciones	104
A10	Vista del equipo antes del cierre del módulo	104

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Título	Pag.
1.1	Problemas de emisoras locales a causa de descargas	1
2.1	Valores Estándar Nivel Básico de Impulso (equipo inmerso en aceite)	49
2.2	Operacionalización de las variables	75
4.1	Pruebas realizadas con un televisor LED	83
4.2	Pruebas realizadas con un radiorreceptor	83
4.3	Pruebas realizadas con una computadora personal	83
4.4	Pruebas realizadas con un transmisor FM	84
4.5	Pruebas realizadas con equipos electrónicos diversos	84
4.6	Resumen de resultados de pruebas tomadas en equipos diversos	85

CONTROL DE SOBRETENSIÓN APLICADO A EQUIPOS DE CÓMPUTO Y TELECOMUNICACIONES, PARA PREVENIR SU DETERIORO EN EL DISTRITO DE PAMPAS

RESUMEN

Los Sistemas de Protección, tienen como objetivo proteger la vida humana y equipos en general, para lo cual no debería escatimarse las inversiones en aras de proteger adecuadamente a las personas y los equipos. En la mayoría de regiones del Perú existe una fuerte incidencia de descargas eléctricas. Lo cual, eleva la posibilidad de que se sufra sobretensiones en la línea de transmisión. Estas sobretensiones pueden provocar daños en los equipos electrónicos, los cuales posteriormente podrían necesitar de mantenimiento o recambio. Para evitar ellos, se propone un sistema de protección para evitar las sobretensiones causadas por las tormentas eléctricas. Por lo que se ha diseñado y construido el circuito de protección. Este equipo funciona en base a un dispositivo que capta las señales precursoras de las descargas eléctricas, desactivando a los equipos que se encuentran conectados a él, para efectivizar la protección contra las sobretensiones. Este equipo fue sometido a una serie de pruebas en diferentes tipos de equipos electrónicos, de las cuales ha salido airoso. Por lo que ha demostrado ser una herramienta útil para prevenir el deterioro de equipos electrónicos en general.

Palabras claves: Sistema de protección, sobretensión, descargas atmosféricas.

ABSTRACT

Protection Systems, aim to protect human life and equipment in general, for which investments should be spared in order to adequately protect people and equipment. In most regions of Peru there is a high incidence of electrical discharge. Which raises the possibility that suffer overvoltage in the transmission line. These surges can cause damage to electronic equipment, which could subsequently require maintenance or replacement. To avoid them, a protection system aims to prevent surges caused by thunderstorms. As it designed and built protection circuit. This equipment operates on a device that captures the warning signs of electrical discharges, turning off the computers that are connected to it, to effect the overvoltage protection. This team underwent a series of tests on different types of electronic equipment, which has proved itself. So it has proved a useful tool to prevent deterioration of electronic equipment in general.

Keywords: system protection, overvoltage, lightning.

Introducción

Los sistemas que consumen y controlan los procesos que usan energía, están íntimamente vinculados al control, supervisión y monitoreo hecho con equipos altamente sensible a los cambios de voltaje que ocurren en los sistemas eléctricos.

Estas variaciones de voltaje tienen su origen en diversas causas las cuales pueden someter al equipo sensible a fallas irreparables que afectan al funcionamiento de todo el sistema.

Las sobretensiones son fenómenos transitorios que se originan ya sea por perturbaciones externas a la red o propia del sistema. Existen una variedad de formas para disminuir el efecto de las sobretensiones en una red; las cuales pueden variar en relación a lo que se desea proteger. Para conocer mejor el fenómeno de las sobretensiones, en las bases teóricas se muestran los resultados de diferentes estudios que tratan de ella y como podría contrarrestársela.

Por otro lado, en Pampas, el tipo de sobretensiones que más se produce es el relacionado con las descargas atmosféricas, lo cual ha producido daño en equipos sensibles conectados a la red en el momento de la descarga.

Se busca una solución al problema de las sobretensiones para la ciudad de Pampas, por ser esta una ciudad típica de los valles interandinos peruanos, con una altitud de aproximadamente 3200 msnm, lo cual la ubica en una situación muy expuesta a las descargas eléctricas; que de hecho ocurren con gran frecuencia. Aquí tratamos de hallar una solución económica que permita prevenir el deterioro de equipos de cómputo y de telecomunicaciones debido a las sobretensiones provocadas principalmente por causa de las descargas eléctricas.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los Sistemas de Protección, tienen como objetivo proteger la vida humana y equipos en general, para lo cual no debería escatimarse las inversiones en aras de proteger adecuadamente a las personas y los equipos en general.

Prácticamente todas las regiones de la sierra y de la selva parte alta del Perú tienen continuas incidencias de descargas atmosféricas. Por lo que existe un riesgo significativo de que en aquellos lugares durante la vida útil de una torre típica y del sistema de antenas sufran descargas eléctricas. Particularmente, en la región Huancavelica se tiene una incidencia de descargas atmosféricas que causan deterioro del sistema; como se aprecia en la tabla N° 1.1.

Emisoras	Año	Lugar	Causa	Tiempo de deterioro
UNH	2012 y 2014	Pampas	Descarga atmosférica	2 años
LASER	2010 y 2013	Pampas	Descarga atmosférica	3 años
PRIMICIA	2006	Pampas	Descarga atmosférica	1 año
OROPESA	2009 y 2011	Hvca	Descarga atmosférica	3 años

Tabla 1.1 Problemas de emisoras locales a causa de descargas
(Fuente: Elaboración propia)

La tecnología del control de sobretensión de voltaje aplicado a equipos electrónicos sensibles y de telecomunicación podría mitigar estos problemas. Sin embargo, en nuestro país no es muy utilizada. Es por esta razón, que se ha diseñado un mecanismo de control que mejorará la protección de los equipos electrónicos antes mencionados.

Es claro que el diseño y la implementación del sistema de protección propuesto resultarán de gran importancia para el sector dedicado a la comunicación y en general para cualquier usuario de computadoras y equipos electrónicos sensibles, por ayudarles a proteger su inversión. El diseño y la implementación de un sistema control de sobretension, mejorará notablemente asimismo, la eficiencia y rendimiento de los equipos.

En la región Huancavelica, específicamente en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería Electrónica-Sistemas de la Universidad Nacional de Huancavelica, tenía una emisora FM piloto que resultó afectada por falta de un sistema de protección de sobrevoltaje de tensión.

En tal sentido y existiendo la necesidad de la protección de picos elevados de tensión, se presenta la siguiente de investigación con el deseo de ser útiles a nuestra comunidad. Dicha implementación busca mantener adecuadamente controlada la tensión de alimentación de 220 V de la línea, para prevenir el deterioro de los equipos del sistema de transmisión.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo se puede diseñar e implementar un sistema de protección para controlar la sobretensión para prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones, en el distrito de Pampas?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida se puede diseñar un sistema de protección para controlar la sobretensión para prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones, en el distrito de Pampas?
- ¿De qué forma se puede implementar el control de sobretensión para prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones, en el distrito de Pampas?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

1.3.1.1 Diseñar e implementar un sistema de protección para controlar la sobretensión que permita prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones, en el distrito de Pampas.

1.3.2. Objetivos específicos

1.3.2.1 Diseñar un sistema de protección para controlar la sobretensión para prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones en el distrito de Pampas.

1.3.2.2 Implementar un sistema de protección para controlar la sobretensión para prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones en el distrito de Pampas.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación social

Este proyecto ayudará a todos los usuarios de equipos de cómputo y las personas dedicadas a las telecomunicaciones, permitiendo laborar con la confianza de que no se deterioren sus equipos con los cuales hacen sus diferentes labores. Con ello podrán mantener reducidos los costos de operación y se ahorrará costos en el mantenimiento de equipos.

1.4.2. Justificación tecnológica

Los dispositivos electrónicos que se utilizarán en este proyecto son accesibles en el mercado regional. Por lo que ha sido posible la construcción de un prototipo del modelo a escala para la realización de las pruebas respectivas.

1.4.3. Justificación económica

Los equipos electrónicos son muy sensibles a las sobretensiones, y podrían verse muy afectados por dicha causa. Por lo que es necesario realizar una inversión para la implementación de un sistema de protección..

Este proyecto está al alcance de todos los interesados. Especialmente, en las zonas que están más propensas a sufrir sobretensiones causadas por descargas atmosféricas. Y, por tener costos que no son muy elevados respecto a los gastos que tendrían que efectuarse para resolver los problemas ocasionados por el desperfecto de los equipos que se desea proteger; está justificada económicamente la inversión para contar con este equipo de protección.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

A continuación se describen algunos trabajos de investigación que muestran resultados relacionados al desarrollo de mi tema:

Manuel Enrique Hueste Serrano. “SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN PARA SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES”. Universidad de San Carlos de Guatemala - Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Guatemala, septiembre de 2008.

Según las estadísticas, alrededor del globo Terráqueo se forman cerca de 2,000 tormentas simultáneamente. La intensidad media mundial de la descarga de un rayo varía entre 10 kA, y 200 kA. La orografía de cada país determina el número y la intensidad de las tormentas que se producen, riesgo que varía dentro de un mismo país. En condiciones atmosféricas propicias, dadas principalmente en verano, se crea dentro de la nube una separación de cargas colocándose las negativas en la base de la nube mientras las positivas lo hacen en la parte superior. El potencial dentro de la nube es generalmente del orden de varios millones de voltios. Este efecto produce un cambio similar, pero de polaridad opuesta en la superficie de la tierra y del mismo tamaño aproximadamente.

El campo eléctrico entre la base de la nube y la superficie de la tierra situada bajo la misma, es tan alto que se crean pequeñas descargas desde la nube llamadas líderes de paso. Cuando estos líderes se acercan a la superficie de la tierra se genera un

flujo ascendente de carga positiva. Cuando el líder de carga y el flujo ascendente se encuentran se cierra el circuito con una corriente de descarga.

Los efectos producidos por las descargas atmosféricas pueden ser clasificadas como: térmicos, eléctricos, dinámicos, acústicos y químicos. La energía del rayo se transforma parcial o totalmente en calor, siendo este efecto muy importante debido al daño que produce. Debido al efecto eléctrico, sobre las líneas se generan los transitorios de corta duración pero de crecimiento rápido de cresta hasta varios kV.

Con la caída del rayo y el aumento de corriente en las líneas, aparecen fuerzas de atracción y repulsión entre las líneas de transmisión, haciendo que estas tengan contacto entre sí, describiendo lo que se conoce como efecto dinámico. El efecto acústico es identificado por el trueno; y el efecto químico se debe a la liberación de nitrógeno y ozono en la atmósfera.

Adolfo López Escamilla. "PROTECCIÓN DE EQUIPO SENSIBLE CONTRA SOBRETENSIONES". Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica - División de Estudios de Postgrado. Universidad de Nuevo León. México, 2001.

En este trabajo de investigación, el objetivo fundamental fue la protección de los sistemas eléctricos de distribución o de potencia. Los que todo el tiempo se ven expuestos a los fenómenos del sobrevoltaje en sus diferentes formas de presentación, ya sea estática, por resonancia, por conmutación, por descargas atmosféricas. Además, incluir a los modernos equipos electrónicos que son bastantes sensibles a este problema, y que de resultar dañados, los costos que representan son muy elevados. Por lo que es muy importante tener en cuenta que la protección adecuada de los mismos redundará en un diseño confiable, duradero y al menor costo posible.

En el caso de los sistemas de distribución o de potencia, la protección de los equipos contra las sobretensiones debe tener en cuenta, el valor del voltaje de operación normal. En función de esto se debe hacer una adecuada selección de la ubicación de los apartarrayos; los mismos que deben de estar próximos a los equipos a proteger.

Asimismo, el sistema de protección traerá consigo una operación continua y duradera de una subestación, pero sobre todo, el personal estará adecuadamente protegido. En cuanto a los sistemas electrónicos, éstos sistemas pueden estar expuesto a sobre voltajes de diferente naturaleza por lo que una adecuada selección de los equipos de protección para estos aparatos sensitivos, nos dará como resultado una continuidad en el servicio, evitará la destrucción de los mismos y/o la pérdida de información que se pudieran tener almacenada.

Hernández Morales, Luis Adolfo; Rodríguez García, Víctor Jair; Zamudio Gómez, Eder Bonifacio. “SISTEMA DE TIERRAS PARA EQUIPO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO”. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, México, D.F., 2009.

Esta investigación describe la implementación de la puesta a tierra de un sistema eléctrico. Es muy importante, tanto para protección del personal, así como también para el funcionamiento óptimo de los sistemas de protección y prevención del deterioro de los equipos eléctricos electrónicos. Como es conocido, una de las funciones principales de un sistema de tierra es proveer un medio de baja impedancia para disipar las corrientes eléctricas a tierra; además de proporcionar una trayectoria rápida de disipación a tierra para el neutro de los sistemas o equipos eléctricos que así lo requieran. Al llevar a cabo el diseño del proyecto en su conjunto, se mantuvo la necesidad de proveer una seguridad en la instalación que permitiera la tranquilidad y eficiencia en el trabajo de las personas que laboran en la institución para la que se realizaron tales labores.

La seguridad en la instalación eléctrica en sí, es de vital importancia. Sin embargo, de nada sirve tener el sistema de puesta a tierra más eficiente, con un valor de

impedancia a tierra cercano a cero, si no se cuenta con un sistema que te permita acceder, manipular y trasladar la información que se maneja, con la misma seguridad de respaldo y soporte. Es por ello también, que se promueve la cultura de protección con sistemas autónomos que, por medio de baterías, te permitan utilizar tu información por unos cuantos o muchos minutos, tiempo suficiente para, por lo menos, realizar un respaldo de la misma.

Alvarado López, Carlos R., Menchaca García, Edgar O., y Rojas Lara, Alfredo D. Manual de Mantenimiento de Subestaciones de Distribución del Campus Universitario, UNAM. Tesis para obtener el título de Ingeniero Eléctrico-Electrónico. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 2009.

La necesidad de trabajo o servicio en forma ininterrumpida y confiable obliga a ejercer una atención constante sobre el grupo de mantenimiento para que en caso de que se presenten problemas imprevistos, sean los menos frecuente y trascendentes posibles.

Para que los trabajos de mantenimiento sean eficaces son necesarios el control, la planeación del trabajo y la distribución correcta de las fuerzas humanas. A esto debe sumársele que el ingeniero en mantenimiento debe ser una persona con capacidad técnica y administrativa, que debe asumir la responsabilidad de aplicar la ingeniería de fiabilidad y mantenimiento. Logrando así que se reduzcan los costos, tiempo de paro de los equipos, etc.

La finalidad del mantenimiento es lograr la máxima vida económica de un edificio, equipo, sistema o producto cualquiera. Implica que es necesario, mediante la función mantenimiento, que el producto tenga la mejor fiabilidad, seguridad, operatividad y apariencia. Recordemos que barato no es lo mismo que económico, siempre son opuestos. Lo económico es hacer que los costos sean mínimos. Lo barato satisface la acción inmediata, pero ocasiona mayores gastos en un periodo corto y medible de tiempo. Existe una división de tres grandes tipos de mantenimiento, cuyo fin es lograr reducir los costos, y estos son: Mantenimiento Correctivo: Se efectúa cuando las fallas han ocurrido. Mantenimiento preventivo: Se efectúa para prever las fallas con base en parámetros de diseño y condiciones de trabajo supuestas. Mantenimiento

predictivo: Prevé las fallas sobre la base de observaciones que indican tendencias. Una de las herramientas para el mantenimiento es la realización de pruebas. En el caso de ésta tesis, se tomó en cuenta las pruebas de impulso por rayo. Para ello, las descargas atmosféricas se simulan aplicando al equipo descargas parciales de acuerdo al nivel básico de impulso para cada tensión, en condiciones de que el valor máximo de cresta no se sobrepase los 10 microsegundos, el valor de cresta aplicado será del 115%. El circuito se ajusta para una onda normalizada de 1.2 microsegundos de frente y 50 microsegundos al valor medio, el valor de tensión se ajusta para el 50% al 75% del rango para verificación de defectos acentuados.

Noé Rondón, Jorge Alberto. Propuesta de Diseño del Sistema de Protección contra fallas de origen atmosférico en Estaciones de Comunicaciones. Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, 2009.

Los sistemas de protección contra fallas de origen atmosférico; provocado principalmente por los rayos deben ser diseñados para evitar daños a las personas y sus propiedades.

Estos sistemas de protección también tienen mucha importancia debido al incremento en el uso de equipos que son cada vez más sofisticados, de alto costo y gran valor intrínseco. Equipos de cómputo, sistemas de voz y datos, que no pueden dejar de funcionar porque esto redundaría en grandes pérdidas tanto económicas como de confiabilidad para sus usuarios.

La idea de protección contra fallos de origen atmosférico esta comúnmente asociada a colocar un pararrayo con su propia puesta a tierra. Generalmente la idea de puesta a tierra la asociamos a una barra conductora de la electricidad colocada en un hoyo, a donde se deben conectar las "carcasas" de los equipos a proteger.

Siendo estos sistemas de gran importancia, en muchos casos son implementados sin la realización de los estudios que los justifiquen, razón por la cual cuando deben actuar como protección no lo hacen; produciéndose consecuencias funestas, que no solo traen la falla de equipos, sino también, pérdida de vidas humanas en el peor de los casos.

Estas malas prácticas felizmente ya están cambiando y mejorando, la presente tesis se planteó como objetivo mostrar el diseño y la implementación adecuada de un Sistema de protección contra fallos de origen atmosférico para estaciones de comunicación, basado en la Normatividad Nacional e internacional.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Las descargas atmosféricas

Los mecanismos de las descargas atmosféricas son muy complejos pero pueden ser explicados en términos simples como una descarga eléctrica de muy alta energía causada por la diferencia de potencial entre nubes o entre las nubes y la tierra.

La formación de una tormenta se desarrolla cuando el calentamiento de la tierra origina una corriente de aire ascendente. Este aire se enfría progresivamente hasta condensarse con la consiguiente formación de pequeños cumulus. El cumulus continúa creciendo en sentido vertical y se acaba convirtiendo en una nube de tormenta o cumulonimbus.

En estas condiciones atmosféricas, se crean cargas eléctricas resultado de la colisión entre las partículas de agua, granizo y hielo. Dentro de la nube se crea una separación de cargas, colocándose las negativas en la base de la nube, mientras las positivas lo hacen en la parte superior [1].

El centro de las cargas negativas se mueve en general en la base de la nube debido al transporte de electrones a través de las gotas pesadas y el granizo, mientras el centro de las cargas positivas se mueve hacia la parte superior de la nube, debido a las corrientes de aire de convección, que pueden transportar fácilmente las partículas ligeras cargadas positivamente.

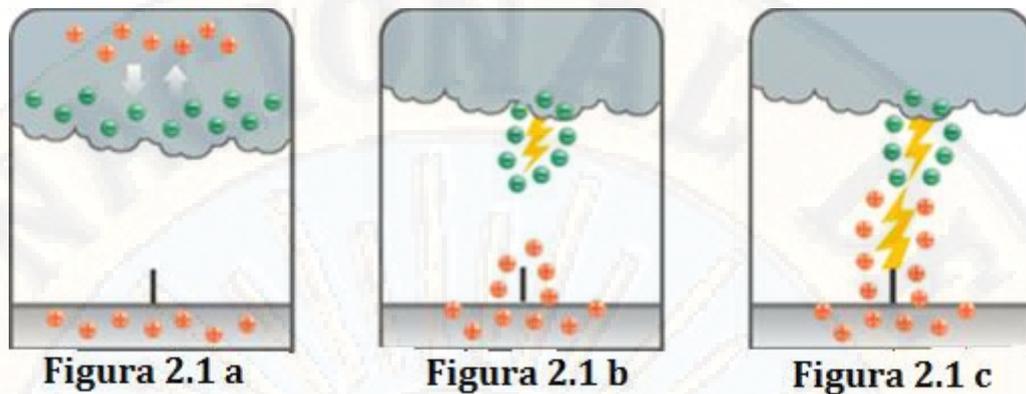


Figura N° 2.1 Formación del rayo (Fuente: web [1].)

Este efecto produce un cambio similar, pero de polaridad opuesta en la superficie de la tierra y del mismo tamaño aproximadamente.

El potencial dentro de la nube es generalmente del orden de varios millones de voltios y el campo eléctrico puede superar 5 kV/m al nivel de la tierra, de esta forma se inicia la creación de los trazadores ascendentes desde las formas irregulares de la tierra o estructuras metálicas (Figura 2.1).

El campo eléctrico es tan alto que se crean al mismo tiempo pequeñas descargas desde la nube, llamadas líderes de paso. A medida que estos líderes se acercan a la superficie de la tierra, se genera un flujo ascendente de carga positiva hacia el líder (Figura 2.1 b).

Cuando el líder de carga y el flujo ascendente se encuentran se cierra el circuito con una corriente de descarga entre 10 kA y 200 kA (Figura 2.1c). El poder descargado durante el rayo puede llegar a ser de 20 GW. En la mayoría de los casos (80%) el sentido de la descarga es negativo, desde la nube hacia la tierra.

Pero en los casos contrarios, cuando el sentido de la descarga es positivo, la intensidad de descarga es más alta [2].

En estas circunstancias se puede resumir al ciclo de una tormenta eléctrica de la siguiente manera;

1. Durante el crecimiento de la nube se observa la presencia de fuertes vientos ascendentes. Esto sucede aproximadamente de 10 a 15 minutos antes de la formación de las primeras gotas de agua.
2. Una vez constituida la nube se observan vientos descendentes, en especial en su parte inferior, así como descargas atmosféricas y precipitación. Esta fase intermedia dura de 15 a 30 minutos.
3. Durante el desmoronamiento de la nube, con un tiempo de duración aproximado de 30 minutos, se observan leves vientos descendentes a través de todo el volumen ocupado por la nube, al igual que una ligera atenuación de las descargas atmosféricas y de la precipitación.

El tiempo total de duración de una nube de tormenta es, por, consiguiente, de una hora pudiéndose extender temporalmente al formarse nuevos focos de tormenta.

2.2.2. El rayo

El punto de partida de una nube de tormenta cuyas cargas eléctricas se encuentran distribuidas, pero no en forma homogénea, de acuerdo con lo expuesto anteriormente, entre las concentraciones de cargas desiguales de la nube, principalmente en las de la zona inferior, comienzan a ocurrir pequeñas descargas eléctricas. Esto sucede una vez que el gradiente eléctrico alcanza valores superiores a 5 kV/cm. Así y como consecuencia de la ionización por choque, se va formando una gran cantidad de cargas eléctricas, las cuales disminuyen apreciablemente la rigidez dieléctrica de la zona afectada.

Estas cargas eléctricas comienzan entonces a crecer en forma de avalancha, formando una especie de cono llamado descarga piloto (pilot streamer), el cual, por la acción de gotas de agua y corriente eléctrica, crece en ambas direcciones la intensidad de corriente que acompaña a la descarga piloto es tal leve (solo algunos amperios) que no la puede registrar una cámara fotográfica.

La velocidad de propagación de esta descarga, no obstante, si es considerable (1/20 de la velocidad de propagación de la luz, 15000 km/seg), con un recorrido o existencia promedio de solo 50 m.

La tortuosa trayectoria de dichas descargas le confiere al rayo su aspecto característico. Una vez que la descarga piloto llega a la tierra, queda trazado en el espacio interelectrónico (nube-tierra) un canal o sendero plasmático, donde el aire ha sido fuertemente ionizado y por el cual pasarán las descargas sucesivas (return, streamer, dart leader). En el breve tiempo que estas fugan se produce un súbito calentamiento del aire, y se supone que el trueno se debe a la brusca dilatación que este calentamiento trae consigo. Al mismo tiempo se producen fenómenos de luminiscencia (relámpagos), como los que se observan en el seno de los gases enrarecidos, atribuidos a la explosión de un compuesto muy inestable -la materia fulminante- de los elementos de la atmósfera.

Cuando el estrépito de trueno es perceptible, se puede calcular fácilmente la distancia a la que ocurrió la descarga: omitiendo la velocidad del sonido (332 m/seg), en comparación con la de la luz, se obtiene la relación de 1 km por cada 3 seg. de retraso, entre la percepción del fenómeno óptico y la del acústico, más sensible de noche que de día. Así mismo, cuando la descarga en forma de canal (pilot streamer) se va acercando a la tierra, aumenta considerablemente el gradiente eléctrico, favoreciendo la formación de un canal de recepción.

Éste canal, partiendo de la superficie de la tierra, crece en sentido opuesto. Cuando ambos se encuentran comienza a fluir la intensidad de corriente de descarga. Este último detalle se ha podido verificar en la práctica con cámaras ultrarrápidas, entre ellas la cámara de Boys. En las placas se pueden observar una solución de continuidad del canal plasmático en intervalos de 30 a 90 s., se cree que esto obedece a ionizaciones por choque, las cuales van preparando la próxima descarga, mientras que las ramificaciones (stepped leader) se atribuyen a la acción del viento. Estas no siempre llegan al electrodo opuesto ya que la intermitencia en

forma de canal les quita toda la energía. Los rayos globulares pueden ser el resultado de estas descargas inconclusas aureales.

Preparado ya el camino o canal de la descarga se produce la descarga principal: gran cantidad de cargas eléctricas negativas abandonan la nube. Inmediatamente, y con el fin de neutralizar la carga eléctrica en esta, una gran cantidad de cargas positivas abandonan la tierra (return stream). En la mayoría de los casos el choque de estas cargas es tan fuerte que, como consecuencia del excedente de cargas, en la nube se produce una segunda descarga hacia la tierra a través del mismo canal (dart leader) y así sucesivamente. La velocidad de propagación de estas últimas es más lenta (3 % de la velocidad de la luz). El número de ellas puede llegar en algunos casos hasta 54.

La sierra andina, por su ubicación geográfica, se convierte en una de las zonas con mayor actividad eléctrica atmosférica en el país, lo cual hace que las instalaciones y equipos electrónicos presenten una condición de riesgo alto.

Respecto a los rayos se puede afirmar, que ninguna medida es económica y efectiva para evitarlos, como tampoco para garantizar un 100% de protección, por lo tanto, las precauciones de protección apuntan hacia los efectos secundarios y a las consecuencias de una descarga eléctrica atmosférica.

El objetivo de la protección contra rayos es reducir por debajo del máximo nivel tolerable, el riesgo de daño por un impacto directo a una estructura o a un volumen que se requiere proteger; para ello, se establecen categorías de protección que dependen de la evaluación del nivel de riesgo [3].

2.2.3 Sobretensión

Se entiende por sobretensión un impulso variable en el tiempo cuyo máximo valor es superior al valor de pico de la tensión nominal del sistema en estudio. Existen muchas

causas por las que se pueden originar sobretensiones en una red de potencia; por esta razón su estudio se suele realizar atendiendo al origen, al tipo de proceso transitorio y al tiempo de duración. Una sobretensión es una onda o impulso de tensión que se superpone a la tensión nominal de la red.

Una de las clasificaciones usuales de las sobretensiones es la que menciona dos tipos principales: a) sobretensiones temporales y las sobretensiones transitorias.

a) Sobretensiones temporales

Dentro de este grupo están aquellas sobretensiones de larga duración (varios milisegundos), poco amortiguadas y de frecuencia igual o próxima a la frecuencia de operación. Ejemplos de sobretensiones temporales son las debidas a un cortocircuito entre una fase y tierra, o a un problema de ferorresonancia [4].

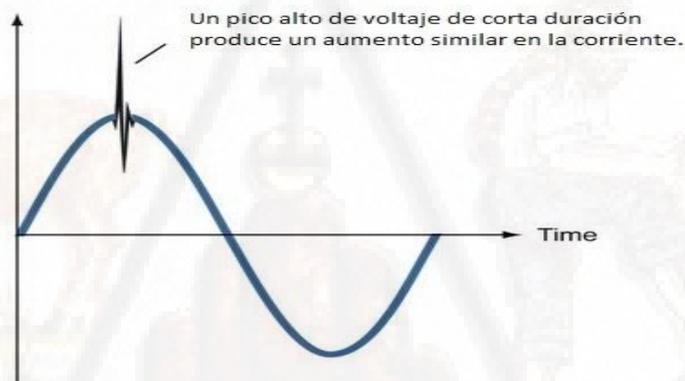


Gráfico 2.1 Pico por sobretensión (Fuente: web [4])

Las sobretensiones temporales se asocian con faltas a tierra en el sistema eléctrico de distribución, y con desconexiones de grandes cargas o conexiones de determinados elementos en la red. Vienen a ser formalmente el "simétrico de un hueco respecto a la tensión de referencia", sólo que el límite superior de tensión no existe como tal, dándose valores indicativos, de un máximo de 1,7 veces la tensión de referencia, para el caso de redes con neutro unido a tierra directamente o a través de una impedancia, y de 2,0 veces la tensión de referencia para el caso de neutro

aislado o resonante. La figura 2.2 muestra las formas de onda de una sobretensión temporal en la fase 3 acompañando a un hueco en las otras 2 fases.

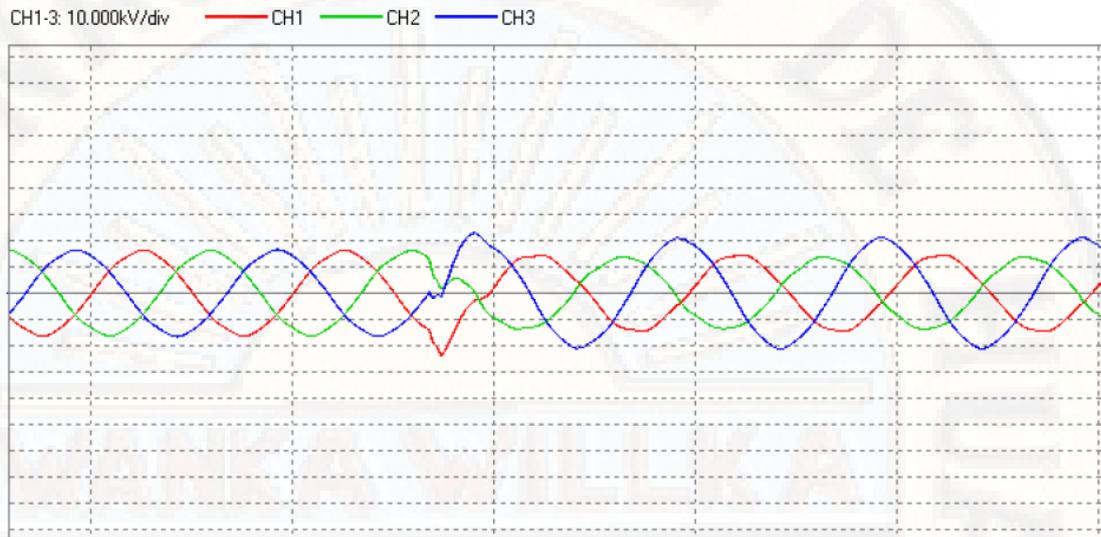


Figura 2.2: Forma de onda de una sobretensión temporal en la fase 3

Desde este punto de vista, se podría considerar que existe una sobretensión temporal cuando la tensión fuera superior al 110 % sobre la tensión de referencia, y su duración tuviera límites análogos a los de los huecos de tensión. Además, las faltas a tierra pueden provocar elevaciones de la tensión de la tierra en puntos cercanos a la falta y a la subestación.

Las sobretensiones temporales se caracterizan por su duración y la tensión máxima alcanzada durante el aumento de tensión, en valor porcentual sobre la tensión de referencia [5].

Este tipo de sobretensiones pueden conllevar la reducción de la vida útil del receptor o su destrucción, así como la disminución de la seguridad de los usuarios. Estas sobretensiones se protegen con los limitadores de sobretensiones permanentes. Detectan la sobretensión y hacen disparar, por accionamiento mecánico, el interruptor magnetotérmico o diferencial al que están asociados.

b) Sobretensiones transitorias

Según la norma europea UNE 50160 corresponde a una sobretensión oscilatoria o no, de corta duración, generalmente fuertemente amortiguada y cuya duración no excede de algunos milisegundos. Por su amplitud y duración, las sobretensiones transitorias tienen que ser analizadas a partir de valores instantáneos de la amplitud de la onda de tensión y no mediante valores promediados. Estas perturbaciones pueden manifestarse en cualquier punto de la red y a cualquier nivel de tensión. A partir de ese punto se desplazan a lo largo de la misma con la misma velocidad de propagación de una onda en un medio conductor. Por ello, en la práctica, suele considerarse que aparecen en todos los puntos de dicha red, en el mismo instante en que son generadas, aunque con parámetros diferentes, especialmente en su valor de pico y, por tanto, en su energía asociada la cual disminuye conforme se aleja la onda del punto de generación.

Según su forma, las sobretensiones transitorias se clasifican en:

- Simples (impulsos): Cuando presentan un frente de subida y otro de bajada, a partir del cual y sin oscilaciones posteriores, la tensión vuelve a su valor normal.
- Oscilatorios: Caracterizados por un frente de subida seguido de oscilaciones que van amortiguándose en un determinado periodo de tiempo.

Los parámetros que caracterizan este tipo de perturbaciones son los siguientes:

- i. Valor de pico: Es el valor máximo/mínimo alcanzado. Para impulsos bipolares u oscilatorios se establecen, en ocasiones, se establecen tanto el valor de pico positivo como el de pico negativo. Se pueden expresar en valor absoluto alcanzado o como la diferencia entre el valor al inicio del impulso y el valor máximo/mínimo.
- ii. Duración: Es la diferencia de tiempo entre los instantes inicial y final del impulso. Para impulsos unidireccionales, en ocasiones, la duración se define como la diferencia entre el inicio del impulso y el instante en que su valor decae a un 50% del máximo.

- iii. Frecuencia: Corresponde a la frecuencia de oscilación en transitorios oscilatorios. También es un parámetro que expresa el tiempo de subida de otro tipo de impulsos, al objeto de relacionarlo con el filtro paso bajo que podría atenuarlo.
- iv. Energía: Es la energía asociada a un impulso de tensión en una carga o elemento de protección determinado. En muchas ocasiones se asigna a este parámetro al área del impulso de tensión, expresándose entonces en unidades de $V^2 \cdot s$.

En función de su origen, se pueden distinguir dos tipos de causas o fuentes generadoras de impulsos de tensión:

- i) Externas al sistema eléctrico, cuya fuente principal son las descargas atmosféricas o rayos.
- ii) Internas al sistema eléctrico, cuyas fuentes pueden englobarse bajo la denominación de maniobras.

b.1 Sobretensiones de tipo atmosférico

Las sobretensiones de origen atmosférico están ocasionadas por los rayos que se producen durante las tormentas. Como fenómeno físico un rayo equivale a un impulso de corriente unidireccional, resultado del transvase entre las nubes y el punto de impacto, en un corto periodo de tiempo, con valores máximos comprendidos entre 10 y 250 kA (figura 2.3).

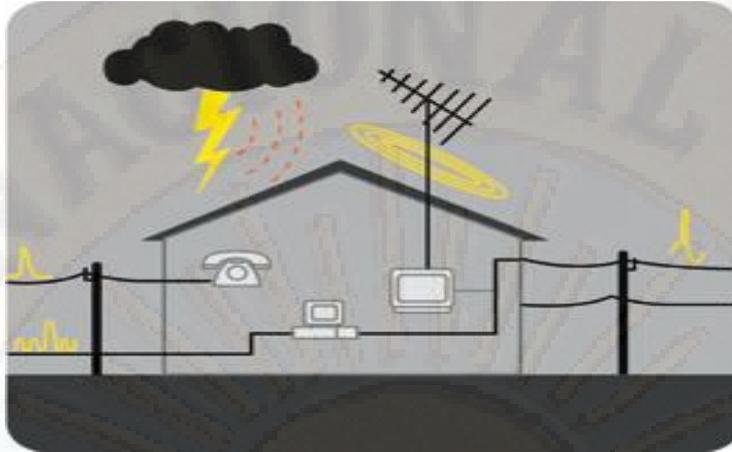


Figura 2.3: Ilustración de una descarga atmosférica

Las sobretensiones producidas por fenómenos atmosféricos llegan hasta las instalaciones de tres formas [6]:

- a. *Sobretensión conducida*: El rayo cae directamente sobre la línea aérea, propagándose la sobretensión a lo largo de varios kilómetros. Ésta acaba llegando a las instalaciones interiores de baja tensión y se deriva a tierra a través de los receptores, provocando averías o su total destrucción.
- b. *Sobretensión inducida*: La radiación emitida por el impacto del rayo sobre un objeto (poste, árbol, pararrayos, etc.) próximo a las líneas eléctricas, induce tensiones transitorias en éstas, transmitiéndose a las instalaciones interiores.
- c. *Aumento del potencial de tierra*: Cuando un rayo cae a tierra o a una estructura conectada a tierra, la corriente de descarga del rayo que circula por el terreno puede elevar el potencial del terreno varios miles de voltios.

La protección se realiza mediante los descargadores de sobretensiones. Las sobretensiones pueden presentarse en el receptor de dos formas:

- *Modo común* (entre fase y tierra o entre neutro y tierra).
- *Modo diferencial* (entre fase y fase o entre fase y neutro). Este modo es especialmente peligroso para los equipos informáticos.

La forma de onda de una descarga atmosférica es normalmente especificada por el frente de onda y por su cola. El frente es el tiempo para alcanzar su valor máximo, mientras que la cola es el tiempo hasta caer a la mitad del valor máximo [7]. En la figura 2.4, se observa la forma típica de una descarga atmosférica con una corriente máxima de 1000 kA, tiempo de frente 1.2 μ s y tiempo de cola 50 μ s.

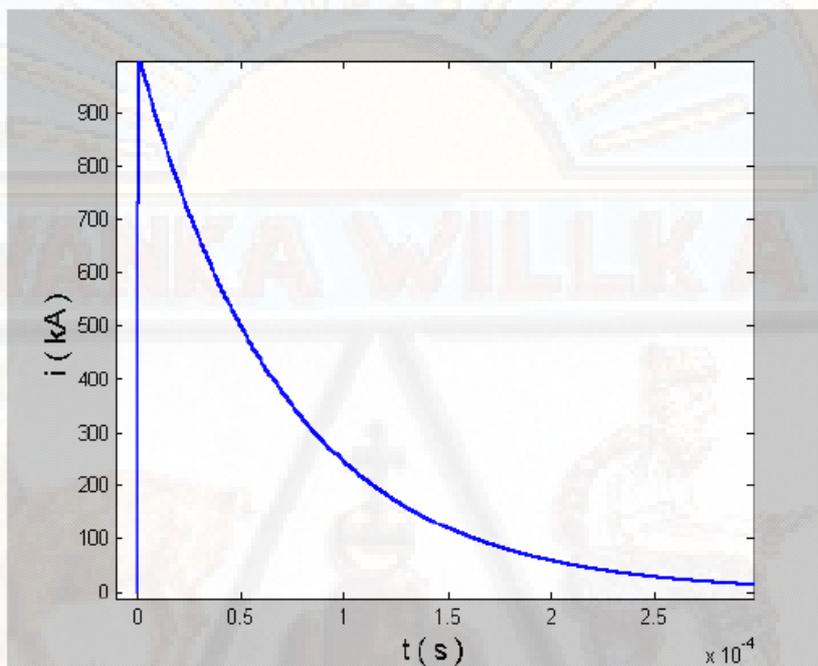


Figura 2.4: Onda normalizada de una descarga atmosférica 1.2 /50 μ s [7].

La sobretensión que se presenta debido a una descarga atmosférica, tiene un comportamiento similar y depende de la impedancia que la estructura impactada le ofrece a la descarga; en la figura 2.5, se muestra la forma típica de una sobretensión atmosférica.

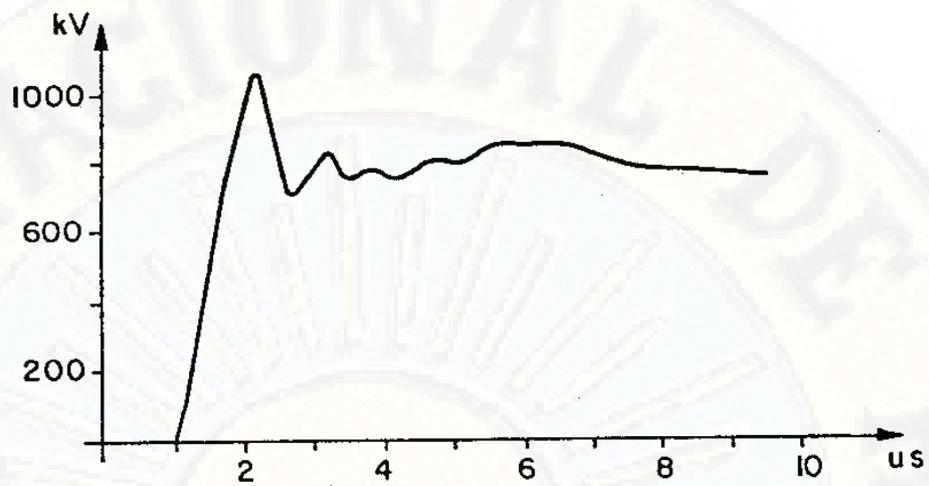


Figura 2.5 Forma típica de una sobretensión atmosférica

Las frecuencias representativas dominantes de las descargas atmosféricas van desde una frecuencia cero (componente DC) hasta un límite superior del orden de 0.1 a 1 MHz. La figura 2.6 muestra el espectro de frecuencias de la onda de la figura 2.5.

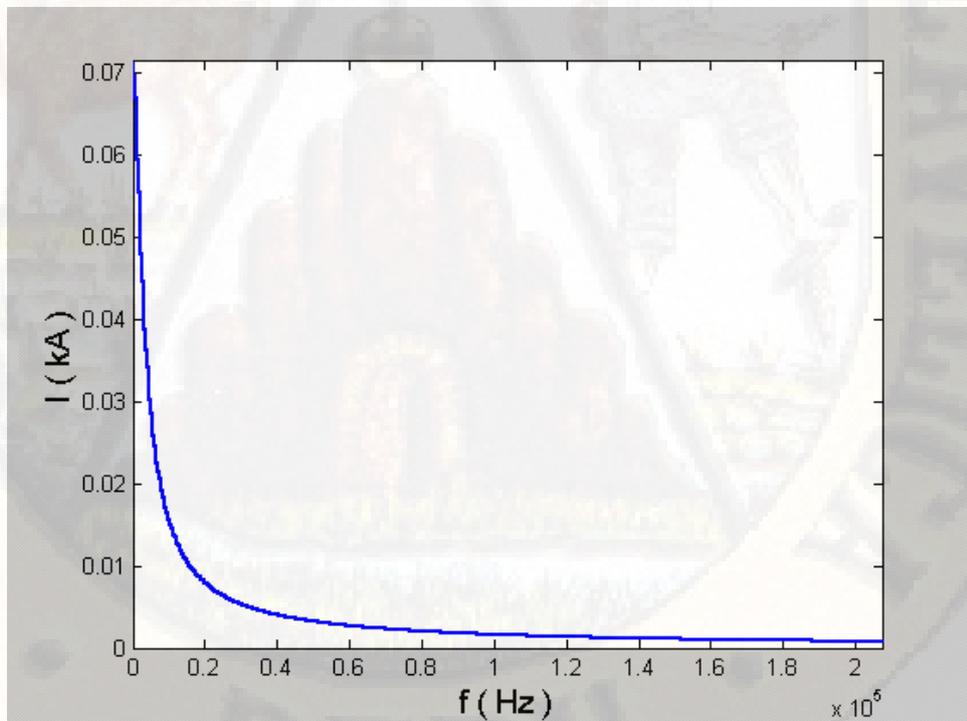


Figura 2.6 Espectro de frecuencias de una onda normalizada de 1.2 /50 μ s

Las descargas directas son aquellas en las que el rayo impacta en algún punto a partir del cual puede incidir, de forma conducida, sobre la carga sensible de la posible instalación afectada. Estos impactos directos de rayo, pueden producir elevación de tensión en las tomas de tierra. Cuando la onda de corriente descarga por una puesta a tierra, como puede ser el caso de un impacto de rayo sobre un impacto industrial, protegido por su pararrayos y con su correspondiente puesta a tierra, se produce una elevación de tensión en todo el sistema de tierras.

Esta elevación de tensión, que puede ser de bastantes kV, se produce entre la puesta a tierra local otras tierras alejadas. Los equipos electrónicos sensibles, conectados entre dos referencias a tierra, como el caso de un ordenador conectado al teléfono a través de un modem, pueden fallar ante impulsos de tensión debidos a rayos.

Las descargas indirectas son aquellas en las que el impacto del rayo se produce en un punto del terreno más o menos alejado e independiente de la instalación industrial que se analiza. En este caso los efectos son los siguientes:

- Tensiones inducidas en bucles: Es el mismo principio que en el caso de descargas directas sólo que el impacto del rayo se produce a una cierta distancia de la instalación.
- Distribución de potenciales en el terreno: La corriente inyectada por el rayo en el terreno supone un aumento de potencial en puntos cercanos, que puede originar diferencias de potencial peligrosas entre dos tomas de tierra distintas.
- Acoplamiento debido al campo electromagnético radiado: Un rayo incidente es equivalente a una antena de gran longitud que radia un campo electromagnético y se acopla en los conductores que encuentra, generando sobretensiones que se propagan rápidamente por conducción. Estas sobretensiones se pueden acoplar, asimismo, en otros conductores próximos al primer afectado.

La importancia de las sobretensiones atmosféricas crece conforme disminuye la tensión nominal de los componentes afectados por el rayo. Debemos volver a remarcar que un rayo puede originar una sobretensión que termine provocando un fallo en la línea aérea afectada o que se propague por la línea y pueda provocar una avería en algún otro equipo.

El estudio del comportamiento de las líneas de distribución frente al rayo ha sido objeto de gran atención durante los últimos años y existe una abundante literatura centrada exclusivamente en este campo. Sin embargo, todavía existen muchos puntos sobre los que no hay un conocimiento suficientemente preciso; probablemente, los más importantes sean la propia naturaleza del rayo y los principales parámetros que describen su comportamiento.

Modelos eléctricos simplificados de sobretensiones causados por rayos

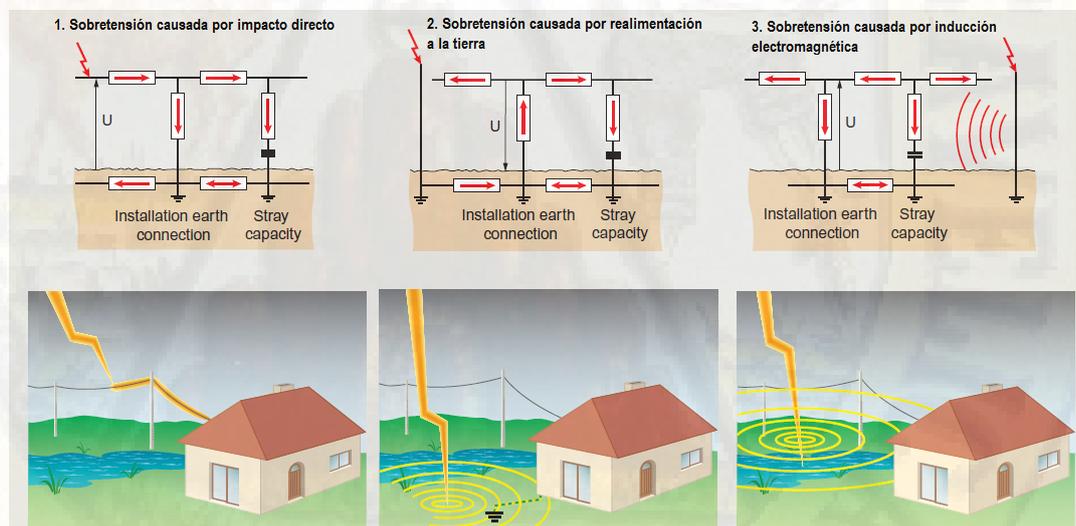


Figura 2.7 Modelos eléctricos de sobretensiones [8]

En la figura 2.7.1; los rayos caen sobre líneas aéreas llegando a conducir sobretensiones de varios miles de voltios en redes de alta y baja tensión. En la figura 2.7.2; el rayo en el suelo provoca un aumento del potencial de la tierra que puede

extenderse a la instalación (retroalimentada de la tierra). En la figura 2.7.3; la descarga de un rayo crea un campo electromagnético con un espectro de frecuencia muy amplio, que al conectarse con los bucles en la instalación dará lugar a corrientes inducidas destructivas; a las cuales es necesario amortiguar [9].

b.2 Sobretensiones de origen interno (maniobra)

Las sobretensiones debidas a origen interno son las provocadas por cualquier modificación brusca del régimen de corriente establecido en un circuito eléctrico, por conexión o desconexión de cargas o partes del mismo. Si estos eventos se originan en alta o media tensión, generalmente provocan alteraciones de tensión en las redes de baja, que según las relaciones, capacitiva e inductiva del transformador, pueden afectar a los equipos conectados a ellas, si no se toman precauciones. Las fuentes más habituales son:

- La conexión y desconexión de líneas eléctricas mediante seccionadores o interruptores.
- La conexión y desconexión de transformadores.
- La conexión de baterías de condensadores en media tensión.

También hay sobretensiones transitorias de amplitud y frecuencias variables, introducidas en la red por los propios usuarios. Se trata en general de fenómenos de poca energía pero que, en muchas ocasiones, presentan un frente de onda brusco, con una cresta que puede alcanzar algunos kV, haciéndolos peligrosos para los equipos sensibles. Pueden ser debidos a:

- Desconexión de cargas inductivas, como los motores, no sólo por la acción del interruptor automático o del disyuntor, sino también por la actuación de contactores, relés y protecciones.
- Conexión de condensadores para compensar el factor de potencia.

- Conmutaciones en dispositivos electrónicos de potencia, debido a los cortocircuitos momentáneos en el proceso de conmutación.
- Equipos en los que aparecen arcos eléctricos en su funcionamiento, como las conexiones eléctricas móviles entre escobillas y aros colectores.
- Puesta en marcha de motores: La conexión del disyuntor o interruptor, en general, no se produce en el paso por cero de la tensión, sino que habrá una diferencia de potencial entre los contactos. Cuando esta diferencia es suficientemente alta se puede producir un cebado antes de que los contactos se toquen. Ello da lugar a ondas móviles que no son simultáneas en las tres fases, que se propagan hacia el receptor y que por reflexión aumentan la sobretensión en los contactos.
- Maniobras de contactores en general;
- Encendido de lámparas de descarga.
- Fusión de fusibles.

Las sobretensiones por maniobra. Por lo general tienen alto amortiguamiento y corta duración, la onda normalizada para este tipo de sobretensión es de 250/2500 μ s, según la IEC en su publicación 60-2 del año 1973, como se muestra en la Figura 2.8. En consecuencia las variaciones por rayo son menos importantes para la transmisión arriba de 300 kV ya que arriba de esta tensión, es decir para niveles de extra y ultra alta tensión, las sobretensiones por maniobra de interruptores, pueden tener frentes de onda del orden de varios microsegundos y durar varios ciclos de la frecuencia industrial y esto las convierte en el factor limitante para la coordinación de aislamiento.

Las ondas normalizadas son contempladas para realizar pruebas con sobretensiones a tiempos diferentes, se aplican en forma consecutiva un número determinado de veces, para así obtener un comportamiento probabilístico en el caso de los cálculos de aislamiento, en el caso de las sobretensiones por maniobra, por ejemplo, pueden ser generadas con la ayuda de un generador de impulsos o excitando la cascada de corriente alterna en el primario.

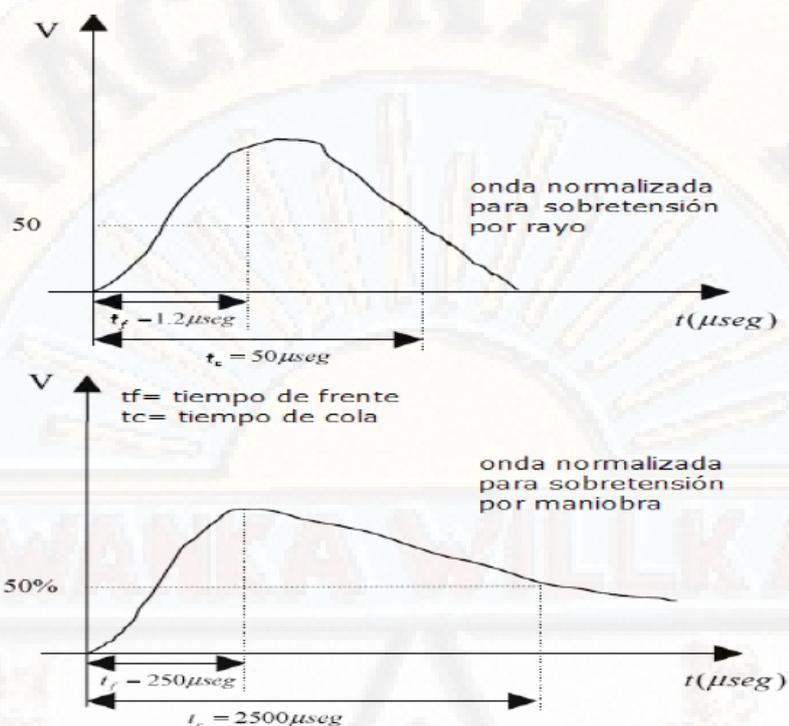


Figura 2.8 Ondas normalizadas para sobretensiones

En general, las sobretensiones originadas por maniobras en las redes son inferiores, en valor de cresta, a las atmosféricas y por ello generalmente, los requisitos de protección contra sobretensiones atmosféricas garantizan la protección contra sobretensiones de maniobra.

En cualquier caso, para realizar una protección completa de la instalación en lo referente a sobretensiones, se debe proteger la instalación interior o receptora contra sobretensiones temporales.

Clasificación de las sobretensiones de acuerdo al punto de impacto

De acuerdo al punto de impacto, las sobretensiones pueden clasificarse en [10]:

1. Directos
2. Indirectos
3. Lejanos

Para los impactos de rayos directos, las sobretensiones son causadas por el flujo de corriente del rayo en la estructura comprometida y sus conexiones a tierra.

Para los impactos de rayos indirectos, las sobretensiones son creadas en los bucles y están en parte vinculadas a los aumentos en el potencial de la tierra debido al flujo del rayo.

En el caso de caída de rayos lejano, las sobretensiones se limitan a las creadas en los bucles. La aparición de las sobretensiones debidas a las descargas atmosféricas y sus características son de naturaleza estadística.

2.2.4 Transitorios y sobretensiones en un sistema eléctrico de potencia

El término “transitorio” en muchas ocasiones se entiende como un sobrevoltaje o sobretensión transitoria, pero cabe aclarar que un transitorio es un lapso de tiempo que requiere un sistema para llegar a un estado estable, aunque se interpreta también de manera más amplia como la presencia de cualquier perturbación, ya sea en la línea de potencia o en una línea de datos de un red de computadoras.

Existen varias fuentes de perturbaciones eléctricas que dan origen a transitorios que son acompañados de sobretensiones, pero la más conocida es la ocasionada por una descarga atmosférica, pero no es necesario que un rayo golpee las líneas de energía eléctrica para causar daño. Debido a que el campo electromagnético radiado por la corriente de rayo se acopla a los conductores de las líneas de energía o de datos, se incluyen voltajes transitorios a lo largo de estos conductores.

Los efectos de rayos puede ser dramáticos, pero su tasa de ocurrencia relativamente es baja pudiendo incitar en unos la despreocupación, ya que sus efectos se pueden contrarrestar mediante prácticas de protección adecuadas.

Una fuente menos obvia pero más frecuente de transitorios son las secuencias de desconexión o conexión (swicheo) en un Sistema Eléctrico de Potencia [11]. El swicheo puede ser una operación recurrente normal o recurrente por fallas en el

sistema, poseen la característica de tener bajo riesgo en interferencia de frecuencia pero debido a que duran más y tienen mayor energía, su riesgo de daño aumenta.

Cuando se presenta una sobretensión transitoria los dispositivos que se encuentran conectados al mismo sistema pueden dañarse incluyendo hasta los propios interruptores, ya que la onda de sobretensión viaja desde el punto donde surge hasta todo el equipo mediante la línea de transmisión que los conecta, por lo que se hace necesario entender todo el procedimiento de una sobretensión para luego poder controlarlas mediante métodos confiables.

2.2.4.1 Introducción a los fenómenos transitorios

Los fenómenos transitorios se presentan en cualquier instalación eléctrica y en los componentes eléctricos de un circuito. Se define como periodo transitorio, o simplemente transitorio, el tiempo que transcurre entre dos situaciones estacionarias, durante el cual las variables eléctricas varían con el tiempo de forma no periódica. Cualquier perturbación provocada intencional o accidentalmente, que modifica temporalmente las variables eléctricas de sus *condiciones estacionarias* (la respuesta que permanece constante, en tensión y frecuencia) es un fenómeno transitorio cuyo análisis puede llegar a ser extraordinariamente complejo, por lo que cuando se habla de un transitorio no precisamente se está describiendo una sobretensión.

Supóngase que en cierto equipo, por ejemplo un circuito de lámparas, un interruptor eléctrico se enciende o se apaga. Tras el evento de conmutación, durante un breve lapso ocurren corrientes transitorias. Después de esto, el circuito regresa a una situación estable, otro ejemplo sería los transitorios que se producen tras un cortocircuito accidental en la red o por alguna perturbación en la red. También existen fenómenos transitorios más frecuentes como los que se producen al regular la velocidad o el par de una máquina eléctrica, los debidos a la conexión o desconexión de cargas, banco de capacitores, banco de reactores o un dispositivo

rectificador en el que la respuesta global es periódica pero cada ciclo responde a un breve transitorio. Los transitorios de los circuitos eléctricos son simplemente un ejemplo, de la respuesta de estado estable más transitorio de todos los sistemas físicos.

Para hacer una similitud con un evento físico imaginemos el evento que se da al soltar una bloque de masa M y a una altura inicial de estado estable h_1 sobre una plataforma como se ve en la Figura 2.9. Para el instante en que el bloque golpea la plataforma habrá un *transitorio*; la plataforma oscilará arriba y abajo varias veces hasta que la resistencia del aire o las pérdidas en la plataforma amortigüen el transitorio y la plataforma se establezca en una posición de *estado estable* h_2 .

Los esquemas de las figuras 2.9(a) hasta la (e) muestran la *oscilación* y en la figura 2.9. (f) se muestra su estado en función del tiempo.

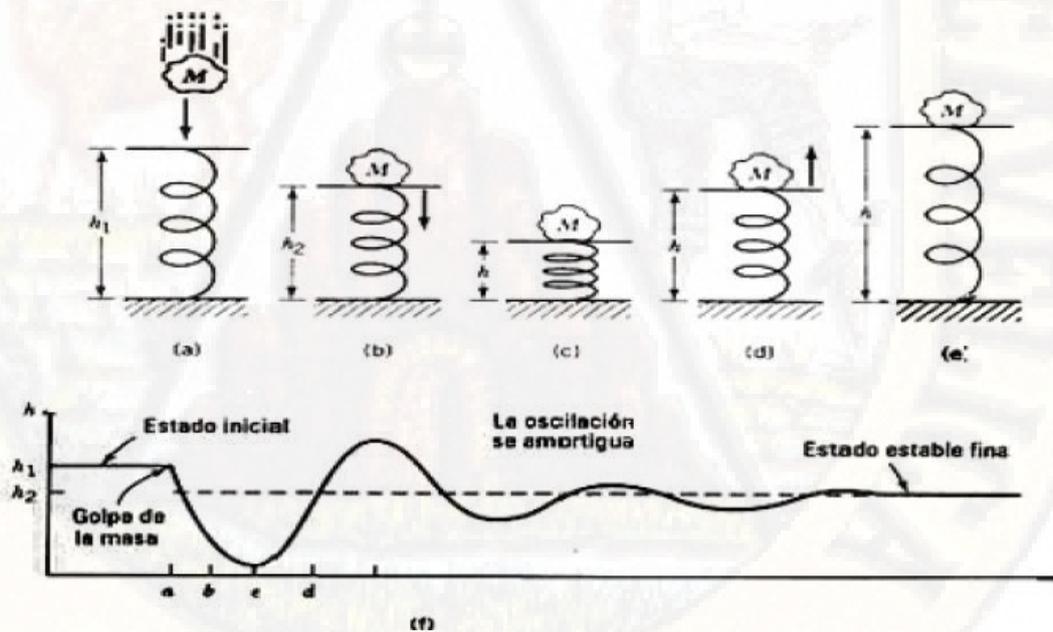


Figura 2.9 Transitorio típico para un bloque de masa M
 Adaptado de: William H. Roadstrum. Ingeniería eléctrica para todos los ingenieros.

El transitorio de este sistema físico, compuesto de un bloque y una plataforma suele ser un transitorio sin importancia ya que se extingue de forma natural sin causar problemas, pero en el caso de un transitorio electromagnético, el análisis consiste en el planteamiento y en la resolución de su ecuación o sistema de ecuaciones diferenciales obtenidas de la aplicación al circuito de las *Leyes de Kirchhoff* (que se basa en la descripción de la conservación de la energía).

Normalmente se trata de obtener la función de la intensidad de corriente durante el periodo transitorio en una o más ramas del circuito pero en ocasiones la incógnita puede ser la variación de la diferencia de potencial entre dos puntos con lo que la ecuación diferencial a resolver deberá estar en función de ella. Una vez planteada la ecuación diferencial, es muy importante la correcta definición de las condiciones iniciales del problema.

Los periodos transitorios más accesibles para analizar son los que se producen tras la apertura o el cierre de un interruptor intercalado en un circuito eléctrico. La dificultad de su estudio vendrá dada por la complejidad del propio circuito, esto es, su número de mallas, su número y tipo de cargas y su número y tipo de fuentes.

2.2.5 Transitorios en las líneas de transmisión

Las líneas de transmisión (LT) en su estado de operación se pueden analizar en estado estacionario y estado transitorio, en donde una línea de transmisión puede ser monofásica, bifásica y trifásica balanceada.

El primer comportamiento que es el estado estacionario nos sirve para desarrollar las ecuaciones de línea para la tensión y corriente en cualquier punto a lo largo de la misma.

El estado transitorio de una LT se utiliza para el análisis de las sobretensiones transitorias causadas ya sea por operaciones de maniobra o descargas atmosféricas, que son de importancia fundamental en la selección de los niveles de

aislamiento del equipo propio y de los dispositivos de protección contra aumentos repentinos de voltaje. Por consiguiente debemos de entender la naturaleza de estas sobretensiones transitorias.

Cuando una línea con constantes distribuidas se somete a una perturbación, como un rayo o una operación de maniobra, surgen ondas de voltaje y corriente que viajan a lo largo de la línea a una velocidad cercana a la de la luz. Cuando estas ondas llegan a las terminales de la línea, surgen ondas reflejadas de voltaje y corriente que viajan de regreso por la línea, sobrepuesta a las ondas iniciales y que debido a las pérdidas en la línea de transmisión, las ondas que viajan son atenuadas y desaparecen después de algunas reflexiones.

Asimismo, las inductancias en serie de los devanados de los trafos bloquean de manera eficaz las perturbaciones y por consiguiente evitan que se introduzcan en los devanados del generador.

Para el análisis de transitorios ya sea de forma digital o matemática, se puede utilizar el modelo de línea con pérdidas o sin pérdidas. Cuando se refiere a las líneas con pérdidas es cuando se toman en cuenta la resistencia en serie o la conductancia en paralelo lo cual provoca atenuación, distorsión y pérdidas de energía. El análisis transitorio se complica al incorporar las pérdidas de la línea de transmisión y mucho más cuando se toma en cuenta el efecto superficial, lo cual significa que R no es constante sino dependiente de la frecuencia.

En vista de estas complicaciones es mejor analizar las sobretensiones transitorias mediante técnicas de computación digital, cuando se involucran las pérdidas en una línea, sin importar su origen, el estudio de los transitorios en las líneas de transmisión es muy compleja y generalmente solo se considera el caso de la línea sin pérdidas, resaltando que una línea sin pérdidas es una buena representación para las líneas de alta frecuencia donde ωL y ωC son muy grandes comparados con R y G .

Para sobretensiones por maniobra o por rayos sobre una línea de transmisión de potencia, el estudio de la línea sin pérdidas es una simplificación que permite entender algunos fenómenos sin que se nos adentremos en la complicada teoría.

2.2.6 Características de problemas de análisis sobretensiones

Las características de los problemas de análisis de sobretensiones transitorias en sistemas eléctricos son las siguientes:

- Gran complejidad, ecuaciones diferenciales, modelos integro diferenciales multivariados muy diversos para los distintos componentes, gran cantidad de componentes, gran cantidad de vínculos, muchas condiciones iniciales y de contorno. Los sistemas sencillos permiten soluciones analíticas, pero cuando el sistema se complica la solución analítica se hace imposible.
- Alinealidades, que se producen especialmente en los modelos integro diferenciales de los componentes.
- Variabilidad en el tiempo, tanto de ciertos parámetros de los modelos de componentes como de las ecuaciones de vínculo.
- Efectos de frecuencia, que afecta la respuesta de los componentes.
- Numerosas variantes a analizar, para cada caso de estudio, modificando tanto los parámetros de los componentes, como las ecuaciones de vínculo o las condiciones iniciales y de contorno.
- Difícil "internalización" del modelo completo, se hace difícil comprender la esencia del problema, es difícil para el analista adquirir sensibilidad para prever las respuestas razonables en las diferentes variantes.
- Precisión limitada, por la dificultad de conocer muchos de los parámetros físicos reales, por las variaciones aleatorias, por las simplificaciones inherentes en los modelos matemáticos.

La evaluación y análisis de sobretensiones en los sistemas eléctricos se puede hacer en distintas formas, todas interactúan y tienen sus ventajas a continuación se mencionan algunas:

- Métodos empíricos, que presentan muchas dificultades de realización, algunas cosas no se pueden hacer, otras no se permiten, en algunos casos se teme.
- Experiencia de operación, es un método eminentemente empírico, que muchas veces no cuenta con suficiente apoyo de documentación, registros, etc.
- Mediciones de campo, particularmente interesante por los resultados que puede brindar, pueden ser:
 - a) Registros especiales de largo plazo, que con continuidad suficiente, y gran esfuerzo pueden considerarse experiencia de operación. Son insustituibles para convalidar modelos de simulación, permiten mejorar el modelo de simulación, para nuevos diseños no son aplicables, se deben hacer extrapolaciones.
 - b) Pruebas puntuales, que se desarrollan sobre un fenómeno individualizado.
 - Métodos de simulación.
 - Modelos matemáticos, que presentan todo el espectro de posibilidades
 - a) Solución analítica, aplicable solo en problemas muy simples, es muy limitante útil solo en casos muy sencillos.
 - b) Calculadora diferencial analógica o híbrida, en la que se plantean y resuelven ecuaciones diferenciales, se debe conocer la naturaleza del fenómeno a estudiar.
 - Analizador de transitorios (ATP), modelo físico especial con el que se construye el sistema simulado. El más aplicado ya que se puede modelar cada elemento del sistema, muy complejo dependiendo del sistema, se pueden tomar las alinealidades por frecuencia, flexible ya que es fácil considerar las variantes, sensible, buena precisión y rapidez comparada con los casos anteriores.

2.2.7 Técnicas para combatir las sobretensiones

2.2.7.1 El apartarrayos

Los descargadores de sobretensiones o apartarrayos constituyen la protección principal contra sobretensiones atmosféricas, sobretensiones temporales y de maniobra. Aunque cabe destacar que para un pararrayo en sistemas de extra alta tensión las maniobras son las que le producen mayor esfuerzo. Por regla general se conectan en paralelo con el equipo a proteger, para disipar la sobrecorriente y drenarla a tierra.

Actualmente, para líneas largas en sistemas de extra alta tensión (EHV), con la ayuda de varios estudios se ha llegado a la conclusión que los descargadores se deben colocar en los extremos de las líneas, y en ocasiones se deben de colocar otros en uno o más puntos a lo largo de la línea, por ejemplo en el centro o a 1/3 y 2/3 de la longitud de la línea, limitando así, las sobretensiones transitorias de maniobra y, con ello, los requisitos de aislamiento de línea pueden limitarse sin utilizar resistencias de preinserción. El elemento principal para estos descargadores es el revestido de polímero de silicona sin intersticios, PEXLIM, y que a nivel de industria se les conocen como PEXLINK.

Se puede utilizar descargadores de sobretensión en distintos puntos a lo largo de la LT, como ya se dijo anteriormente, obteniendo diferentes beneficios como por ejemplo: ante una sobretensión atmosférica sería que al tener descargadores en distintos puntos estos drenarían las sobrecorrientes producidas por rayo en el trayecto de la línea dejando que llegue una pequeña proporción de está hasta los equipos que están conectados a la línea impactada.

Refiriéndose a las sobretensiones por maniobra se tiene que no siempre la mayor sobretensión se produce al inicio o al final de la línea, aproximadamente la máxima

sobretensión, con descargadores en los extremos de la línea, se encuentra casi a la mitad de la longitud total de la línea, dando así el riesgo de falla en los aisladores de las torres si no se utiliza alguna otra técnica para limitar la sobretensiones por maniobra.

2.2.7.2 Interruptor de potencia en el punto de conexión

El interruptor es un dispositivo, cuya función es asegurar el flujo continuo de corriente en una red eléctrica bajo condiciones normales de operación e interrumpirlo cuando se presentan condiciones anormales o fallas. Se utiliza para controlar el flujo de corriente y como medio de protección para el personal y el equipo. Se conecta en serie con el circuito que se va a proteger y entre otras cosas es capaz de:

- Interrumpir: (a) cualquier nivel de corriente que circule por sus contactos, desde unos cuantos amperes, hasta su capacidad de corto circuito, ambas simétricas y asimétricas, y (b) hasta el 25 % de su capacidad de corto circuito al doble de su tensión nominal entre fases.
- Cerrar con la corriente máxima de corto circuito a la tensión nominal entre fases y al 25 % de la corriente máxima de corto circuito al doble de su tensión nominal entre fases.
- Conectar y desconectar corrientes inductivas, capacitivas (línea, cable y banco de capacitores) y corrientes de reactores sin generar sobretensiones excesivas que sobre esfuercen las capacidades dieléctricas del sistema de transmisión o distribución.
- Efectuar operaciones de cierre apertura cuando sea requerido y
- Conducir su corriente nominal sin sobrecalentar sus componentes.

Un interruptor tiene cuatro componentes principales: medio interruptivo (que puede ser gas SF₆, vacío, aire o aceite), cámara interruptiva, aisladores y mecanismo de operación.

La extinción del arco eléctrico (fenómeno que se presenta en el instante en que se separa los contactos del interruptor), en corriente alterna difiere del de corriente directa por una sencilla razón: cada vez que la corriente pasa por cero (120 veces por segundo en un sistema de 60 Hz) el arco se extingue por sí solo, es por eso que muchos autores la relacionan con el cruce por cero de la corriente. La desionización o recuperación de la rigidez dieléctrica del entrehierro, inicia en el momento en que el arco se extingue (cuando la corriente cruza por cero). La rigidez crece linealmente en función del tiempo, hasta alcanzar su estabilización. La complejidad del comportamiento del arco durante el proceso de interrupción, ha provocado el desarrollo de modelos que describen este proceso. Los primeros modelos estaban concentrados en la región de corriente cero y los modelos recientes se enfocan en calcular el diámetro del arco en la corriente máxima. Estos modelos son una aproximación del fenómeno de interrupción.

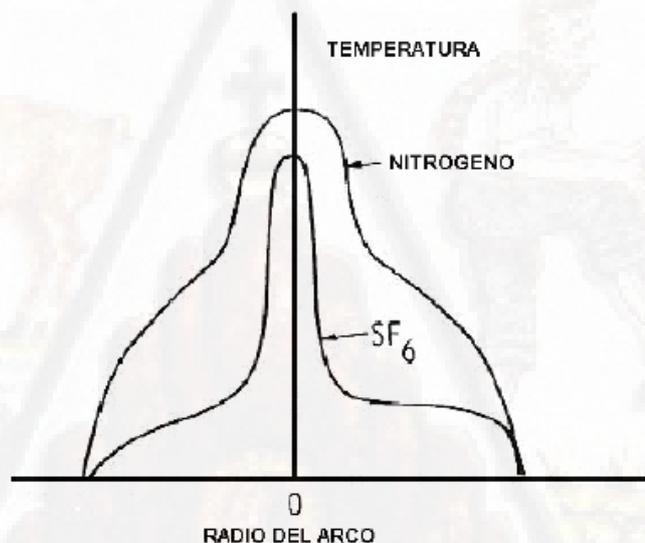


Figura 2.10 Temperatura del arco como una función del radio

“Si la tensión en el interruptor ($V_{sen\omega t}$) en algún instante excede a la tensión de recuperación V_r (*Recovery voltaje*), ocurre un reencendido. En caso contrario, si la tensión de recuperación V_r se incrementa más rápidamente que la tensión en el interruptor, no se produce el reencendido. Este fenómeno se ilustra en la Figura 2.10. El comportamiento anterior varía si se considera un circuito inductivo o

capacitivo. Estos circuitos son muy importantes, porque los sistemas de transmisión de energía suelen tener reactores en derivación o bancos de capacitores en serie. Además, la desconexión de un transformador operando en vacío representa una inductancia” [12].

El funcionamiento de los interruptores en la interrupción de las corrientes de cortocircuito depende de varios factores que se consideran como condiciones severas. La corriente y la tensión de cortocircuito (ver Figura 2.10) muestran que al efectuarse la interrupción al cruce por cero de la corriente, la tensión que aparece en las terminales del interruptor tiene una influencia importante en su funcionamiento. De hecho, la interrupción exitosa de la corriente depende de esta tensión.

2.2.7.2.1 Operaciones en un interruptor

Las operaciones de cierre apertura o recierre de los contactos de los distintos tipos de interruptor que se emplean en extra y ultra alta tensión se realiza por medios mecánicos o mejor dicho siempre existe un límite desde el punto de vista mecánico. Cuando los contactos se separan se forma un entrehierro entre ellos, constituido de un medio dieléctrico e interruptivo (aire, gas SF₆, vacío, aceite). En este medio se forma el arco eléctrico, a través del cual la corriente fluye de un contacto a otro. En este entrehierro es donde el circuito es vulnerable a ser interrumpido, ya que la corriente abandona su trayectoria original (contactos) para formar un arco en el medio aislante e interruptivo, cuando se logra disminuir la conductividad de esta trayectoria hasta extinguir el arco, la corriente deja de fluir. Por lo tanto, la interrupción de un circuito eléctrico comprende dos pasos consecutivos:

En el primero se consigue intercalar un entrehierro a la trayectoria original, y el segundo, consiste en eliminar la conductividad del entrehierro.

Para un entrehierro con un medio aislante gaseoso, el gas es semiconductor a altas temperaturas y en función de su enfriamiento se vuelve aislante. Exceptuando los sistemas que utilizan materiales semiconductores de sople magnético y vacío, todos los interruptores trabajan bajo el principio de la descarga de alguna clase de gas.

2.2.7.2.2 Operación de apertura

Esta operación se realiza con el objetivo de desenergizar o interrumpir alguna parte del sistema. Estando cerrado el interruptor se libera el mecanismo de apertura el cual permite que los contactos principales se separen. La separación de los contactos genera el arco eléctrico. En la apertura, el arco cumple con funciones de gran importancia durante la interrupción, dependiendo del tipo de medio de extinción usado, a continuación se describe una operación de apertura:

- T1 El interruptor se encuentra cerrado, recibe una señal de apertura. Se inicia la separación de los contactos, con la ayuda del resorte de apertura.
- T2 El interruptor abre y se forma el arco entre el anillo de arqueado del contacto fijo y el contacto móvil.
- T3 El contacto móvil se desplaza hacia abajo, abriendo aún más. En el cruce por cero de la corriente, se presenta un alto valor dieléctrico.
- T4 El arco se extingue, restableciéndose completamente el dieléctrico.
- T5 El interruptor termina el movimiento de contactos y queda en posición abierto.

La interrupción de la corriente consiste en convertir un espacio altamente ionizado en el entrehierro en un buen aislante con el objeto de que la corriente no fluya a través de él. A medida que la corriente senoidal se aproxima al cruce por cero, el medio aislante ionizado pierde rápidamente temperatura con lo que recupera sus condiciones aislantes. En esta última condición aparece la tensión del sistema en los terminales del interruptor. La velocidad de transición del medio aislante depende de los parámetros eléctricos de la red.

2.2.7.2.3 Operación de cierre

Esta operación se realiza para energizar alguna parte del sistema, cuando el interruptor está abierto, la tensión en sus terminales es la tensión del sistema, a esta tensión se le denomina “tensión de cierre”. Al valor máximo de la corriente que fluye al cerrar el interruptor se le llama “corriente de cierre”. La “potencia de cierre” es el producto de la tensión de cierre por la corriente de cierre.

El tiempo de cierre de un interruptor es el que transcurre desde el momento de energizar la bobina de cierre hasta la conexión física de los contactos principales.

Durante el cierre, existen esfuerzos eléctricos entre los contactos a medida que éstos se acercan, estableciéndose arcos de preencendido que ocasionan desgaste adicional de los contactos. El caso más crítico se presenta cuando el interruptor cierra en condiciones de falla de máxima asimetría, dando un recierre en algunas ocasiones.

2.2.7.2.4 Características nominales de un interruptor

Las características nominales más importantes de un interruptor son las siguientes:

- a) Tensión nominal y tensión máxima de diseño.
- b) Corriente nominal.
- c) Frecuencia nominal.
- d) Presión nominal de operación del gas para maniobra e interrupción.
- e) Capacidad interruptiva nominal.
- f) Capacidad de cierre o de conexión nominal.
- g) Corriente nominal de tiempo corto.
- h) Secuencia de operación nominal.

Asimismo, existen otros parámetros de importancia que pueden ser tomados como nominales para cada equipo. Entre estos parámetros se tienen:

- a) Tensión transitoria de restablecimiento
- b) Corriente capacitiva nominal de interrupción.
- c) Nivel básico de aislamiento al impulso (NBAI).
- d) Niveles de contaminación.

2.2.7.2.5 Dispositivos de protección secundarios [13]

Estos dispositivos tratan los efectos de las sobretensiones de frecuencia atmosférica, de funcionamiento o industrial. Se pueden clasificar según el modo en el que están conectados en una instalación: protección en serie o paralela.

Dispositivo de protección en serie

Se conecta en serie a los cables de alimentación eléctrica del sistema que se va a proteger (véase la figura N° 2.11).



Figura N° 2.11 Principio de protección en serie

Todos estos dispositivos de protección en serie son específicos para un dispositivo o una aplicación. El tamaño debe ser acorde a la potencia de la instalación que se va a proteger. La mayoría de ellos requiere la protección adicional de un limitador de sobretensiones.

Transformadores

Reducen las sobretensiones inducidas y hacen que desaparezcan ciertos armónicos por acoplamiento. Esta protección no es muy eficaz.

Filtros

Se basan en componentes como resistencias, bobinas de inductancia y condensadores y se aplican a sobretensiones producidas por perturbaciones industriales y de funcionamiento correspondientes a una banda de frecuencia claramente definida.

Este dispositivo de protección no es adecuado para las perturbaciones de origen atmosférico.

Dispositivos de absorción de ondas

Se trata esencialmente de dispositivos compuestos por bobinas de inductancia de aire que limitan las sobretensiones y limitadores de sobretensiones que absorben las corrientes. Están especialmente indicados para proteger equipos informáticos y electrónicos sensibles. Sólo actúan contra sobretensiones. Sin embargo, son extremadamente voluminosos y costosos. No pueden sustituir por completo a los inversores que protegen las cargas contra cortes de alimentación.

Acondicionadores de red y fuentes de alimentación ininterrumpida estáticas (SAI)

Estos dispositivos se utilizan principalmente para proteger equipos extremadamente sensibles, como equipos informáticos, que necesitan una fuente de alimentación eléctrica de alta calidad. Se pueden utilizar para regular la tensión y la frecuencia, detener las interferencias y garantizar un suministro eléctrico continuo, incluso en el caso de que se produzca un corte del suministro eléctrico (para el SAI). Por otro lado, no están protegidos contra grandes sobretensiones de tipo atmosférico, para las cuales siguen siendo necesarios los limitadores de sobretensión.

Dispositivo de protección paralela

El principio

El dispositivo de protección paralela se puede adaptar a la instalación que se va a proteger (véase la figura N° 2.12).

Es el tipo de dispositivo de protección contra la sobretensión que se utiliza más a menudo.

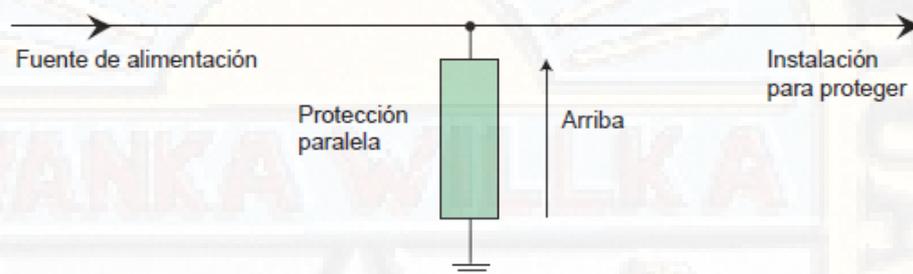


Figura N° 2.12 Principio de protección paralela.

Características principales

- La tensión nominal del dispositivo de protección debe corresponder a la tensión de la red en los terminales de la instalación: 230/400 V.
- Cuando no se produce ninguna sobretensión, ninguna corriente de fuga debe introducirse en el dispositivo de protección, que está en modo de espera.
- Cuando se produce una sobretensión por encima del umbral de tensión admisible de la instalación que se va a proteger, el dispositivo de protección conduce de forma violenta la corriente de sobretensión a la tierra limitando la tensión de protección U_p deseada (ver figura 2.13).

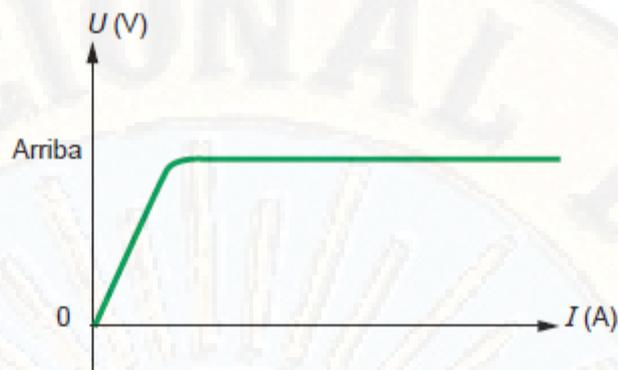


Figura N° 2.13 Curva U/I del dispositivo de protección ideal

Cuando desaparece la sobretensión, el dispositivo de protección deja de conducir la tensión y vuelve al modo de espera sin mantener corriente. Esta es la curva ideal característica de U/I:

1. El tiempo de respuesta (t_r) del dispositivo de protección debe ser lo más corto posible para proteger la instalación con la mayor rapidez posible.
2. El dispositivo de protección debe tener la capacidad de poder conducir la energía producida por la sobretensión predecible en el lugar que se va a proteger.
3. El dispositivo de protección contra las sobretensiones debe poder resistir a la corriente nominal I_n .

Existe un gran número de tipos de dispositivos de protección secundarios que se utilizan contra las sobretensiones. Se dividen en dos categorías: protección en serie y protección paralela. Los dispositivos de protección en serie se diseñan para una necesidad muy específica.

Sea cual sea la necesidad, la mayoría de las veces se trata de dispositivos de protección paralela o adicional. Los dispositivos de protección paralela son los que se utilizan con más frecuencia, independientemente de la instalación que se protege: red de alimentación, red telefónica, red de comunicación (bus). Uno de los más utilizados son los limitadores de tensión.

Limitadores de tensión

Se utilizan en centros de transformación de MT/BT en la toma del transformador. Como se utilizan únicamente en distribuciones con neutro aislado, pueden dirigir sobretensiones a la tierra, especialmente sobretensiones de frecuencia industrial (véase la Figura 2.14).

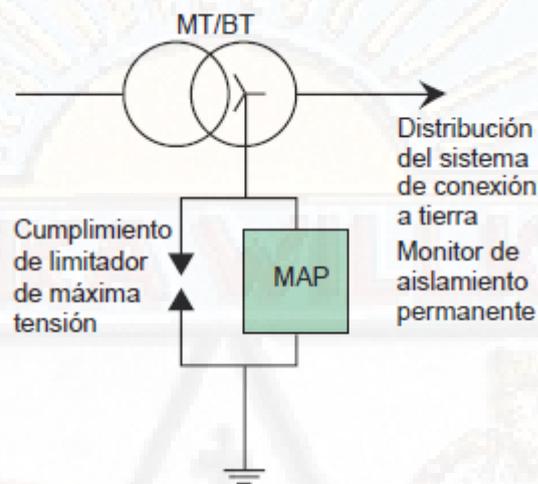


Figura N° 2.14 Limitador de tensión

Limitadores de sobretensiones de Baja Tensión (BT)

Este término designa dispositivos muy diferentes en lo que respecta a tecnología y a utilización. Los limitadores de sobretensiones de BT se presentan en forma de módulos que se instalan dentro del cuadro de BT. También existen tipos de conexión y los que protegen puntos de corriente. Garantizan la protección secundaria de elementos cercanos, pero disponen de poca capacidad de flujo. Algunos incluso se integran en cargas, aunque no pueden proteger contra sobretensiones fuertes.

Limitadores de sobretensiones

Protegen las redes telefónicas o de comunicación contra sobretensiones del exterior (rayos), así como del interior (equipo contaminante, de conmutación, etc.).

Los limitadores de sobretensiones de BT también se instalan en cajas de distribución o se integran en las cargas.

Descripción del limitador de sobretensiones

Un limitador de sobretensiones es un dispositivo que limita las sobretensiones transitorias y dispersa las ondas de corriente a la tierra para reducir la fuerza de la sobretensión y hacerla segura para las instalaciones y los equipos eléctricos.

El limitador de sobretensiones dispone de varios componentes no lineales, por ejemplo, varistores.

El limitador elimina las sobretensiones:

- En modo común: entre fase/tierra o entre neutro/tierra.
- En modo diferencial: entre fase/neutro.

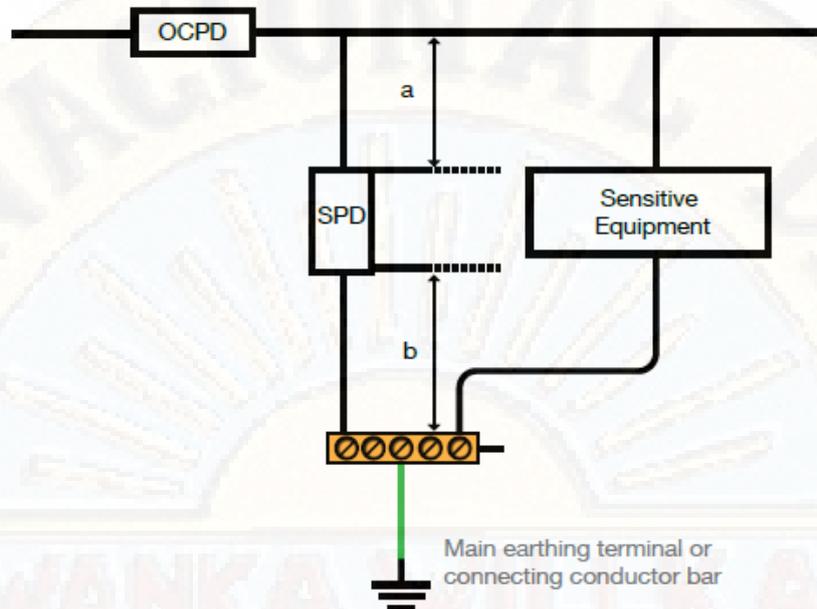
Cuando se produce una sobretensión que supera el umbral de U_c , el limitador de sobretensiones conduce la energía a tierra en modo diferencial.

El limitador de sobretensiones dispone de un dispositivo de protección térmico interno que evita que se queme al final de su vida útil. Gradualmente, con el uso normal y tras soportar varias sobretensiones, el limitador de sobretensiones envejece y se convierte en un dispositivo conductor. Un indicador visual informa al usuario de la proximidad del fin de su vida útil.

Algunos limitadores de sobretensiones incluyen una señalización a distancia. La protección contra cortocircuitos se garantiza cuando el limitador de sobretensiones es desconectado por el automático externo.

Dispositivos complementarios

Para obtener la máxima protección contra las sobretensiones, la conexión de conductores debe de ser lo más corta posible [14]. Esto para minimizar cualquier tensión que se adicione en los cables. Cuando el equipo sensitivo a proteger lo requiera, es posible elegir una protección que incluya dispositivos para combatir las sobretensiones y las sobrecorrientes como se aprecia en la figura 2.15.



OCPD overcurrent protection device, dispositivo protector contra sobrecorrientes
 SPD surge protection device, dispositivo protector contra sobretensiones

Figura 2.15: Protección con OCPD y SPD [15].

También se puede usar una protección en cascada para elevar el nivel de seguridad, como se aprecia en la figura 2.16.

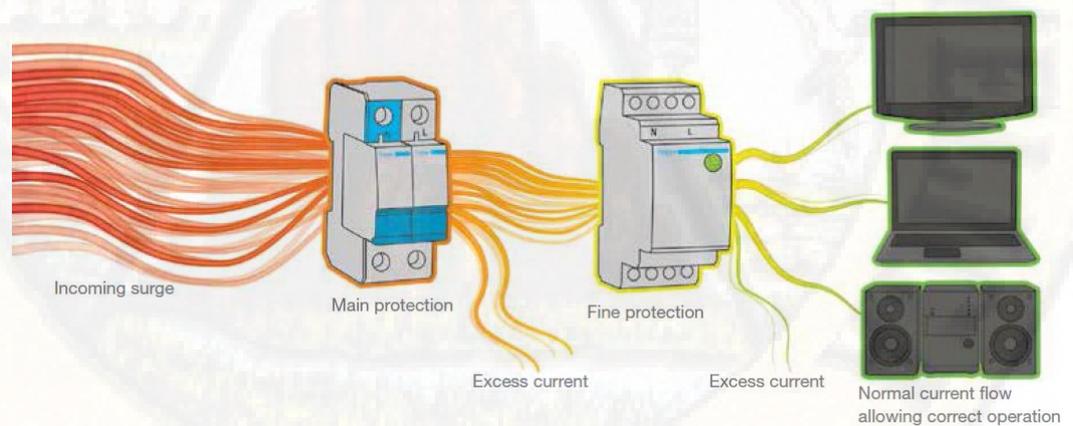


Figura 2.16: Protección en cascada de equipos [15]

2.2.8 Protección de sistemas de potencia debido a sobrevoltajes causados por descargas atmosféricas

2.2.8.1 El nivel isocerámico

Cuando se diseñan líneas de transmisión de energía eléctrica es conveniente saber hasta qué punto estas se encontrarán expuestas a los daños de las descargas atmosféricas, en particular si las líneas denotan tensiones nominales de operación inferiores a 300 kV.

De allí que la frecuencia local de las mismas sea de interés para el técnico de alta tensión. Para tal efecto se utiliza el concepto de nivel isocerámico, el cual indica el número de días por mes y año en que se puede oír truenos en un área de 10 km de radio, cuyo centro viene siendo el sitio en cuestión [16].

En Francia, el número de impactos de rayos en la tierra es entre 1 y 2 millones. La mitad de estos rayos que llegan a la tierra tiene amplitud menor de 30 kA, y menos del 5% excede los 100 kA.

Esta observación o registro del fenómeno se venía haciendo visualmente, lo cual en realidad resultaba ser una apreciación muy subjetiva. El nivel que se obtiene, además, al medir o cuantificar a los truenos es el isobróntico.

Afortunadamente, la Universidad Técnica de Darmstadt, en Alemania Occidental, desarrolló un instrumento para el registro automático de los rayos, el cual fue muy pronto aceptado por el CIGRE; hoy en día se conoce por consiguiente, como CIGRE COUNTER. El instrumento de CIGRE indica la densidad de rayos por año y km², operando a 10 kHz y 500 Hz en dos unidades diferentes.

A partir de los años 80 este instrumento se ha visto en parte desplazado por instrumentos altamente sofisticados, basándose en radares muy sensibles con soporte de computadoras y graficadores, los cuales indican la ubicación y avance de la tormenta en un radio de hasta 400 km.

No obstante, la mayoría de los países han levantado mapas isocerámicos con la ayuda de los contadores del CIGRE citados anteriormente.

En vista de la importancia que revisten estos contadores, es prudente resaltar sus ventajas:

Contador de 10 kHz: Este instrumento se recomienda para la medición de altas densidades de descargas atmosféricas ($> 5/km^2$), como las que suelen presentarse en zonas tropicales y subtropicales. Tiene la ventaja, además de poder diferenciar las descargas atmosféricas que inciden directamente sobre la tierra, de aquellas que ocurren dentro de la misma nube o entre nube y nube. Es necesario señalar que a los efectos de las líneas de transmisión interesan fundamentalmente las descargas que caen sobre la tierra.

Contador de 500 Hz: Este es el más sensible de todos los contadores y su aplicación se recomienda en áreas de baja actividad cerámica ($< 2/km^2$), o también se quiera detectar prematuramente la aproximación de nubes de tormenta.

2.2.8.2 Características del aislamiento

Es característico de la mayoría de los aislantes que el máximo voltaje que pueden soportar varía inversamente a la duración del voltaje. Puesto que los sistemas de potencia eléctrica están sometidos a diferentes tipos de sobrevoltajes, unos de larga duración y otros de corta duración, se requiere que el equipo de distribución de potencia de soporte por lo menos dos tipos de pruebas dieléctricas. Una de baja frecuencia (69 Hz) con duración de una minuto y establece la habilidad del aislamiento a soportar sobrevoltajes moderados de relativamente larga duración.

Las otras son pruebas de impulso que prueban que los aislamientos no fallaran ante olas de voltaje de gran magnitud y corta duración, como lo son los sobrevoltajes producidos por las descargas atmosféricas. De aquí la importancia de las pruebas de impulso.

2.2.8.2.1 Nivel básico de impulso

La prueba de impulso más comúnmente usada consiste en la aplicación de una onda completa de voltaje de 1.5 x 40 useg, de un específico valor de cresta, especificado en función del nivel del aislamiento del equipo involucrado. El valor de cresta es llamado Nivel Básico de Impulso (NBI) del equipo. Para simplificar el diseño y la aplicación de equipo eléctrico, varias sociedades como NEMA (National Institute of Electrical Engineers), y otras han establecido una serie de estándares del Nivel Básico de Impulso para transformadores en aceite, reactores inmersos en aceite, bushings de equipos, interruptores en aire, soporte de buses. Sin embargo bajo condiciones especiales, pueden ser fabricados equipos con bajo rango de impulso. Por ejemplo en sistemas de alto voltaje (115 kV y más) que son bien aterrizados, los transformadores pueden tener un paso abajo del valor estándar y logran un buen funcionamiento.

El nivel básico de impulso (NBI) estándar para transformadores de distribución y potencia, rectores y reguladores (todos inmersos en aceite), y transformadores de instrumentos con aislamiento clase 15 kV y menores están dados en la tabla 2.1.

Clase de aislamiento kV	Transformadores de distribución, reguladores de voltaje, transformadores de instrumentos inmersos en aceite			Transformadores de potencia y reactores limitados de corriente inmersos en aceite		
	Onda completa 1.5 x 40 (NBI) KV	Prueba con onda recortada		Onda completa 1.5 x 40 (NBI) KV	Prueba con onda recortada	
		Valor de cresta KV	Tiempo mínimo de arqueo <i>μseg</i>		Valor de cresta KV	Tiempo mínimo de arqueo <i>μseg</i>
1.2	30	36	1.0	45	54	1.5
2.5	45	54	1.25	60	69	1.5
5.0	60	69	1.5	75	88	1.6
8.66	75	88	1.6	95	110	1.8
14	95	110	1.8	110	130	2.0

Tabla 2.1 Valores Estándar Nivel Básico de Impulso (equipo inmerso en aceite)

Junto con la prueba de onda completa, los equipos son sometidos a una prueba de onda recortada. En ésta se aplican un voltaje predeterminado y se reduce sustancialmente a cero por el arqueo en un entrehierro en aire.

El valor de cresta alcanzado en el tiempo mínimo de arqueo también se presenta en la tabla 2.1 para equipos de 15 kV o menores. Para clases de aislamientos mayores, el valor de cresta de la onda recortada es aproximadamente 15 % que el NBI y el mínimo tiempo de arqueo en 3 μseg .

2.2.9 Protección de equipo electrónico sensitivo

2.2.9.1 Conceptos básicos

Los sobrevoltajes transitorios en los sistemas de potencia, ocurren cuando energía originada fuera del sistema es inyectada en las líneas que alimentan equipos sensitivos.

Por otro lado, el acoplamiento de transitorios en las líneas también es una fuente de sobrevoltajes dañinos. Pero la causa más común de sobrevoltajes, como ya se ha comentado en anteriormente, son las descargas atmosféricas y el cierre o apertura de fuentes de energía (switcheos).

En el caso de las descargas atmosféricas; la corriente de descarga del rayo, ya sea por impacto directo o llevada por un conductor de bajada de un pararrayos; genera un campo cuyos componentes eléctricos y magnéticos alcanzan valores considerables: varios kV/m y varias decenas de microteslas (mT). Esta radiación es recibida por todos los conductores, formando una antena que se convierte en el foco de las corrientes inducidas. Donde predomina el efecto de inducción magnética (campo H) en el caso de grandes superficies. El campo generado por la corriente i

(varios kA) en el conductor de bajada del pararrayos se conecta al bucle formado por los conductores del edificio, generando una tensión de varios kV.

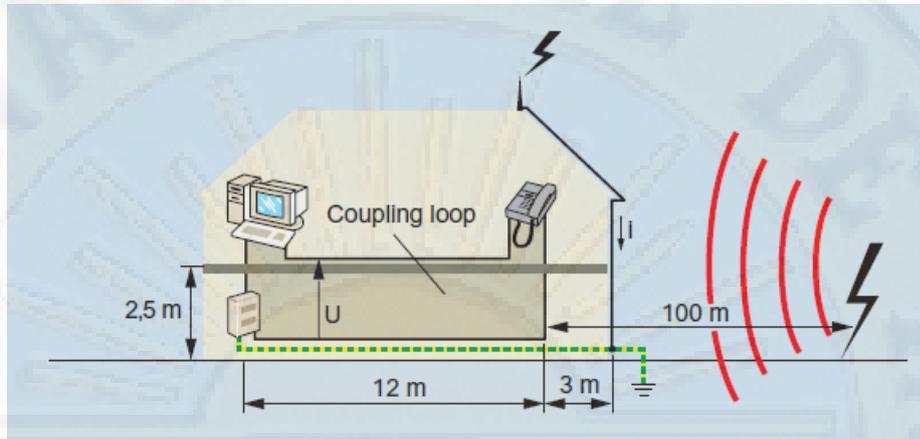


Figura 2.17 Sobrevoltajes producidos por inducción

Este fenómeno también ocurre, aunque en menor grado, cuando hay un impacto a cierta distancia, incluso tan lejos como varios cientos de metros (ver figura 2.17). Por ejemplo, una corriente de 10 kA a 100 metros de distancia va a generar una sobretensión de 600 V en un bucle de 30 m². La misma corriente producida por el rayo, en el conductor de bajada del pararrayos (ubicado a 3 m de distancia) generará una sobretensión de más de 15 kV. En el primer caso, la sobretensión puede ser absorbida sin demasiado daño, mientras que en el segundo caso, sin duda será destructiva.

Para la elección de un plan de protección, se debe tener en cuenta la superficie a proteger. Es siempre difícil de lograr una cobertura total de un sitio que se compone de varias estructuras de diferentes alturas; pero debe de tenerse siempre en cuenta lo siguiente:

- La probabilidad de caída de rayos determinando los puntos principales de impacto (torres, chimeneas, antenas, faroles, mástiles, etc.)
- La sensibilidad de los equipos alojados en los edificios (equipos de comunicación y de cómputo, PLCs, etc.)
- El riesgo potencial con el negocio o los tipos de material almacenado (peligros de incendio, explosión, etc.)

También hay que recordar que los numerosos enlaces entre los edificios (redes de ordenadores, equipos de vigilancia, comunicaciones, alarmas y potencia) pueden crear interferencias como resultado del efecto del campo electromagnético del rayo o la del gradiente de tensión generado en el suelo. En estos casos, hay dos formas de protección:

- a. Blindaje o el uso de jaulas de Faraday, así como la protección contra estos campos, principalmente mantener la equipotencialidad del enlace (conductor adyacente de puesta a tierra, torsión, apantallamiento del conductor, etc.)
- b. Desacoplamiento galvánico, que separará eléctricamente los edificios (optoacopladores, fibra óptica, aislamiento de los transformadores, etc.)

Por otro lado, los transitorios originados por switcheos en los sistemas de potencia emanan de la energía atrapada en cargas que serán desconectadas o de eventos que toman lugar en el interruptor al momento de abrir o cerrar. En general los transitorios aparecen cuando un cambio tiene lugar en el sistema. El cierre o apertura de un interruptor es un cambio abrupto. Durante el cierre de los elementos mecánicos del interruptor los contactos del mismo pueden rebotar, o un pre-encendido puede ocurrir antes del cierre de los contactos. El más simple de los transitorios debido al switcheo es típicamente limitado a dos veces el valor de pico del voltaje normal, pero en algunas condiciones pueden llegar a ser hasta tres veces el valor pico del voltaje.

Los más frecuentes tipos de ondas de voltaje es una onda con oscilación decaiente de 5 a 500 Hz. Mientras las formas de onda de un transitorio pueden tener infinidad de variedades, el IEEE en el estándar 587 (figura N° 2.18), ha designado una forma de onda como guía para circuitos de corriente alterna y bajo voltaje, ésta es representada como un transitorio de $0,5 \mu\text{seg} - 100 \text{kHz}$. Esta no describe un transitorio de onda circular, se está suponiendo lo más cercano a las condiciones reales de tal forma, que el ingeniero pueda probar y ver como sus equipos reaccionan ante ésta. El cumplimiento de este estándar será parte de un logro de los fabricantes para proteger sus equipos adecuadamente.

No obstante las magnitudes de la onda de voltaje y su frecuencia de ocurrencia en circuitos no protegidos, son bien conocidos, sus formas de onda y energía contenidas no lo son tanto. Esto confirma nuestra idea de que las ondas de voltaje pueden dañar el equipo o causar mal funcionamiento en sistemas industriales como en sistemas residenciales.

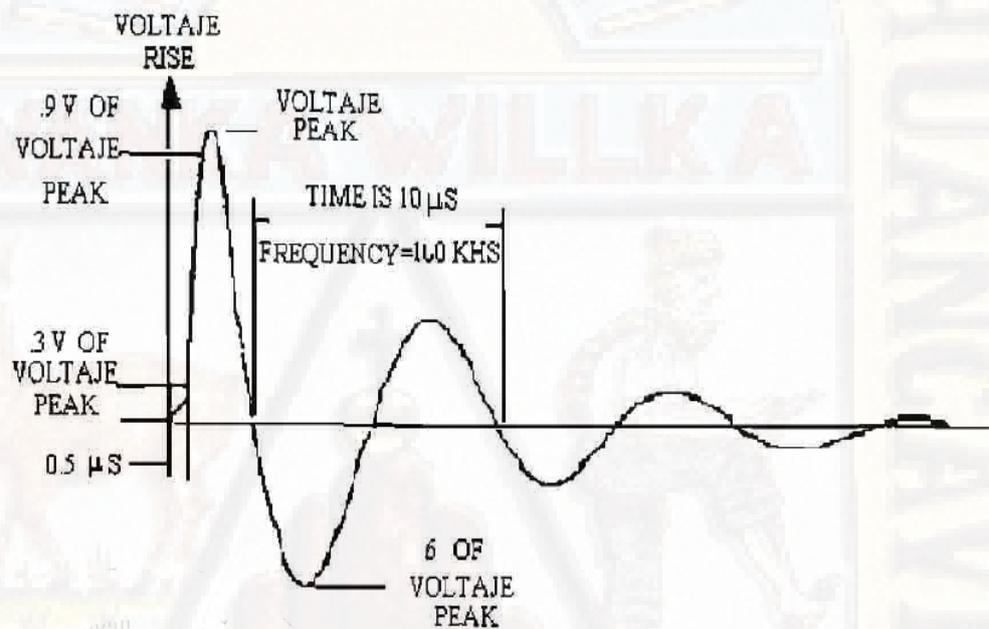


Figura N° 2.18 IEEE 587 onda circular 0,5 μ seg – 100 kHz

Con esto estamos sugiriendo que los transitorios ocurren dentro de nuestras instalaciones y por lo tanto en nuestros equipos electrónicos, pero la supresión de los mismos debe comenzar desde el exterior del edificio, esto es que mientras la descarga trata de arribar al cuarto de computadoras, antes, las desviamos, atrapamos o las cortocircuitamos.

La IEEE trata el transitorio desde la entrada del servicio eléctrico, (figura N° 2.19).

Como ya se comentó anteriormente se necesita un supresor de transitorios que pueda manejar esta forma de ondas y voltajes hasta los 6 kV y hasta 500 amperes. Aunque también sabemos que estos transitorios en una residencia, causados por cierre o apertura de interruptores pueden ser de 1200 volts o mayores y ocurrir una o más veces por semana, éstas afectan seriamente el disco duro y pueden llegar a incendiario. Estas son las razones por las cuales se deben proteger adecuadamente los equipos sensitivos.

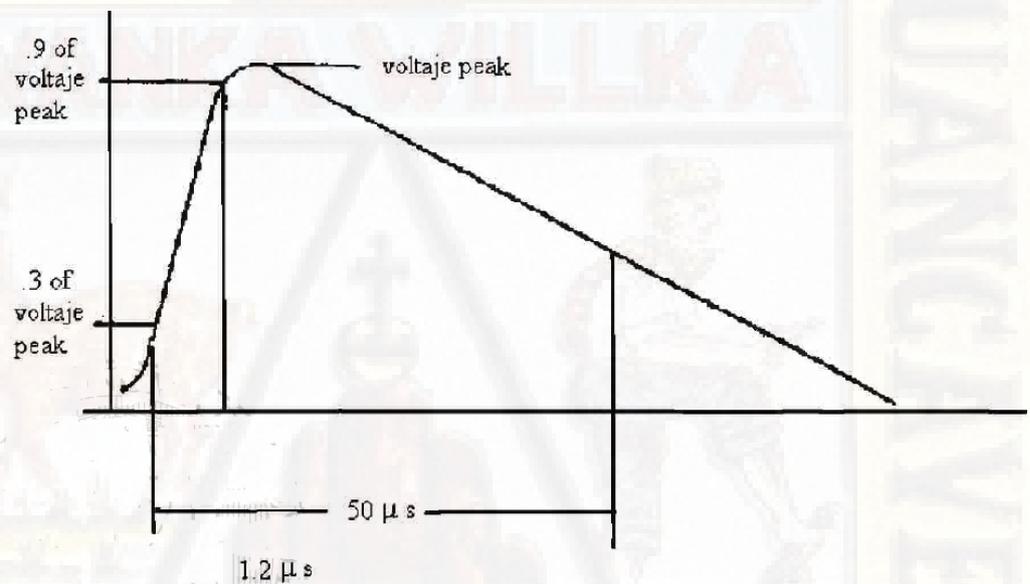


Figura N° 2.19 IEEE forma de onda externa

2.2.9.2 Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra (SPT) es una parte del Sistema de Protección Externa (SPE) que conduce y dispersa corrientes de rayo en el suelo o terreno.

Comprende toda unión directa entre los equipos eléctricos y electrónicos con el terreno o una masa metálica, con el objeto de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no existan diferencias de potencial peligrosas (tensiones de paso y de contacto) y que, al mismo tiempo,

permita el paso a tierra de las corrientes de falla o de los rayos. Debe tener una resistencia en baja frecuencia menor a 10 ohmios [17-19].

Como regla general, cada conductor de bajada debe terminar en un electrodo de puesta a tierra que puede consistir en conductores (por lo menos tres) en un diseño de pata de cabra enterrado al menos 0,5 m o varillas de tierra profunda, preferiblemente en disposición triangular.

Los objetivos de un sistema de puesta a tierra son:

- a. La protección de personal, limitando las tensiones de paso y de contacto a valores seguros.
- b. La protección de instalaciones contra daños por rayos.
- c. La compatibilidad electromagnética, para la limitación de perturbaciones electromagnéticas.
- d. El correcto funcionamiento de la red de energía eléctrica al servir como referencia común de tensión.

2.2.9.3 Características de los descargadores de sobretensiones

Varios dispositivos han sido desarrollados para proteger los equipos electrónicos de los transitorios. El término supresor de transitorios es un poco engañoso, realmente estos atrapan, limitan o desvían. No pueden suprimir del todo pero pueden desviarlos a tierra o limitarlos a valores aceptables.

Hay dos clases básicas de dispositivos: el tipo de desviadores y el tipo restrictores, éstos últimos no son muy complicados, simplemente ofrecen una alta impedancia a la frecuencia transitoria o alta resistencia a la propagación del transitorio. Esto se lleva a cabo con el uso de resistencias o inductancias en serie con el circuito. Los desviadores tienen propiedades que los hacen conducir bajo ciertas condiciones, permitiendo al transitorio encontrar un camino a tierra. Estos están conectados en paralelo de línea a tierra y toman dos formas básicas: pata de cabra (crow bar) y trampa de sobrevoltajes (clamps).

2.2.9.3.1 Pata de cabra (crow bar)

Cuando ocurre un sobrevoltaje, el dispositivo cambia de una alta impedancia a un dispositivo de baja impedancia, en estas condiciones ofrece una trayectoria a tierra, apartando la onda del equipo sensitivo, el cambio de estado en este dispositivo es inherente al mismo dispositivo. La mayor ventaja de estos dispositivos es su habilidad para manejar ondas grandes de corriente sin descomposición o sobrecalentamiento. Esto significa que la energía del transitorio deberá ser disipada en cualquier lugar del circuito, por supuesto que el propósito de este aparato es ver que la energía no sea consumida en la computadora. Cuando un dispositivo del tipo gap se incendia, crea su propio transitorio por switcheo dependiendo de la corriente y el tipo de carga, es posible que un evento de corta duración se convierta en uno de larga duración. Sin embargo, este dispositivo es simple u de bajo costo, que cuando se usa en combinación con otros métodos de supresión es una buena línea frontal de defensa.

Al ir aumentando el voltaje a través del gap, puede ocurrir una pequeña conducción mientras se alcanza el voltaje de arqueo. Este voltaje puede ser algunas veces entre 1500 y 3000 voltios, esto puede tomar unos 10 nanosegundos para que el gap llegue a conducir (figura N° 2.20).

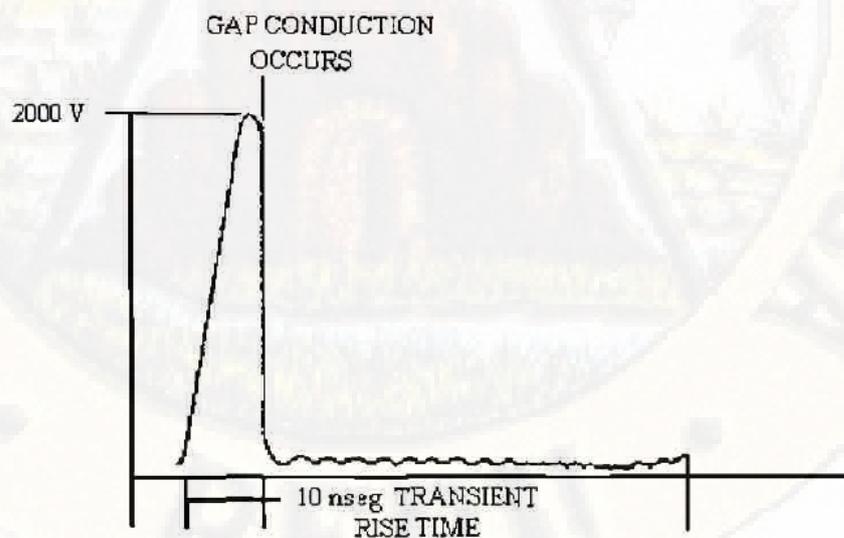


Figura N° 2.20 Inicio del disparo del gap en 10 nanosegundos

Cuando se alcanza el punto de conducción, el gas entre los puntos de conducción llega a su condición para conducir; y esta cesará después de que la corriente llegue a cero y permanezca ahí lo suficiente para la desionización de su trayectoria y recuperar su estado de aislamiento lo cual toma varios ciclos.

El problema con este proceso es que mientras el voltaje está creciendo, la carga esta desprotegida. El voltaje típico de conducción puede también ser afectado por el tiempo de descanso entre conducción, la naturaleza física del proceso hace difícil la producción de voltajes de arqueo al disminuir los niveles de voltaje. Esto es también función de las tolerancias de fabricación para distancias muy pequeñas en los gaps. Parte de estas limitaciones pueden ser aliviadas por la colocación de gap en un tubo lleno de gas teniendo menor voltaje de ruptura que el aire.

Las compañías suministradoras de energía tienen sus procedimientos de instalación apartarrayos en la entrada de los edificios. Apartarrayos es un término inapropiado para designar a estos dispositivos, ya que su mejor función es desviar la energía que atrapan. Como la onda de voltaje se mueve hacia la carga es ampliamente atenuada por el transformador de servicio del edificio; el aislamiento entre el primario y el secundario del transformador sirve para amortiguar el transitorio a la entrada, este es el lugar ideal para colocar un dispositivo del tipo gap.

Sí el apartarrayos se coloca muy alejado en la línea, entonces sólo en algunos circuitos, por ejemplo los alimentadores de las computadoras, la onda podría encontrar otros caminos a través de varias clases de metales de la construcción del equipo de cómputo.

Si se coloca el apartarrayos en el secundario del transformador del servicio del edificio, esto condiciona a toda la potencia a entrar al edificio. Algunos fabricantes recomiendan apartarrayos dentro de los cuartos de computadoras, aunque esta

práctica no sea muy aceptada por que al desviar ondas de sobrevoltaje cerca de la computadora esta podría viajar a través de la tierra del equipo y causar daños irreparables en los microcircuitos.

2.2.9.3.2 Trampas de sobre voltaje (clamps)

Los dispositivos que atrapan ondas de sobrevoltaje tienen un cambio de impedancia que depende del flujo de corriente a través de ellos o del voltaje que aparece en sus terminales, las trampas tienen características no lineales al cambiar sus condiciones más allá del nivel de trapeo. A diferencia de los dispositivos del tipo chispazo, la instalación de una trampa no afecta la operación del circuito a niveles de voltaje de estado estable por debajo del nivel de trapeo. Cuando el transitorio de voltaje comienza a crecer, un flujo de corriente nace a través del dispositivo resultando una trampa para el voltaje ya que la corriente va a crecer más rápido de cómo crece el voltaje. Este efecto puede ser logrado con cualquier dispositivo que tenga una impedancia no lineal.

2.2.9.3.3 Diodo avalancha

Los diodos avalancha son parte de la familia del diodo zener que inicialmente se usaron como reguladores de voltaje. Especial atención en la construcción mejora su *capacidad de trapeo de voltaje*. *Uniones de gran diámetro con una gran capacidad de disipación de calor*, hacen del diodo avalancha un buen supresor. Por ello, éstos son usados típicamente en instalaciones de bajo voltaje, en circuitos lógicos; sin embargo, pueden construirse para manejar aún voltajes más elevados.

Los supresores a base de silicio pueden fabricarse para una amplia gama de características supresoras (figura N° 2.21). Si se grafica el pulso de corrientes contra el voltaje de trapeo, encontramos que la curva es sorprendentemente plana sobre el rango de voltaje útil del dispositivo. Aunque la unión PN del diodo es muy delgada, la capacitancia puede ser una consideración dependiendo de la aplicación, pero se minimiza colocando varios diodos en serie. La ventaja del diodo es su rápida respuesta a incrementos de corriente de elevación rápida.

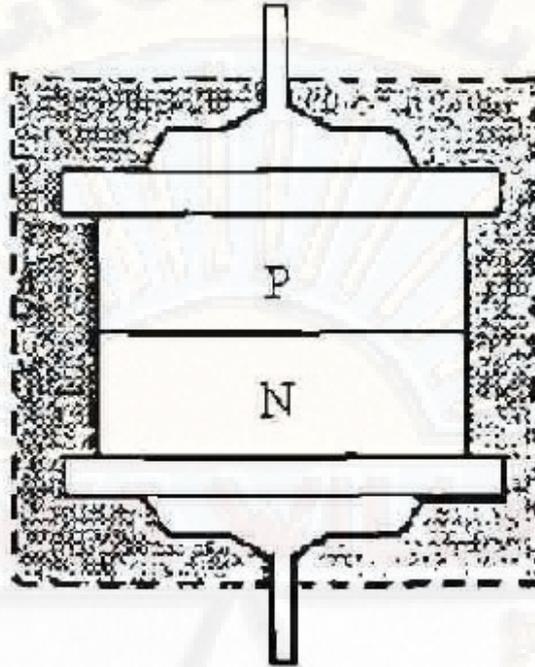


Figura N° 2.21 Supresor de silicio

2.2.9.3.4 Varistores

Estos dispositivos tienen la propiedad de presentar una resistencia muy elevada para las tensiones normales del circuito, mientras que cuando se presenta una sobretensión, la resistencia del varistor se hace muy pequeña; derivando ésta a tierra, protegiendo así al receptor.

Pueden conectarse en modo común (entre fase y tierra y entre neutro y tierra) y en modo diferencial (entre fase y fase y entre fase y neutro). También hay descargadores en modo mixto.

Se le suele colocar un PIA (pequeño interruptor automático) en serie para, en el caso de que se destruya, no dejar la instalación en cortocircuito. En el cuadro de

protección y mando de una vivienda se colocaría entre el Interruptor General Automático (IGA) y el Interruptor Diferencial (ID), en modo común.

Existen dos tipos de varistores. El primero hecho a base de carburo de silicio, ha estado en la industria por algún tiempo y ha sido exitosamente usado como un dispositivo supresor de transitorios; pero recientemente otra tecnología ha desarrollado varistores de óxido de metal.

Las propiedades de los varistores de carburo de silicio fueron encontradas por casualidad y su proceso de conducción no lineal aún es sujeto de especulaciones.

Los varistores de óxido de metal (MOV) han venido a ser muy populares por su amplio rango de aplicaciones. El proceso de conducción en el MOV toma lugar en los límites de grandes granos de óxido de zinc formados en un delicado proceso y suspendidos en óxido de bismuto. Las uniones PN existen efectivamente en la interface entre estos materiales (figura N° 2.22).

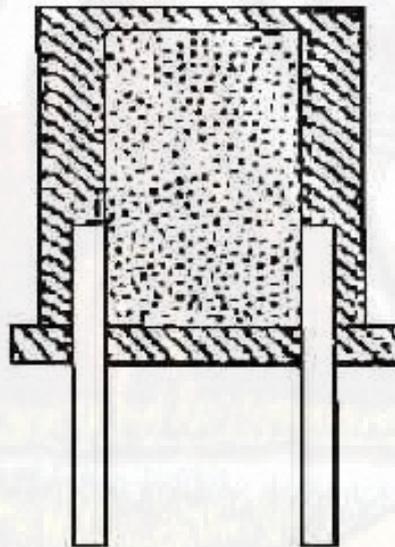


Figura N° 2.22 Varistor de óxido de metal

Las características básicas de funcionamiento de un MOV son similares a la de los de carburo de silicio y la selección entre ellos depende de los voltajes de trampeo y de la capacidad para manejar energía. Los MOV's generalmente manejan grandes cantidades de energía, mientras que los de carburo de silicio son recomendables para atrapar ondas de menor voltaje.

2.2.9.3.5 Métodos de protección usando fusibles

Como ya se mencionó, los dispositivos del tipo gap, actúan como un corto circuito y absorben pequeñas cantidades de energía, mientras los dispositivos de estado sólido como los MOV's absorben grandes cantidades de energía y debido al esfuerzo al manejar esta energía los dispositivos MOV's eventualmente fallan.

Un fuerte golpe de esta energía o varios golpes ligeros de la misma, pueden causar el rompimiento de las uniones internas viniendo a ser un camino sólido para el flujo de corriente. Hay dos formas de tratar esta corriente y ambas involucran la colocación de un fusible en el circuito.

La figura N° 2.23 muestra los dos métodos de protección usando un fusible. En la figura 2.23-A, tenemos la necesidad de proteger el equipo a cualquier costo, pues de otro modo permitiríamos que el equipo saliera de servicio por una falla en el supresor. En la figura 2.23-B, tendríamos una operación continua. El dispositivo puede fallar cortocircuitándose y hacer que se dispare una protección interrumpiendo la potencia o señal de transmisión, si está instalado en la línea de datos [20].

La colocación de un fusible en serie con el dispositivo, asegura una operación continua y con una luz indicadora puesta en paralelo con el fusible, de tal modo que el operador pueda ver que el dispositivo tenga que ser reemplazado.

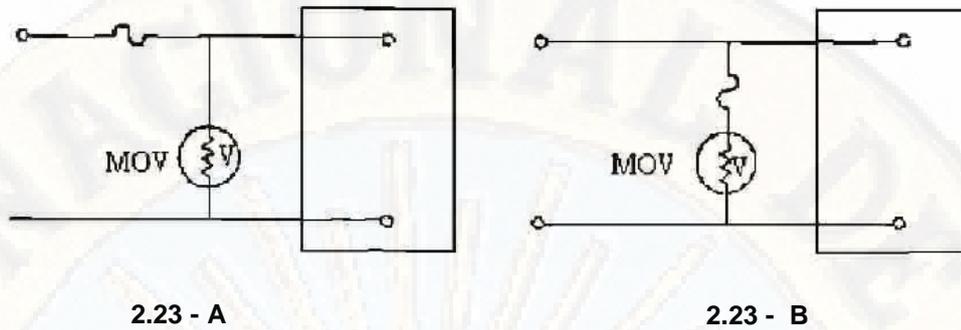


Figura N° 2.23 Métodos de protección usando fusibles

2.2.9.4 Métodos de acople de los sobrevoltajes en equipo electrónico sensitivo

Los mecanismos de acoplamiento para ondas de voltaje o corriente de gran crecimiento en un tiempo corto, pueden categorizarse como: de espacio libre o de alcance de campo.

2.2.9.4.1 Acoplamiento de espacio libre

La onda de energía en el acoplamiento de espacio libre, puede dividirse en dos rangos: de campo cercano y de campo alejado. El rango de campo cercano involucra a los conductores que están lo suficientemente cerca que pueden generar acoplamiento inductivo (magnético) o capacitivo. El rango de campo alejado involucra la radiación e intercepción de ondas electromagnéticas como el principal mecanismo de acoplamiento.

2.2.9.4.2 Acoplamiento inductivo (magnético, campo cercano)

Los circuitos electrónicos sensitivos que están físicamente cerca, pero no en contacto directo con una fuente de ondas de sobrevoltaje, pueden sufrir daños sin que aparezca un arco o descarga.

Debido a la gran característica di/dt de la onda, los voltajes pueden ser electromagnéticamente inducidos en los conductores cercanos. Este efecto esta

descrito en la figura 2.24 para el caso de ondas en el conductor de bajada a tierra de las puntas pararrayos. El voltaje inducido en ese instante es función de la geometría de la malla, la distancia del conductor de bajada y la razón del cambio de corriente.

Este acoplamiento no deseado de la fuente de ondas de energía en los circuitos sensitivos, es posible darse por la colocación de cualquier conductor que lleve una corriente y se encuentre en la proximidad de los circuitos.

El área encerrada por la malla de los circuitos sensitivos es un parámetro importante, a mayor área menores problemas de acoplamiento. La magnitud del voltaje inducido en los circuitos sensitivos no es función de la impedancia de los mismos, la magnitud del voltaje es igual para circuitos de alta o baja impedancia, y esto puede ser problemático para los de baja impedancia o circuitos sin protección contra sobrevoltajes.

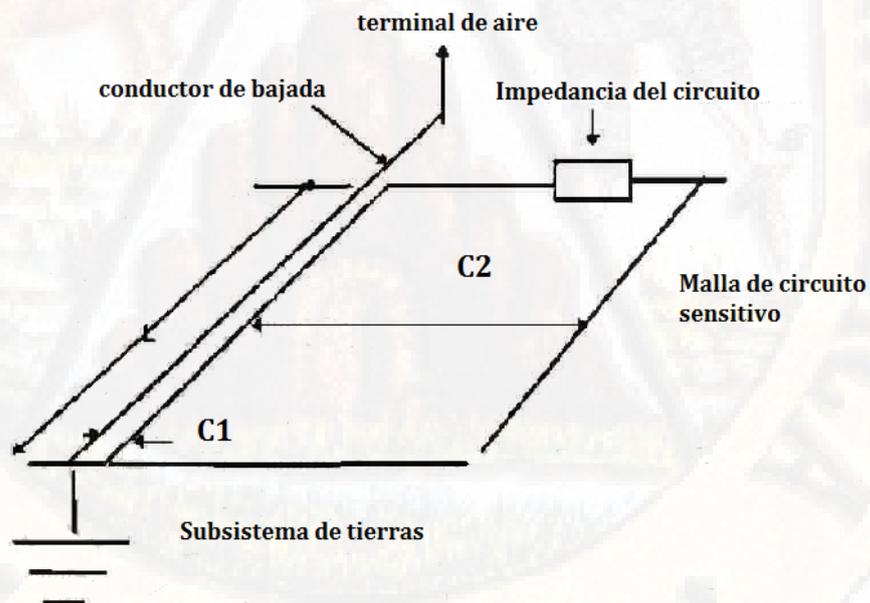


Figura 2.24 Acoplamiento inductivo de onda de corriente al equipo sensitivo

2.2.9.4.3 Acoplamiento capacitivo (electrostático) (campo cercano)

Este tipo de acoplamiento de la fuente de onda de energía, es un fenómeno de tipo electrostático, y puede darse entre circuitos muy próximos entre sí. Los parámetros importantes son: el espaciamiento, el área mutua expuesta y la constante dieléctrica entre la fuente y el circuito sensitivo. Los niveles de acoplamiento dependen también de la amplitud y de la razón del cambio de voltaje, capacitancia de acoplamiento, capacitancia de dispersión del circuito sensitivo así como la impedancia del mismo. En bajas frecuencias acopladas capacitivamente, el voltaje se eleva con el incremento de la capacitancia de acoplamiento y con el crecimiento de la impedancia del circuito sensitivo. En altas frecuencias los voltajes de acoplamiento crecen con el incremento de la capacitancia de acoplamiento y con la disminución de la capacitancia de dispersión del circuito.

2.2.9.4.4 Acoplamiento electromagnético (campo lejano)

Para los circuitos sensitivos este acoplamiento ocurre cuando el circuito actúa como una antena receptora para la energía electromagnética. La corriente inducida de este modo aumenta con la intensidad del campo magnético en la vecindad del circuito y así mismo con la efectividad del circuito actuando como antena. La magnitud del campo es función inversa de la distancia de la fuente de radiación.

La efectividad del circuito actuando como antena, depende de su longitud y geometría relativa a la longitud de onda de la señal de ruido. El circuito sensitivo exhibe la necesaria condición de resonancia al interferir las frecuencias del campo.

2.2.9.4.5 Interacción con cables enterrados

La medida y análisis de los voltajes transitorios inducidos por cables enterrados indican que son una función de los parámetros del cable o cables, profundidad, resistividad del suelo, forma de las terminales del cable, agregado a lo que puedan proporcionar elementos propios de la misma construcción del edificio, como tuberías

de agua, líneas de potencia y otros conductores cercanos. Otros parámetros importantes son la longitud del cable y la capacidad dieléctrica del forro del cable. La resistividad del suelo es importante en la determinación de las ondas de voltaje inducidas por rayos, el voltaje pico y la corriente de transitorio son aproximadamente proporcionales al cuadrado de la resistividad del suelo.

Los cables enterrados muy profundamente, sufren menos el efecto de los golpes del rayo, debido a una gran atenuación de las ondas de alta frecuencia cerca de la superficie de la tierra, del mismo modo el hilo de guarda de las líneas aéreas sobre los cables enterrados, pueden reducir el impacto de las corrientes a tierra.

2.2.9.4.6 Interacción con cables aéreos

El uso de conductores aéreos para interceptar descargas de origen atmosférico, para la protección de los cables que están por debajo de estos conductores, es una práctica común. Existen varias teorías que explican la zona de protección de estos cables de protección o hilos de guarda.

Los diferentes daños ocasionados por las descargas ya han sido estudiados, y las estrategias de protección básicamente consisten en desviadores de onda de corriente e hilos de guarda aterrizados. Los sistemas de distribución están formados de cables aéreos que forman mallas de formas geométricas diversas, en general.

El voltaje inducido de circuito abierto en estas mallas es una función del tamaño de la malla y de la razón del cambio del flujo magnético a través de la sección transversal de la malla. Dependiendo de la severidad de la onda y de la susceptibilidad del equipo sensible pueden darse tres tipos de daños:

Daños a la información o líneas de datos, esfuerzos en la circuitería y destrucción de la misma. Las líneas de datos son susceptibles a interferencias de ondas de sobrevoltaje por conducción, acoplamiento inductivo o capacitivo y radiación electromagnética.

Esfuerzos en la circuitería son debidos a simples descargas u ondas por conmutación que a menudo causan daños que contribuyen a la falla de los aparatos. La tercera causa posible de daño es la destrucción total del a circuitería.

2.2.10 Esquemas de protección contra sobretensiones

Los esquemas de protección variarán de acuerdo a las características de cada tipo de sobretensión. La colocación de pararrayos o supresores de picos en las líneas de distribución han demostrado ser una solución adecuada para sobretensiones atmosféricas, más no protegen al sistema de las sobretensiones de maniobra o de frecuencia industrial. Por esta razón la protección óptima de los sistemas eléctricos dependerá de cuan bien se puedan combinar los esquemas de protección.

El esquema de protección ante sobretensiones transitorias que se muestra la Figura 2.25, busca la desconexión de los equipos conectados a la red, al momento de presentarse una situación en el sistema eléctrico que esté fuera de los límites de operación [21].

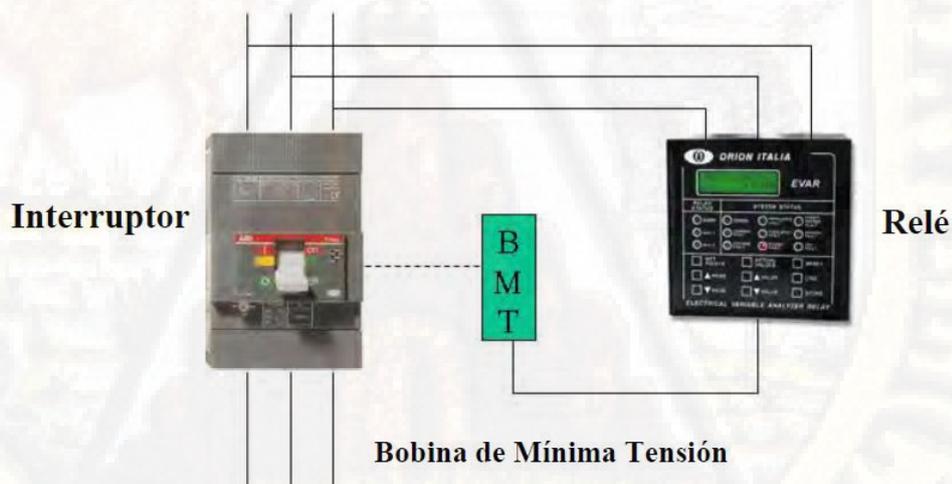


Figura 2.25 Esquema básico de protección por voltaje

Los relés de protección son el elemento principal de este esquema, pues ellos son los encargados de determinar si los valores de tensión se encuentran fuera de los rangos normales de operación, y en caso de ser afirmativo enviar la señal a los accesorios encargados de generar el disparo de las protecciones.

2.2.11 Prácticas recomendadas de diseño para evitar daños por sobrevoltajes

Existe una gran cantidad de recomendaciones para que el diseño, selección e instalación de los modernos equipos electrónicos, como las que ofrece el IEEE para este particular. Las instalaciones de equipo sensitivo, grandes o pequeñas serán afectadas por una serie de códigos, estándares y regulaciones que le darán al proyecto las garantías de seguridad en el funcionamiento de las mismas.

Todas las recomendaciones irán dirigidas, sin duda, hacia la seguridad del personal que opera estos equipos así como a la conservación de los mismos. Desde la selección de un sistema trifásico contra un sistema monofásico, la correcta selección de los voltajes de operación, el cálculo correcto de los calibres de los cables alimentadores, el cálculo de la caída de tensión en los alimentadores, la selección de un sistema de energía ininterrumpida, la selección del sistema de tierras más adecuado para el aterrizaje seguro del equipo, así como el sistema de aterrizaje del edificio.

La correcta selección de los conductores y ductos abiertos o cerrados que llevarán conductores eléctricos, deberán respetar los lineamientos dados por el Código Nacional Eléctrico en vigor.

2.2.12 Prácticas recomendadas para la instalación de dispositivos protectores

Se establecen diferentes recomendaciones para la correcta instalación de los dispositivos protectores contra las sobretensiones, pero en particular se comentará la denominada protección multietapa. Las trampas de sobrevoltaje son apropiadas para colocarse en diversos sitios desde la entrada de servicio hasta la propia computadora, incluyendo la línea de datos. Hay que asegurarnos que, puesto que las ondas serán llevadas a tierra, las trayectorias de diversificación no provoquen otro

problema, también cuando estos dispositivos fallan pueden incendiarse, por lo tanto deberán encapsularse adecuadamente.

La selección de uno u otro dispositivo debe ser apropiada al transitorio que va a proteger. La figura N° 2.26 muestra una forma de protección multietapa. Esto se puede ver como tres etapas de protección; la primera etapa desvía impulsos que contienen una gran cantidad de energía a tierra. Unos cuantos nanosegundos de energía se fugarán pasando esta etapa, tubos de gas nos protegerán de esta gran cantidad de energía destructiva, pero esto requiere una elevada entrada de energía para disparar el tubo de gas y el disparo crea condiciones transitorias de voltaje y corriente suficientes para dañar el equipo de cómputo.

La segunda etapa es un inductor o resistor, un inductor bien diseñado ofrece una impedancia despreciable a la onda senoidal de corriente alterna pero ofrece una alta impedancia a los transitorios de rápido crecimiento con el tiempo. Cinco metros de alambre o más pueden tener el mismo efecto inductivo. Esta impedancia actúa como una barrera al transitorio atrapándolo mientras los otros supresores tienen tiempo para reaccionar, RFI y el ruido ven la misma impedancia que un transitorio de rápido crecimiento.

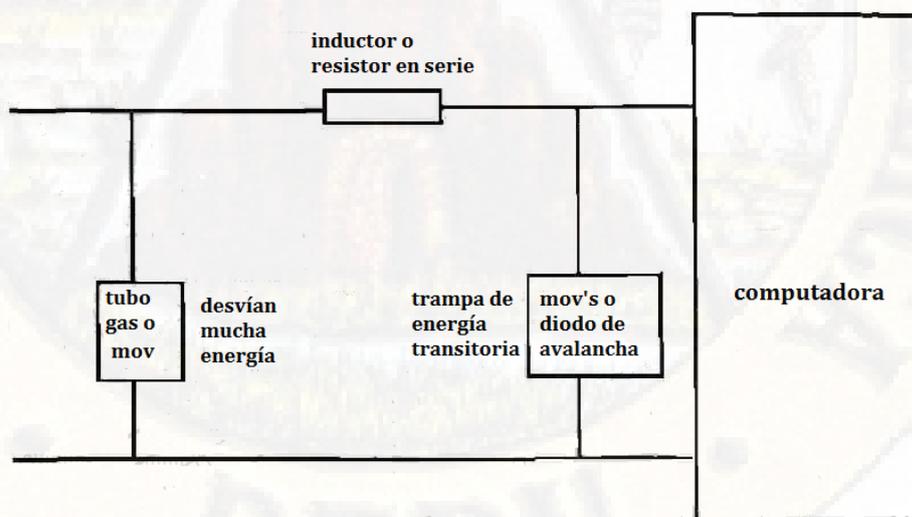


Figura N° 2.26 Combinación típica de varios elementos para protección de transitorios

2.2.12.1 Instalación de supresores

Como se ha venido exponiendo, hay diferentes localizaciones apropiadas para la colocación de trampas de sobrevoltaje, esto incluye la entrada y salida de transformadores, moto-generadores, sistemas de energía ininterrumpida y sus switches de paso automáticos, y las entradas al equipo de cómputo. Se debe enfatizar siempre en un buen sistema de puesta a tierra y en la adecuada colocación del supresor especialmente dispositivos del tipo pata de cabra (crow bar).

La operación de este dispositivo consiste en pasar grandes cantidades de energía a tierra. En la figura N° 2.27, podemos observar una línea de datos entrando al edificio, se han colocado apartarrayos multietapa cerca de la entrada del edificio y aterrizados a una varilla de tierra.

El equipo de comunicaciones computarizado está conectado a una toma distinta de tierra. Podemos ver que hay un camino a través de la línea de datos, a través del circuito integrado de comunicación, el cual es alimentado por una fuente que está aterrizada a través del alambre verde de tierra.

Aquí podemos observar también un camino a través de la tierra regresando al apartarrayos. La inductancia de la terminal verde de tierra podría ser lo suficientemente grande de tal manera que durante la conducción de la terminal pueda ser mayor que lo que pueda soportar el circuito integrado.

El voltaje que el circuito integrado ve es la suma del voltaje de trampeo del apartarrayos y la caída de voltaje a través de la terminal de tierra de la inductancia. Si el transitorio es atrapado por el supresor digamos a unos 30 volts, la impedancia a tierra del dispositivo puede ver unos 200 volts desarrollados a través de ella debido al flujo de corriente.

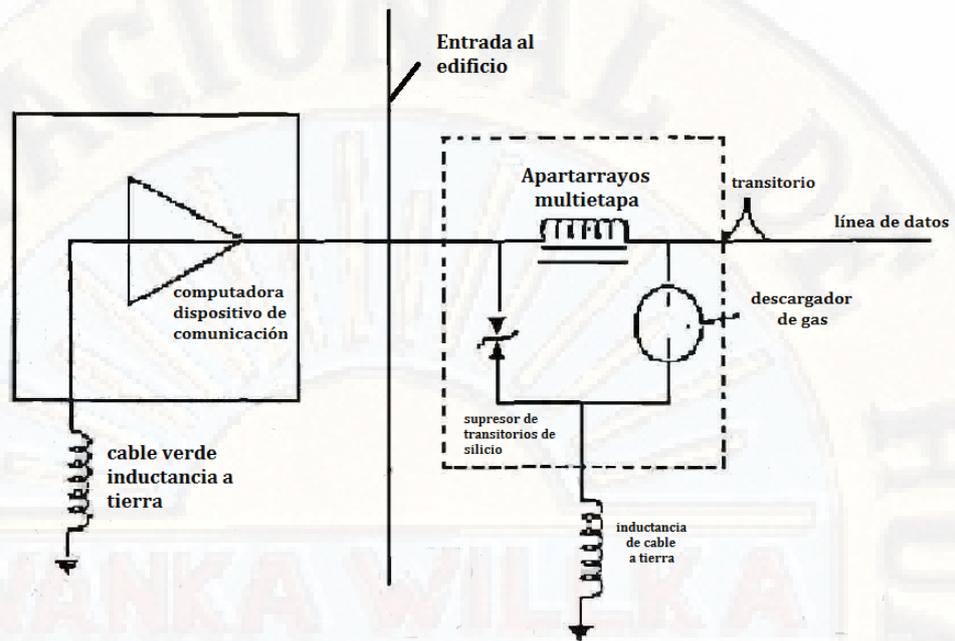


Figura N° 2.27 Ubicación del apartarrayos próximo a la línea de datos

El circuito integrado verá 200 volts entre la línea de datos y tierra, y con esto anula al circuito integrado. La solución a este problema es conectar la terminal de tierra de los supresores de transitorios a un punto de tierra del sistema de tierras del edificio, esto mantendrá alejada la onda de corriente de la computadora. Si esto no es posible, la práctica indica que la línea de datos entra al edificio en las cercanías de la computadora.

Si este fuera el caso, lo más lógico sería enlazar la tierra de los supresores de transitorios a un punto del plano de tierra de la computadora. Con esto realizado, la caída de 200 voltios será igual por la computadora y el supresor, esto significa que ambos, el circuito integrado y la línea de datos están referidos a 200 voltios; ahora el circuito integrado sólo verá los 30 voltios atrapados en la línea de datos.

A nuestro equipo no le interesa si están referenciados a un plano de tierra de 20000 voltios, cuando este voltaje está equilibrado entre los gabinetes, el equipo opera adecuadamente, y la tierra mantendrá un adecuado camino en el circuito.

Extrañamente este plano de tierra de 20000 voltios ha ocurrido durante tormentas eléctricas, y en esas condiciones las luces podrán parpadear pero la computadora seguirá trabajando como si nada pasara.

2.2.12.2 Tierra del equipo

Se define como tierra del equipo a la continua y permanente unión de todas las partes metálicas expuestas no portadoras de corriente, de equipo fijo (conduits, charolas, cubiertas de paneles, cubiertas metálicas de motores) y la conexión de este sistema al de electrodos de tierra de edificio ya sea en el equipo de servicio o en el secundario de un transformador de un sistema interior separado.

Objetivos

- 1) Asegurarse que no exista la posibilidad de electrocutamiento del personal en el área, limitando el voltaje a tierra de cualquier parte metálica no diseñada para conducir corriente en condiciones normales de operación.
- 2) Evitar daño térmico. Proveer una capacidad adecuada de conducción de corriente (en magnitud y duración), para aceptar la corriente de falla a tierra permitida por el sistema de protección de sobrecorriente, sin crear incendio o explosión en el edificio.
- 3) Asegurar el desempeño óptimo del sistema de protección. Facilitar la rápida apertura de los dispositivos de protección contra sobrecorrientes en caso de una falla a tierra.

En un sistema eléctrico que contenga circuitos sensitivos, puede haber varios subsistemas conectados a un sistema de tierras. Las partes metálicas no portadoras de corriente deben estar puestas a tierra según se ha comentado anteriormente.

La circuitería electrónica que provee el control de la potencia tiene un punto de referencia cero llamado "común". Cuando un gabinete de control está aterrizado, significa que está conectado a la tierra del sistema de distribución del edificio, además es necesario que el común del equipo electrónico esté conectado a la tierra del sistema de distribución del edificio en una forma especial, generalmente a través de una capacitancia.

Mantener un conductor de tierra de equipo muy cerca de los conductores de fase de corriente alterna es absolutamente esencial, para asegurar una mínima impedancia en el camino de retorno de la corriente de falla a tierra (ejemplo. que el conductor de tierra de equipo esté en el mismo conducto eléctrico, cable, charola, canalización o que su trayectoria este muy cerca de los demás conductores de fase), entonces la impedancia del circuito de falla tiene reactancia inductiva mínima debido a la cancelación mutua de los campos magnéticos alrededor de los conductores. Bajo estas condiciones de impedancia mínima, el voltaje de tierra y la corriente de corto circuito es la máxima posible para abrir los dispositivos de protección.

2.2.13 El Programa ISIS

El Programa ISIS, Intelligent Schematic Input System (Sistema de Enrutado de Esquemas Inteligente) permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar con componentes muy variados, desde simples resistencias, hasta alguno que otro microprocesador o microcontrolador, incluyendo fuentes de alimentación, generadores de señales y muchos otros componentes con prestaciones diferentes [22].

Los componentes se sitúan sobre un área determinada por el programa y desde allí se va estructurando el circuito con los símbolos de los componentes que se van uniendo por medio de conexiones simples o por medio de buses que generan mayor aprovechamiento del espacio y una mayor capacidad de estructuración de los

circuitos. También pueden cargarse programas de microcontroladores virtualmente para que sean simulados y puedan estudiarse las variables electrónicas requeridas para poder avanzar en el diseño de los sistemas electrónicos que hagan parte de nuestros proyectos.

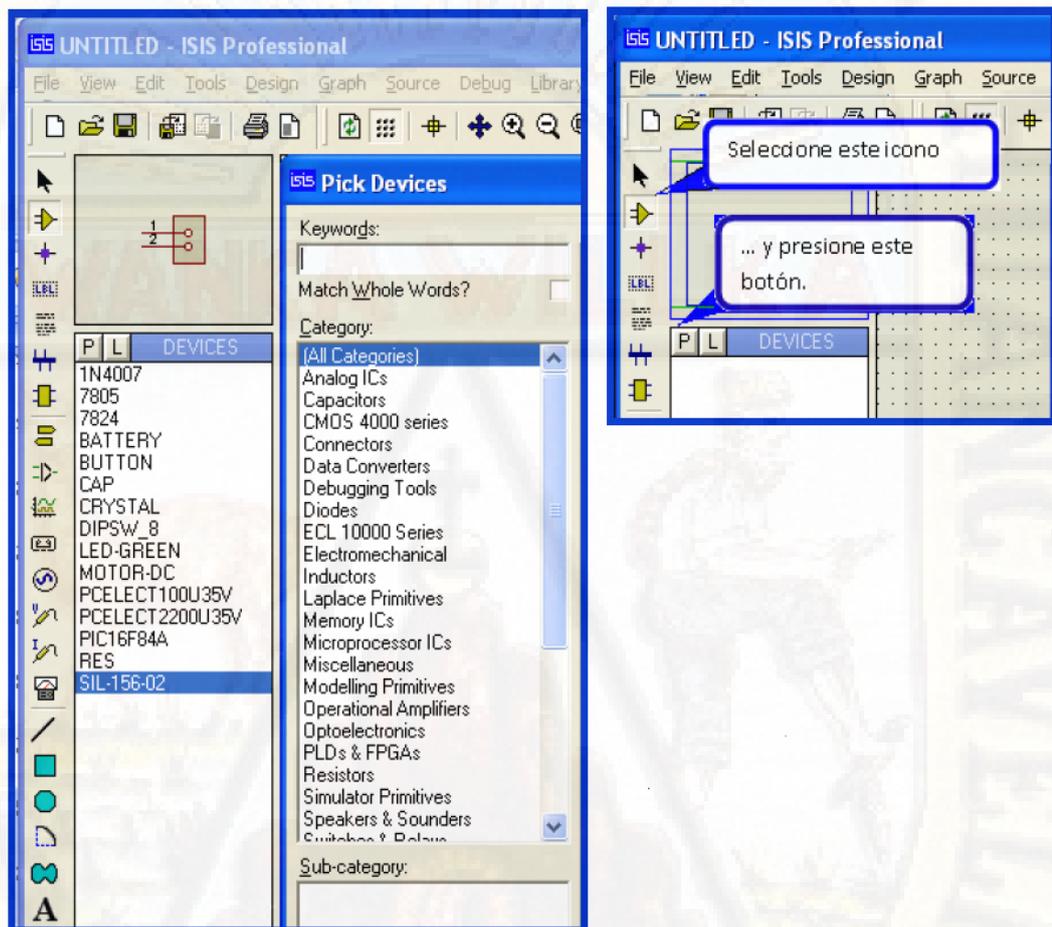


Figura N° 2.28 Pantalla del programa ISIS
Tomada del manual de Proteus

La figura N° 2.28 muestra la pantalla de inicio de ISIS. Para empezar se deben elegir los componentes para situarlos en la pantalla de la derecha. Al seleccionar el botón P se desplegará una ventana con una lista de los componentes dispuestos a ser elegidos de acuerdo a una serie de categorías.

Una vez elegida la categoría se despliega una serie de componentes con sus respectivas características su símbolo esquemático y su correspondiente presentación en Ares.

Para mayores detalles del uso de ISIS, se sugiere usar el manual de Proteus, en él se integra también esta aplicación.

Los diseños realizados en Isis pueden ser simulados en tiempo real, mediante el módulo VSM, asociado directamente con ISIS.

2.3 HIPÓTESIS

2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL

El diseño y la implementación de un sistema de protección para controlar la sobretensión permitirán prevenir el deterioro de equipos de cómputo y de telecomunicaciones en el distrito de Pampas.

2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

2.3.2.1 El diseño de un sistema de protección para el control de la sobretensión ayudará a prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones en el distrito de Pampas.

2.3.2.2 La implementación de un sistema de protección para controlar la sobretensión permitirá prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones en el distrito de Pampas.

2.4 VARIABLES DE ESTUDIO

2.4.1 Variable independiente

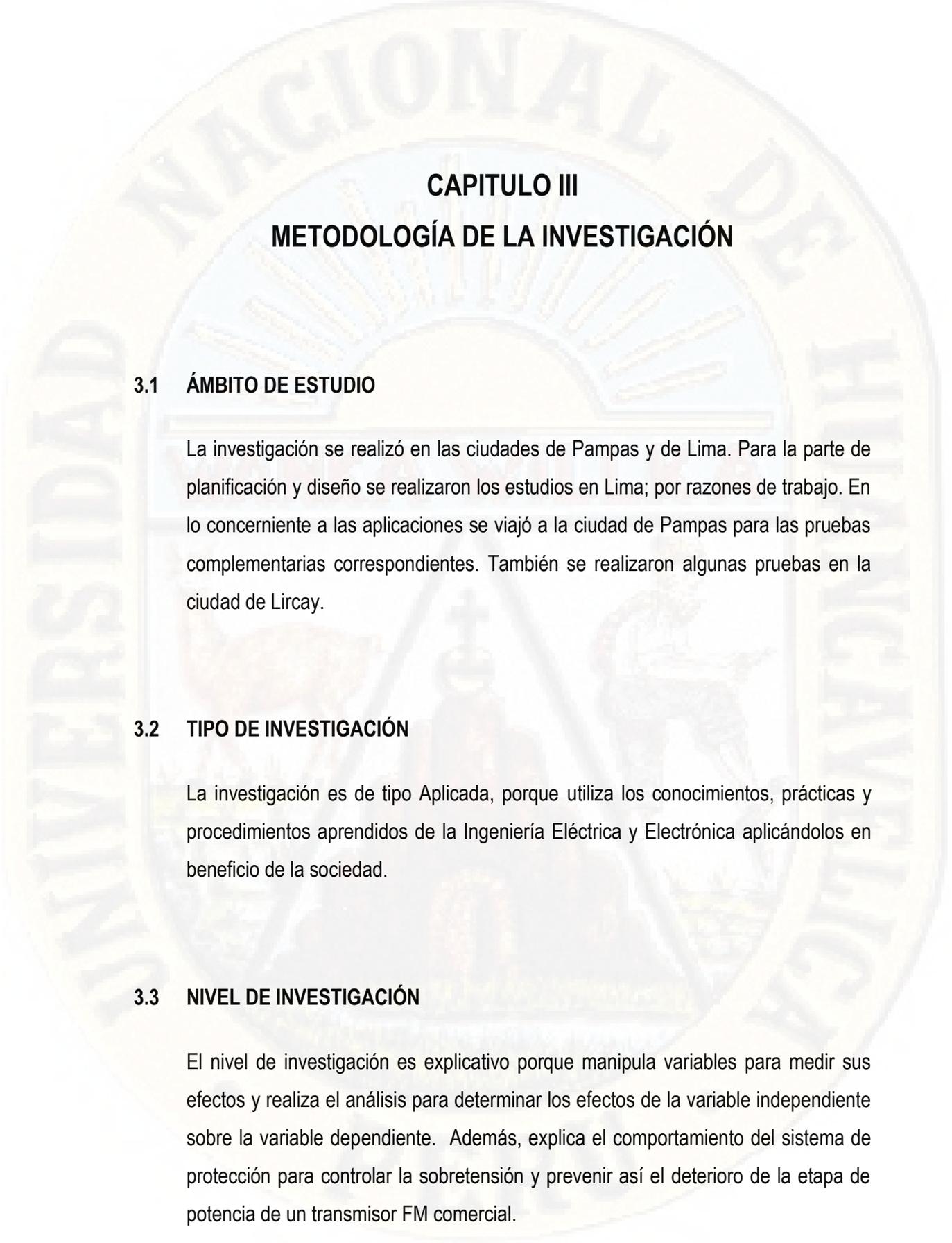
Control de sobretensión

2.4.2 Variable dependiente

Nivel de deterioro de los equipos de cómputo y telecomunicaciones.

Operacionalización de las variables					
VARIABLES	Tipo de variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Control de sobretensión	Independiente	Proceso para mantener la operación de un sistema dentro de unos márgenes seguros de voltaje. Es una variable unidimensional y dicotómica.	Única. Con dos valores: Presencia (con el sistema de protección diseñado) Ausencia (sin el sistema de protección diseñado)	Presencia-Ausencia	Observación
Nivel de deterioro de los equipos de cómputo y telecomunicaciones	Dependiente	Es una variable unidimensional y dicotómica.	Única. Con dos valores: Con exposición al deterioro. Sin exposición al deterioro	Funcionalidad del equipo	Equipo de pruebas

Tabla N° 2.2 Operacionalización de las variables



CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

La investigación se realizó en las ciudades de Pampas y de Lima. Para la parte de planificación y diseño se realizaron los estudios en Lima; por razones de trabajo. En lo concerniente a las aplicaciones se viajó a la ciudad de Pampas para las pruebas complementarias correspondientes. También se realizaron algunas pruebas en la ciudad de Lircay.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo Aplicada, porque utiliza los conocimientos, prácticas y procedimientos aprendidos de la Ingeniería Eléctrica y Electrónica aplicándolos en beneficio de la sociedad.

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es explicativo porque manipula variables para medir sus efectos y realiza el análisis para determinar los efectos de la variable independiente sobre la variable dependiente. Además, explica el comportamiento del sistema de protección para controlar la sobretensión y prevenir así el deterioro de la etapa de potencia de un transmisor FM comercial.

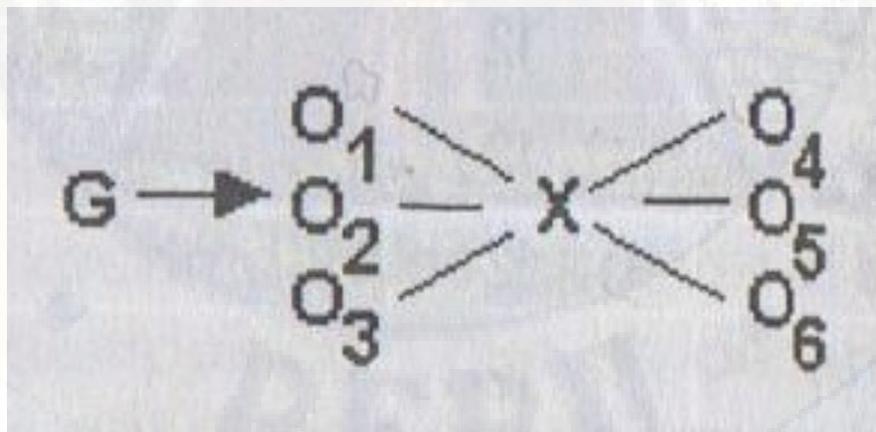
3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación que se empleó fue el experimental porque es el proceso de investigación que genera las condiciones necesarias y suficientes para medir y revelar las relaciones de los fenómenos que interesan a la investigación.

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En la investigación se ha utilizado en general, el diseño experimental, y en particular el diseño tipo cuasi-experimental. El método cuasiexperimental es particularmente útil para estudiar problemas en los cuales no se puede tener control absoluto de las situaciones, pero se pretende tener el mayor control posible, aun cuando se estén usando grupos ya formados [23].

Explícitamente se trabajará un diseño cuasiexperimental de serie de tiempos con un solo grupo. Este diseño se caracteriza por las mediciones periódicas de pre pruebas que se realiza en la variable dependiente (VD), para después aplicarles el tratamiento (X) y finalmente evaluar varias mediciones de post pruebas. Este diseño se esquematiza así [24]:



Donde:

O_1, O_2, O_3 : Son pre pruebas

O_4, O_5, O_6 : Son post pruebas

G : Es un único grupo

X : Tratamiento experimental

En la presente investigación, el tratamiento experimental fue el empleo del sistema de protección para controlar la sobretensión.

Para el realizar el tratamiento experimental "X" se ha tenido que diseñar y construir el sistema de protección, del cual se dará mayores detalles en el capítulo de resultados.

3.6 POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO

Población: Está constituida por los diversos equipos de cómputo y de telecomunicaciones en la ciudad de Pampas. En los que es factible probar el sistema de protección para controlar la sobretensión.

Muestra: Teniendo en cuenta que la ocurrencia de tormentas no es un fenómeno que se repite tan a menudo, se optó por usar la teoría de pequeñas muestras para la demostración de nuestra hipótesis. Esto es posible debido a que la distribución de donde proviene la muestra tiene un comportamiento normal. Por lo que para nuestra investigación se tomaron 20 muestras, que es considerado un número razonable para estos efectos.

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se usarán las siguientes técnicas e instrumentos:

Técnicas	Instrumentos
Observación	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha de observación - Cámara vídeo/fotográfica - Archivo electrónico. - Multímetro
Experimentación	Prueba de ensayo – error

3.8 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El procedimiento de recolección de datos fue de la siguiente manera:

- Selección del equipo para las pruebas.
- Exposición del equipo a una sobretensión empleando el sistema de protección.
- Toma de las mediciones y registro de los datos de interés en una ficha de observación.

3.9 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos recolectados fueron agrupados y estructurados para el proceso respectivo. Se utilizó el análisis cuantitativo y se realizó el análisis de los datos estadísticos con la ayuda del software informático Excel, y la prueba de Chi cuadrado

Fórmula de Chi-cuadrado:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Observed Value} - \text{Expected Value})^2}{(\text{Expected Value})}$$

grados de libertad (gl): n-1 donde n es el número de clases.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la presente investigación. Como se trató en las bases teóricas, una de las fuentes de sobrevoltaje más importantes que puede afectar a los equipos electrónicos sensibles; son las descargas atmosféricas. Particularmente, en la ciudad de Pampas, por su ubicación geográfica a 3300 msnm está muy expuesta a sufrir una gran cantidad de descargas por año. Por ello, se debe tomar las precauciones de sobrevoltaje con énfasis en este tipo de eventos. En ese sentido, nuestro instrumento de pruebas lo constituye el prototipo construido del sistema de protección para el control de sobrevoltaje; cuyo diagrama esquemático se muestra en la figura N° 4.1.

Este es circuito detector de relámpagos cuyo principio básico es trabajar como un detector de electricidad estática muy sensible; que puede proporcionar una alerta temprana de tormentas que se aproximan . Este capta la descarga en la nube antes que el impacto de retorno de tierra a cielo tenga lugar. Una antena formada de una longitud corta de alambre detecta tormentas dentro de un radio de dos millas. El circuito emite un tono de advertencia audible o hace parpadear un LED para cada descarga detectada, dando el aviso previo de tormentas de manera que se puedan observar las debidas precauciones.

La característica principal en el detector de iluminación es la capacidad del circuito que se encuentra cerca de la auto-oscilación, con su relajación optimizada a través de los valores de resistencia de polarización que se muestran en el diagrama del

circuito. El oscilador se acopla y la retroalimentación se enruta a través del colector de TR1 a la base de TR2, mientras que la ganancia total del bucle se ajusta con el control preestablecido VR1.

Configuración del detector de rayo

Para configurar el sensor de rayos, se debe de ajustar el VR1 preestablecido para la oscilación al monitorear TP1 punto de prueba, que debe ser de al menos 7 voltios de pico a pico. En el punto de prueba TP2 se debe tener al menos + 6 V dc. Ahora se debe volver a ajustar VR1 un poco hacia atrás para detener la oscilación. Se debe utilizar una herramienta para tocar C1 varias veces; la alarma debe sonar durante 1 o 2 segundos y luego detenerse. Si continúa, hacer un ajuste muy pequeño hacia atrás y volver a comprobar.

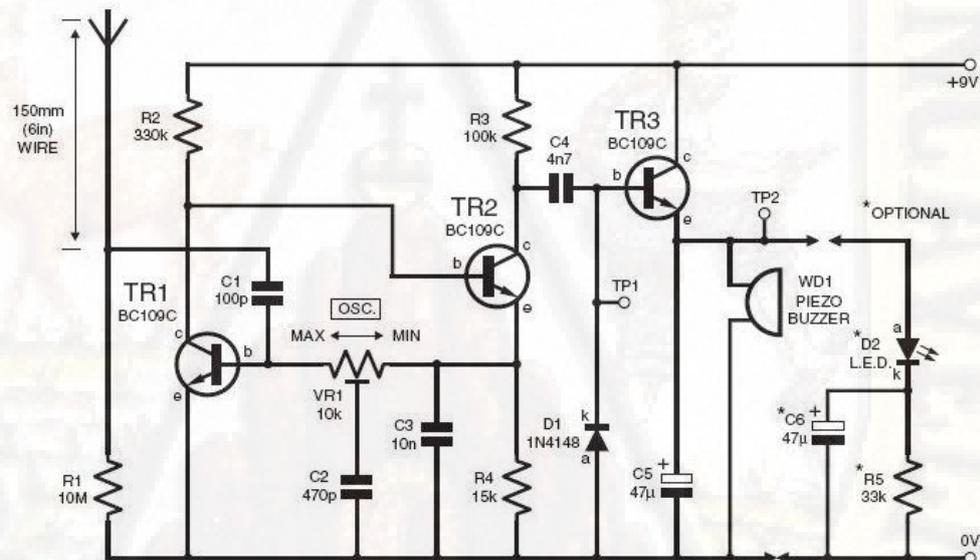


Figura 4.1 Esquema del sistema de protección para control de sobrevoltajes.
Fuente: Elaboración propia empleando el programa ISIS.

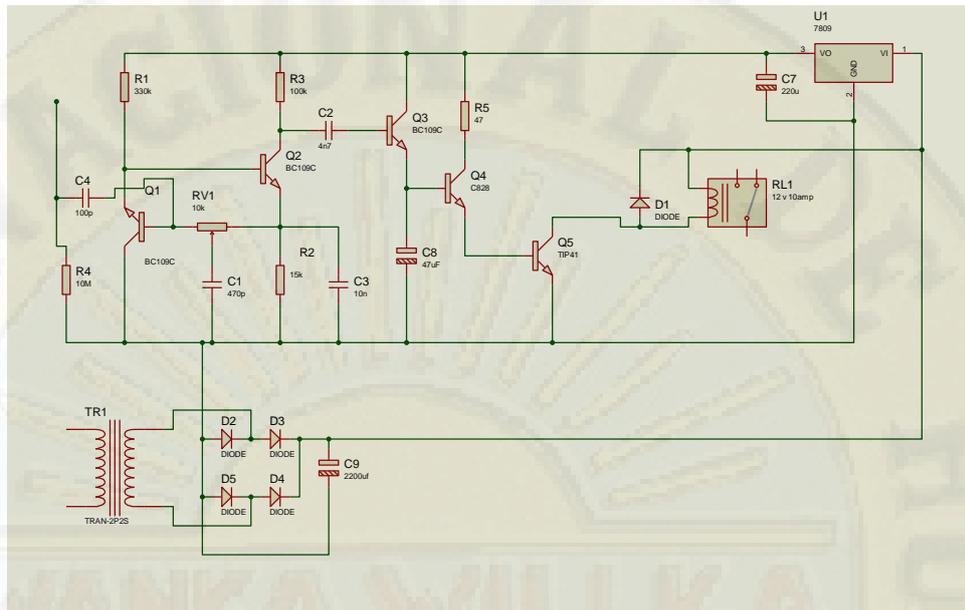


Figura 4.2 Transformador de 12 V_{ca} y corriente continua; Relay 12 V_{cc}

Es necesario hacer notar que el equipo trabaja en las frecuencias de onda media; entre los 530 KHz y 1630 KHz; lo cual le permite hacer la detección de la formación de nubes tormentas sin necesidad de tener línea de vista.

Cuando se conectaron una serie de diferentes equipos con el protector contra la sobretensión, para verificar la efectiva protección. Para todos los casos, el equipo a proteger estaba conectado en paralelo con un multímetro ubicado en el rango en para la medición de tensión alterna en la escala de 1000 V_{CA} cuando hubo tormenta eléctrica.

Asimismo, el equipo principal a proteger se desconectó o apagó temporalmente mientras que por el multímetro se pudieron tomar las medidas que se muestran en las tablas que siguen a continuación.

TELEVISOR LED

N°	Voltaje (Voltios CA)	Fecha
1	950	
2	830	28 de julio
3	470	de 2015
4	250	

Tabla 4.1 Pruebas realizadas con un televisor LED

RADIORRECEPTOR

N°	Voltaje (Voltios CA)	Fecha
1	850	01 de
2	630	agosto
3	370	2015
4	250	

Tabla 4.2 Pruebas realizadas con un radiorreceptor

COMPUTADORA PERSONAL

N°	Voltaje (Voltios CA)	Fecha
1	1000	03 de
2	777	agosto
3	560	2015
4	260	

Tabla 4.3 Pruebas realizadas con una computadora personal

TRANSMISOR FM

N°	Voltaje (Voltios CA)	Fecha
1	980	05 de agosto 2015
2	630	
3	570	
4	270	

Tabla 4.4 Pruebas realizadas con un transmisor FM

EQUIPOS ELECTRÓNICOS DIVERSOS

N°	Voltaje (Voltios CA)	Fecha
1	840	11 de agosto 2015
2	660	
3	540	
4	260	

Tabla 4.5 Pruebas realizadas con equipos electrónicos diversos

Con los resultados obtenidos el 11 de agosto, se pudo constatar que se puede proteger de los sobrevoltajes ocasionados por las tormentas, todo tipo de artefacto conectado a la red de 220 V_{CA}.

Analizando los resultados obtenidos en los diversos equipos en las diferentes fechas, se nota que hay homogeneidad en los resultados. Por lo que podemos en general, independientemente del equipo a proteger, que el aparato diseñado e implementado para la protección de las sobretensiones causadas por las tormentas, cumple su objetivo; es decir, aislar al equipo de la sobretensión y protegerlo. Con lo cual, la hipótesis principal queda demostrada.

Un resumen de los resultados se muestra en la tabla 4.6.

N°	Equipo de prueba	Estado del equipo	Voltaje en la red (volt.)
1	Televisor LED	Desconectado	950
			830
			470
			250
2	Radioreceptor	Desconectado	850
			630
			370
			250
3	Computadora personal	Desconectado	1000
			777
			560
			260
4	Transmisor FM	Desconectado	980
			630
			570
			270
5	Equipos electrónicos diversos	Desconectado	840
			660
			540
			260

Tabla 4.6 Resumen de resultados de pruebas tomadas en diversos equipos

Tomando en cuenta que los equipos probados en general tienen particularidades que en general los hacen que pueden ser tomados como equipos de una población normalizada; podemos agruparlos para tomar en cuenta el estado de conexión o desconexión; es decir si son protegidos o no por el equipo diseñado. Según ello, acumulando los resultados de la tabla 4.6 tendríamos 20 pruebas exitosas de protección de los equipos electrónicos cuando se alcanza o se supera los 250 voltios, con cero fracasos.

4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hipótesis alterna (H_a). El equipo de protección desconecta al sistema si Voltaje $V \geq 250$ voltios.

Hipótesis nula (H_o). El equipo de protección no desconecta al sistema si Voltaje $V \geq 250$ voltios.

Nivel de significación

Para todo valor de probabilidad igual o menor que 0.01, se acepta H_a y se rechaza H_o .

Zona de rechazo

Para todo valor de probabilidad mayor que 0.01, se acepta H_o y se rechaza H_a .

Desconexión del equipo	No desconecta	Total
20	0	20

Aplicación de la prueba estadística

$$f_e = \frac{\text{número total}}{\text{categorías}} = \frac{20}{2} = 10$$

$$f_o = 20$$

$$\chi^2 = \sum_{N=1}^2 \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

$$\chi^2 = \frac{(20 - 10)^2}{10} + \frac{(0 - 10)^2}{10}$$

$$\chi^2 = 10 + 10 = 20$$

grados de libertad = número de clases - 1

$$gl = 2 - 1 = 1$$

$$\alpha = 0.01$$

El valor calculado de χ^2 se compara con los valores de la tabla de valores críticos de χ^2 (ver anexo). Se puede observar que para una probabilidad de 0.01 corresponde la cifra de 6.6349; por lo tanto, el estadístico chi cuadrado al ser de 20, es mayor que 6.6349.

Decisión

En virtud de que la probabilidad obtenida al calcular el valor de χ^2 está en la región de aceptación, se acepta H_a y se rechaza H_o .

Entonces tenemos que:

$$20 > 6.6349 \text{ se acepta } H_a$$

∴ El equipo de protección desconecta al sistema si Voltaje $V \geq 250$ voltios. Por lo tanto, protege contra las sobretensiones

Interpretación

La protección ofrecida por el sistema diseñado no se puede considerar como producto del azar; al superar una prueba de confiabilidad del 99 % de eficacia.

4.3 DISCUSIÓN

Como se desprende de los desarrollos previos, la idea de proteger los equipos electrónicos sensibles y de telecomunicaciones; tiene una variedad de alternativas. Recapitulando los métodos de protección analizados en el marco teórico; pueden emplearse, desde pararrayos, apartarrayos, puesta a tierra, limitadores de tensión, etc. Siendo ellas soluciones complementarias que también pueden trabajar, dado que para la mejor seguridad pueden ir conjuntamente. Sin embargo, sin descartar estas otras opciones; en esta investigación se ha presentado una solución simple

de usar e implementar para proteger los equipos de la causa principal de las sobretensiones, las descargas eléctricas, para la ciudad de Pampas. La cual es aplicable completamente en ciudades de altitud similar; o de perfil parecido, como la ciudad de Lircay, ciudad en la que también se realizaron pruebas con excelentes resultados.

Es necesario resaltar que esta propuesta para la protección de equipos electrónicos sensibles en general, es de bajo costo. Por lo que está al alcance de la economía de los pequeños empresarios y de la población en su conjunto; que tiene una respuesta suficientemente adecuada a las necesidades de los usuarios. Por ello que merece ser tomada en cuenta, a la hora de pensar en proteger nuestra inversión en equipos electrónicos de los efectos de las sobretensiones en la red.

CONCLUSIONES

Los sistemas eléctricos en todo tiempo se ven expuestos a los fenómenos del sobrevoltaje en sus diferentes formas de presentación, ya sea estática, por resonancia, por conmutación, por descargas atmosféricas, entre otros. Asimismo, los modernos equipos electrónicos conectados a dicho sistema, entre ellos equipos de transmisión, de telecomunicaciones y los de cómputo, que son bastantes sensibles a este problema, también pueden resultar dañados. Con lo que implican los costos de mantener en operatividad dichos equipos, éstos podrían resultar muy elevados. Por lo que es muy importante tener en cuenta que la protección adecuada de los mismos tendrá como resultado un diseño confiable, duradero y al menor costo posible.

Según el costo de los equipos conectados a la red eléctrica pueden situarse varias alternativas para la protección de los mismos. Generalmente, se trata de transmisores y equipos de gran capacidad de carga, etc. ; se puede emplear un conjunto de sistemas entre los cuales debe darse una adecuada puesta a tierra, sistema de pararrayos, en algunos casos apartarrayos; así como dispositivos derivadores de la sobretensión.

El equipo de protección propuesto en este trabajo de investigación, es muy útil para la protección contra las sobretensiones en el caso de descargas atmosféricas, y especialmente cuando los equipos a proteger no requieren un excesivo y/o recargado sistema de protección. Sin embargo, es recomendable tener una protección complementaria contra las sobretensiones para reforzar la protección contra causas adicionales a las tormentas.

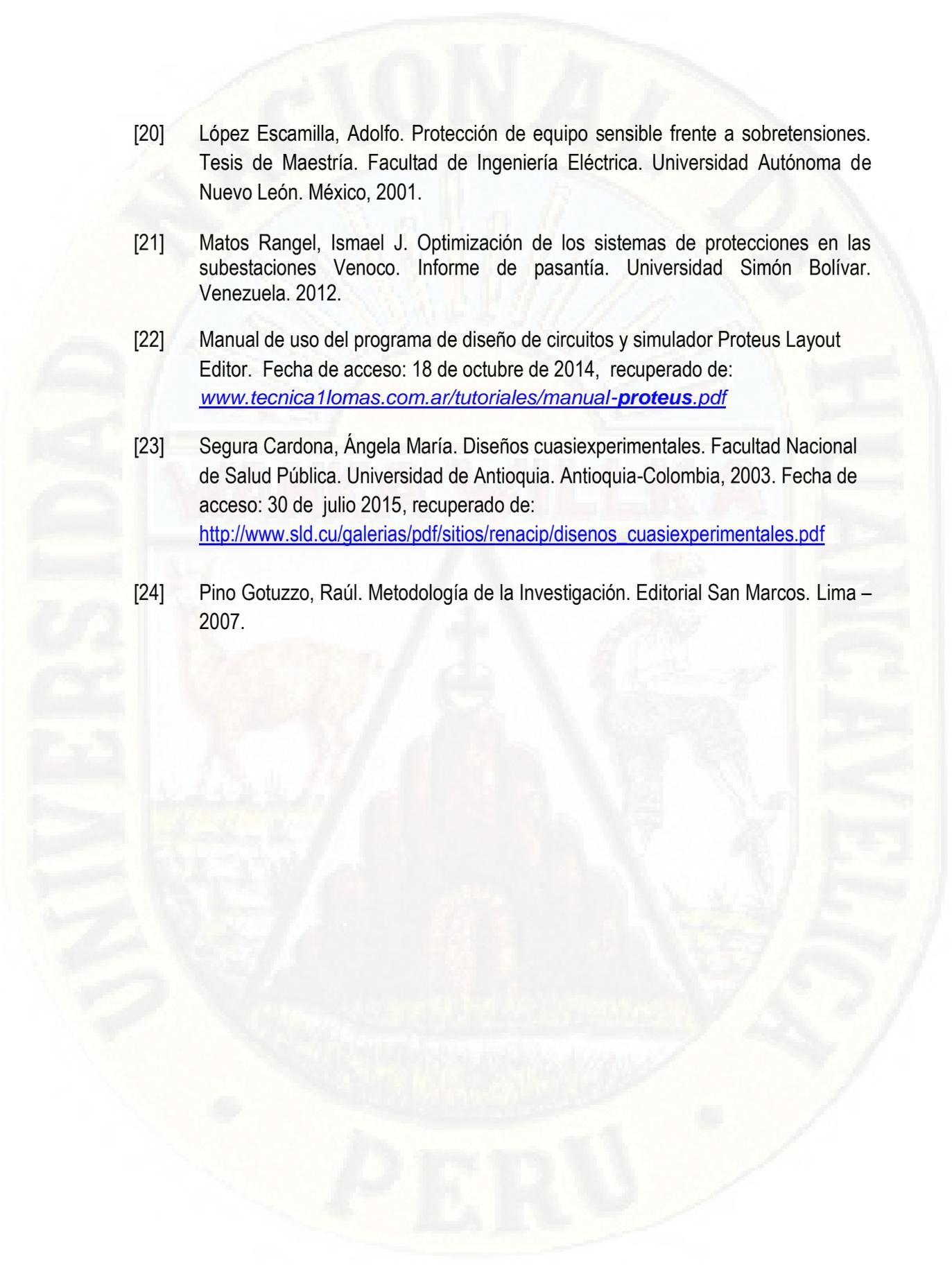
RECOMENDACIONES

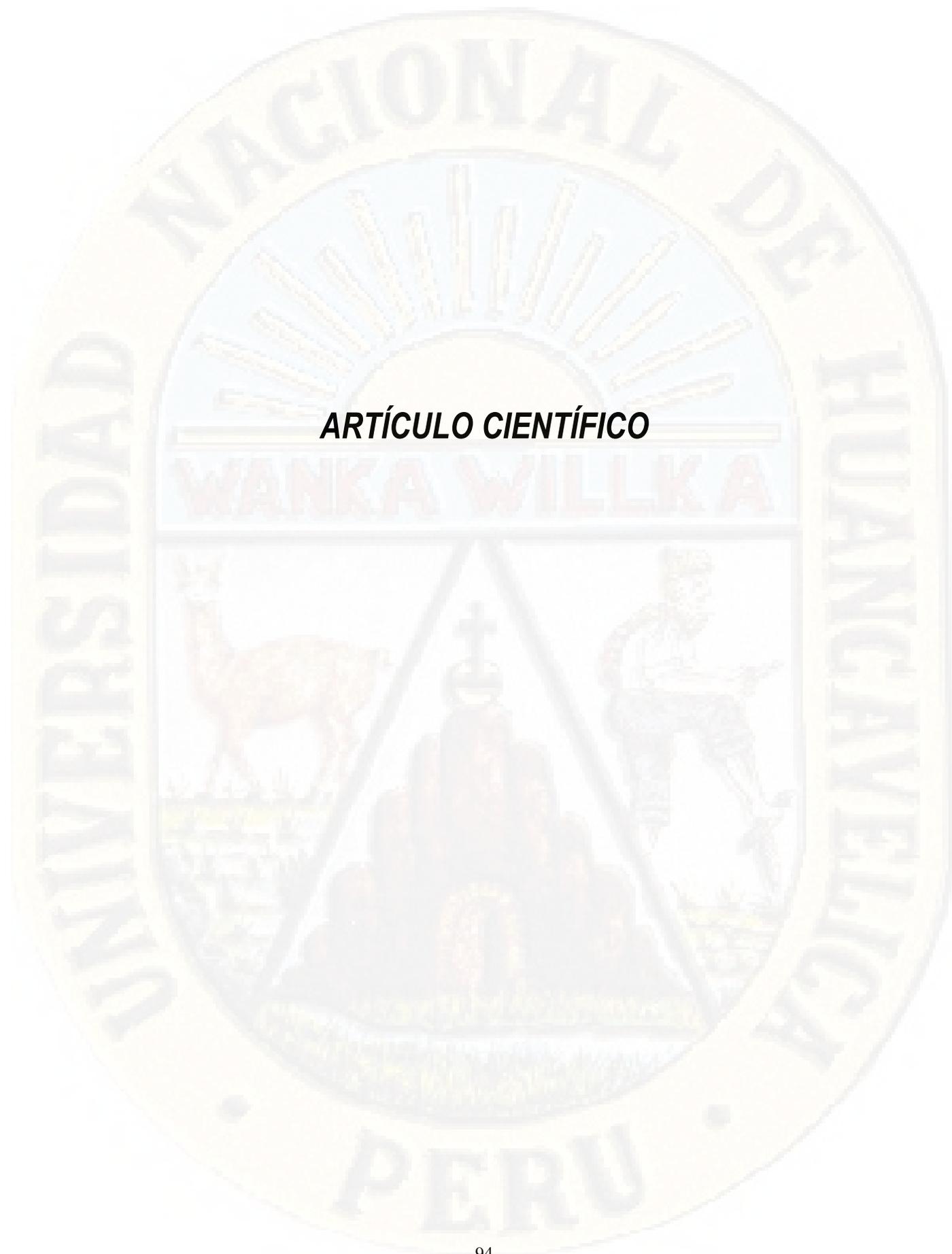
En cualquiera de los casos, ya sean sistemas eléctricos de distribución o los sistemas electrónicos sensitivos, existe ya una serie de reglas que debemos cumplir. Esto quiere decir que siempre se debe tener en cuenta las normas de seguridad del Código Nacional de Electricidad del Perú. Asimismo, debe seguirse las normas complementarias como la Norma Técnica Peruana NTP 370.310 del 2013 sancionada por INDECOPI. También se debe tener muy en cuenta las recomendaciones de los fabricantes de los equipos; que se nos proporciona en los manuales de instalación, operación y de mantenimiento de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Protección completa contra Sobretensiones Transitorias.
Fecha de acceso: julio 2015.
<http://www.tecnoing.com/BoletinDetalle.aspx?CodBoletin=adc81d6ec9>
- [2] Noe Rondón, Jorge A.. Propuesta de diseño del sistema de protección contra fallas de tipo atmosférico en estaciones de telecomunicaciones. Tesis para Título de Ingeniero electrónico. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2009.
- [3] Barona Lejarraga, Amaya. Minimización de los efectos de las perturbaciones eléctricas en los procesos industriales. Tesis para el grado de Maestro en el Sector Eléctrico. Universidad Pontificia Comillas de Madrid-España, 2008.
- [4] Sobretensiones eléctricas. Fecha de acceso: diciembre 2014.
<http://sobretensioneselectricas.blogspot.com/2012/06/origen-y-definicion-de-las.html>
- [5] Chaj Ramírez, Edgar Estuardo. Análisis de sobretensiones debido a transitorios por maniobras en sistemas eléctricos de potencia mayores de 300 kV. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 2008.
- [6] Dufo López, Rodolfo. Protección frente a sobretensiones en instalaciones de baja tensión. Técnica Industrial 258 - Septiembre 2005. Fecha de acceso: agosto 2015.
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/extaut?codigo=808748>
- [7] Gómez Montoya, Héctor y Velilla Hernández, Esteban. Modelación de puestas a tierra para evaluación de sobretensiones transitorias. Tesis para obtener el título de Ingeniero Electricista. Universidad de Antioquia. Medellín – Colombia, 2002.
- [8] Protection against lightning effects. Power Guide 2009, Book 7.
Fecha de acceso agosto 2015.
www.export.legrand.com/.../Book-07-EN-Version.pdf.

- [9] Nucci, C.A y Rachidi, F. Lightning-Induced Overvoltages. IEEE Transmission and Distribution Conference, Panel Session "Distribution Lightning Protection", New Orleans, April 14, 1999. Fecha de acceso: Agosto 2015.
<http://ewh.ieee.org/soc/pes/lpdl/archive/rachidi.pdf>
- [10] Overvoltages caused by Lightning. Abril, 2013.
<http://electrical-engineering-portal.com/overvoltages-caused-by-lightning>
- [11] De Apraiz Casuso, Matilde. Método de detección en tiempo real de perturbaciones transitorias en Redes de Suministro Eléctrico. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. Santander, 2013.
- [12] Bianchi Lastra. Raúl. ATP para inexpertos. Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Plata. Argentina, 2002.
- [13] Capítulo J. Protección contra las sobretensiones. Schneider Electric. Guía de diseño de instalaciones eléctricas. Agosto, 2002. Fecha de acceso: junio 2015.
http://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/distribucion_electrica/guia_instalaciones_electricas/capitulo-j-proteccion-sobretensiones.pdf
- [14] Overvoltage protection (surge arrester). Scheider Electric. Fecha de acceso: agosto 2015. <http://www.schneider-electric.co.il/documents/contractors/en/shared/electrical-risks/Surge-protection-overvoltage-devices.pdf>
- [15] Guide to Surge Protection Devices. Hager. Fecha de acceso: agosto 2015.
http://www.hager.co.uk/files/download/0/4540_1/0/Surge_Protection_Guide.pdf
- [16] Guía Técnica de Aplicación: Protección de Instalaciones Interiores. Ministerio de Energía, Industria y Turismo. España, 2003.
- [17] TORRES SÁNCHEZ, Horacio. Protección contra Rayos. Segunda Edición. Bogotá DC : ICONTEC, 2010. ISBN.
- [18] Moreno, G. Sistemas de puesta a tierra. Fundamentos de funcionamiento y diseño. Seminario sobre Seguridad en Instalaciones Eléctricas, CIDET-Procobres/Perú-Centelsa. Medellín, 2001.
- [19] Gómez Montoya, Héctor y Velilla Hernández, Esteban. Modelación de puestas a tierra para evaluación de sobretensiones transitorias. Tesis para obtener el título de Ingeniero Electricista. Universidad de Antioquia. Medellín – Colombia, 2002.

- 
- [20] López Escamilla, Adolfo. Protección de equipo sensible frente a sobretensiones. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Universidad Autónoma de Nuevo León. México, 2001.
- [21] Matos Rangel, Ismael J. Optimización de los sistemas de protecciones en las subestaciones Venoco. Informe de pasantía. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. 2012.
- [22] Manual de uso del programa de diseño de circuitos y simulador Proteus Layout Editor. Fecha de acceso: 18 de octubre de 2014, recuperado de:
www.tecnica1omas.com.ar/tutoriales/manual-proteus.pdf
- [23] Segura Cardona, Ángela María. Diseños cuasiexperimentales. Facultad Nacional de Salud Pública. Universidad de Antioquia. Antioquia-Colombia, 2003. Fecha de acceso: 30 de julio 2015, recuperado de:
http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/renacip/disenos_cuasiexperimentales.pdf
- [24] Pino Gotuzzo, Raúl. Metodología de la Investigación. Editorial San Marcos. Lima – 2007.



ARTÍCULO CIENTÍFICO

CONTROL DE SOBRETENSIÓN APLICADO A EQUIPOS DE CÓMPUTO Y TELECOMUNICACIONES, PARA PREVENIR SU DETERIORO EN EL DISTRITO DE PAMPAS

Romualdo Escobar Apasi

Universidad Nacional de Huancavelica Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

RESUMEN

Los Sistemas de Protección, tienen como objetivo proteger la vida humana y equipos en general, para lo cual no debería escatimarse las inversiones en aras de proteger adecuadamente a las personas y los equipos. En la mayoría de regiones del Perú existe una fuerte incidencia de descargas eléctricas. Lo cual, eleva la posibilidad de que se sufra sobretensiones en la línea de transmisión. Estas sobretensiones pueden provocar daños en los equipos electrónicos, los cuales posteriormente podrían necesitar de mantenimiento o recambio. Para evitar ellos, se propone un sistema de protección para evitar las sobretensiones causadas por las tormentas eléctricas. Por lo que se ha diseñado y construido el circuito de protección. Este equipo funciona en base a un dispositivo que capta las señales precursoras de las descargas eléctricas, desactivando a los equipos que se encuentran conectados a él, para efectivizar la protección contra las sobretensiones. Este equipo fue sometido a una serie de pruebas en diferentes tipos de equipos electrónicos, de las cuales ha salido airoso. Por lo que ha demostrado ser una herramienta útil para prevenir el deterioro de equipos electrónicos en general.

Palabras claves: Sistema de protección, sobretensión, descargas atmosféricas.

ABSTRACT

Protection Systems, aim to protect human life and equipment in general, for which investments should be spared in order to adequately protect people and equipment. In most regions of Peru there is a high incidence of electrical discharge. Which raises the possibility that suffer overvoltage in the transmission line. These surges can cause damage to electronic equipment, which could subsequently require maintenance or replacement. To avoid them, a protection system aims to prevent surges caused by thunderstorms. As it designed and built protection circuit. This equipment operates on a device that captures the warning signs of electrical discharges,

turning off the computers that are connected to it, to effect the overvoltage protection. This team underwent a series of tests on different types of electronic equipment, which has proved itself. So it has proved a useful tool to prevent deterioration of electronic equipment in general.

Keywords: system protection, overvoltage, electrical discharge.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas que consumen y controlan los procesos que usan energía, están íntimamente vinculados al control, supervisión y monitoreo hecho con equipos altamente sensible a los cambios de voltaje que ocurren en los sistemas eléctricos. Estas variaciones de voltaje tienen su origen en diversas causas las cuales pueden someter al equipo sensible a fallas irreparables que afectan al funcionamiento de todo el sistema.

Las sobretensiones [1] son fenómenos transitorios que se originan ya sea por perturbaciones externas a la red o propia del sistema. Existen una variedad de formas para disminuir el efecto de las sobretensiones en una red; las cuales pueden variar en relación a lo que se desea proteger. Por otro lado, en Pampas, el tipo de sobretensiones que es más frecuente es el relacionado con las descargas atmosféricas, lo cual ha producido daño en equipos conectados a la red en el momento de la descarga. Existen diferentes trabajos que han tratado como controlar las sobretensiones entre ellos tenemos el de A. López Escamilla [2] y el de Chaj Ramirez [3]. Se busca una solución al problema de las sobretensiones para la

ciudad de Pampas, por ser esta una ciudad típica de los valles interandinos peruanos, con una altitud de aproximadamente 3200 msnm, lo cual la ubica en una situación muy expuesta a las descargas eléctricas; que de hecho ocurren con gran frecuencia. Aquí tratamos de hallar una solución económica que permita prevenir el deterioro de equipos de cómputo y de telecomunicaciones debido a las sobretensiones provocadas principalmente por causa de las descargas eléctricas.

Naturalmente, para mejorar el sistema de protección se puede emplear conjuntamente con otras estrategias complementarias. Se emplea para el diseño en nuestro caso, el principio de protección paralela [4]; por estar demostrado que es muy adecuado para las aplicaciones usuales y no necesitar equipos muy costosos (ver figura N° 1).

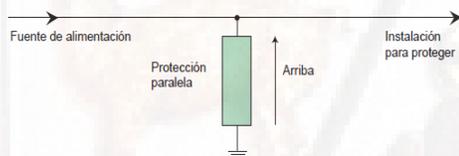


Figura N° 1. Principio de protección paralela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el diseño del circuito de protección se emplearon herramientas de diverso tipo, como resistencias, condensadores, inductancias, generadores de frecuencia, transistores y otros dispositivos adicionales. Para facilitar el diseño del circuito se empleó el software ISIS, que es un desarrollo incluido en el software electrónico Proteus [5]. En la figura N° 2, se muestra el circuito diseñado. Posteriormente, se procedió a colocar el equipo implementado en paralelo con los equipos electrónicos a probar, con la intención de determinar si la protección era o no efectiva.

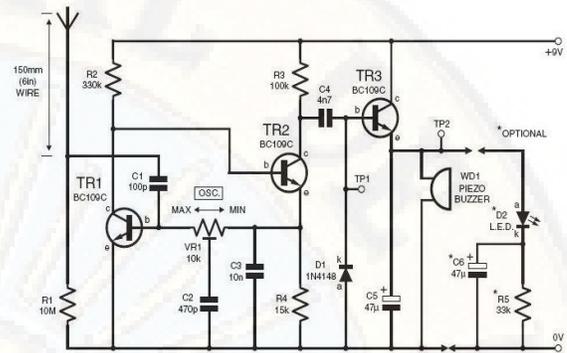


Figura N° 2. Esquema del sistema de protección para control de sobretensiones.

RESULTADOS

El resumen de los resultados obtenidos se muestra en la tabla 1.

N°	Equipo de prueba	Estado del equipo	Voltaje en la red (volt.)
1	Televisor LED	Desconectado	950
			830
			470
			250
2	Radioreceptor	Desconectado	850
			630
			370
			250
3	Computadora personal	Desconectado	1000
			777
			560
			260
4	Transmisor FM	Desconectado	980
			630
			570
			270
5	Equipos electrónicos diversos	Desconectado	840
			660
			540
			260

Tabla 1. Resultados para diferentes tipos de equipos

El circuito detector diseñado es muy sensible y una de sus funciones principales es detectar la electricidad estática. Con la ayuda de una antenita se transforma en un sistema de alerta temprana de las tormentas que se avecinan, antes que la descarga de las nubes ocurra. El circuito emite un tono de advertencia audible de un zumbador piezoeléctrico, o bien, hace parpadear un LED para cada alerta de descarga detectada desde la tormenta eléctrica; de manera que se puedan tomar las debidas precauciones.

Al realizarse las pruebas en cada caso, los equipos a proteger quedaron desconectados antes de sufrir un daño; mientras que por el circuito protector se detectaba el sobrevoltaje. Por los resultados obtenidos, independientemente del equipo a proteger, podemos inferir que el aparato diseñado e implementado para la protección de las sobretensiones causadas por las tormentas, cumple su objetivo; es decir, aislar al equipo de la sobretensión y protegerlo.

DISCUSIÓN

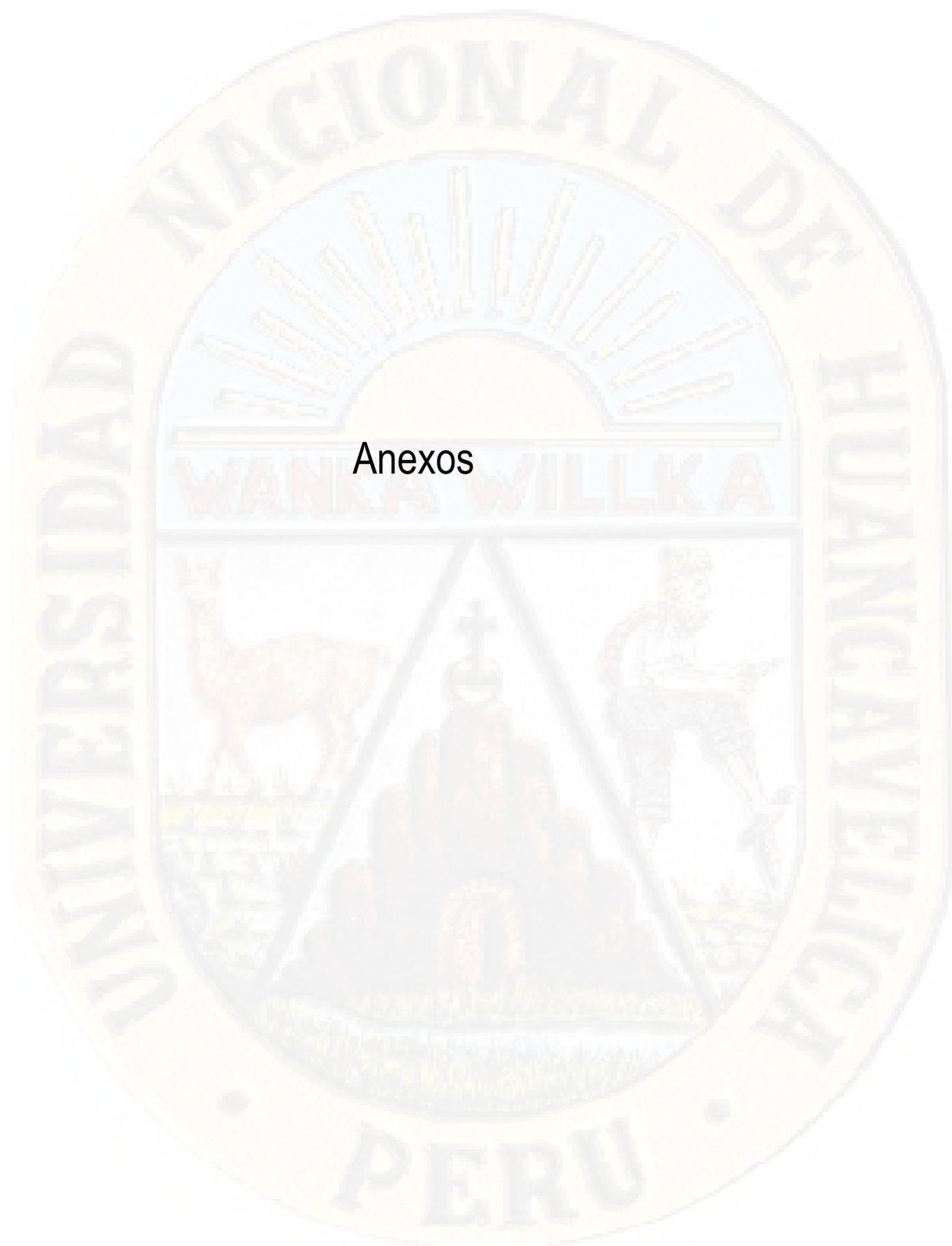
Como se desprende de los desarrollos previos, la idea de proteger los equipos electrónicos sensibles y de telecomunicaciones; tiene una variedad de alternativas: entre ellas, los pararrayos, apartarrayos, puesta a tierra, limitadores de tensión, etc. Sin descartar las soluciones anteriores, el equipo diseñado en este trabajo ayudaría a proteger los equipos electrónicos al desconectarlos de la línea ante la eventualidad del sobrevoltaje. Por ello y por su reducido costo debería tenerse en cuenta como una solución práctica en casos en que se desee proteger equipos electrónicos sensibles y de telecomunicaciones.

CONCLUSIONES

Los sistemas eléctricos en todo tiempo se ven expuestos a los fenómenos del sobrevoltaje en sus diferentes formas de presentación, ya sea estática, por resonancia, por conmutación, por descargas atmosféricas, entre otros. Por ello, es necesario proteger a los equipos electrónicos sensibles y de telecomunicaciones que están conectados a la red eléctrica. Existen diferentes dispositivos y sistemas integrados de protección. Siendo este circuito diseñado, una alternativa válida que soluciona el problema para los casos de sobretensión por descargas atmosféricas. Especialmente cuando los equipos a proteger no requieren un excesivo y/o recargado sistema de protección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Protección completa contra Sobretensiones Transitorias. Fecha de acceso: <http://www.tecnoing.com/BoletinDetalle.aspx?CodBoletin=adc81d6ec9>
- [2] López Escamilla, Adolfo. Protección de equipo sensible frente a sobretensiones. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Universidad Autónoma de Nuevo León. México, 2001.
- [3] Chaj Ramírez, Edgar Estuardo. Análisis de sobretensiones debido a transitorios por maniobras en sistemas eléctricos de potencia mayores de 300 kV. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 2008.
- [4] Capítulo J. Protección contra las sobretensiones. Schneider Electric. Guía de diseño de instalaciones eléctricas. 2002.
- [5] Manual de uso del programa de diseño de circuitos y simulador Proteus Layout Editor. Fecha de acceso: 18 de octubre de 2014, recuperado de: www.tecnica1lomas.com.ar/tutoriales/manual-proteus.pdf



Anexos

Matriz de Consistencia

TÍTULO: “CONTROL DE SOBRETENSIÓN VOLTAJE APLICADO A EQUIPOS DE CÓMPUTO Y TELECOMUNICACIONES , PARA PREVENIR SU DETERIORO, EN EL DISTRITO DE PAMPAS”				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Método
<p>Problema general: ¿Cómo se puede diseñar e implementar un sistema de protección para controlar la sobretensión para prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones, en el distrito de Pampas?</p> <p>Problemas específicos: ➤ ¿En qué medida se puede diseñar un sistema de protección para controlar la sobretensión para prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones, en el distrito de Pampas? ➤ ¿De qué forma se puede implementar el control de sobretensión para prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones, en el distrito de Pampas?</p>	<p>Objetivo general: Diseñar e implementar un sistema de protección para controlar la sobretensión que permita prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones, en el distrito de Pampas.</p> <p>Objetivos específicos: ➤ Diseñar un sistema de protección para controlar la sobretensión para prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones, en el distrito de Pampas. ➤ Implementar un sistema de protección para controlar la sobretensión para prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones, en el distrito de Pampas.</p>	<p>Hipótesis general: El diseño e implementación de un sistema de protección para controlar la sobretensión permitirán prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones en el distrito de Pampas.</p> <p>Hipótesis específicas: ➤ El diseño de un sistema de protección para el control de la sobretensión ayudará a prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones en el distrito de Pampas. ➤ La implementación de un sistema de protección para controlar la sobretensión permitirá prevenir el deterioro de equipos de cómputo y telecomunicaciones en el distrito de Pampas.</p>	<p>Variable independiente: Control de sobretensión</p> <p>Dimensión: Única.</p> <p>Indicador: Presencia-ausencia</p> <p>Instrumento: Observación</p> <hr/> <p>Variable dependiente: Nivel de deterioro de la etapa de potencia</p> <p>Dimensión: Única</p> <p>Indicador: Funcionalidad del equipo</p> <p>Instrumento: Equipo de pruebas</p>	<p>Método de investigación: Se empleó el método experimental.</p> <p>Diseño de investigación: Se empleó el tipo de diseño cuasi e-experimental. Con el siguiente esquema:</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph LR G --> O1 G --> O2 G --> O3 O1 --> X O2 --> X O3 --> X X --> O4 X --> O5 X --> O6 </pre> </div> <p>Donde:</p> <p>O_1, O_2, O_3: Son pre pruebas</p> <p>O_4, O_5, O_6: Son post pruebas</p> <p>G : Es un único grupo</p> <p>X : Tratamiento experimental</p>

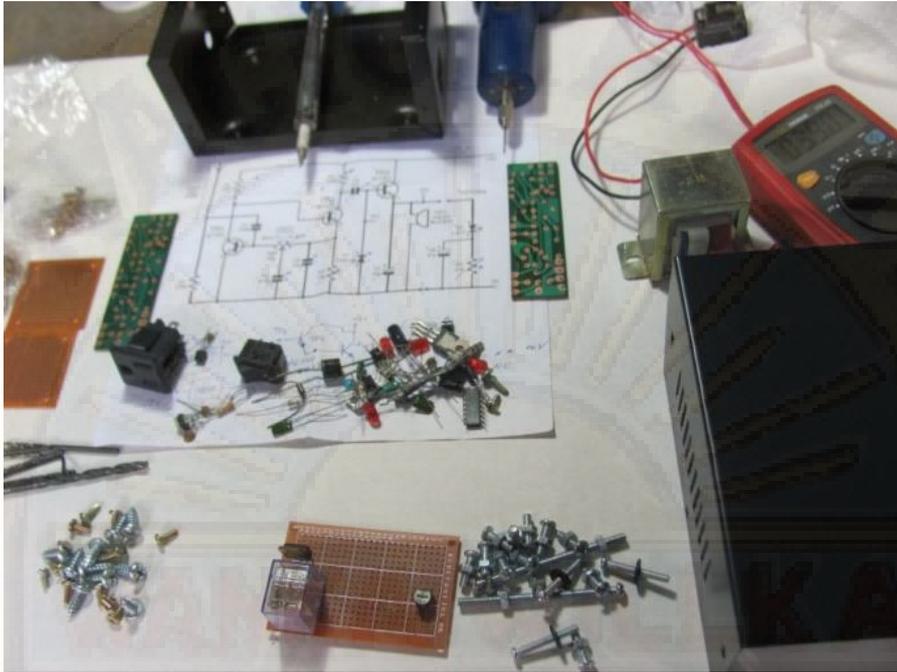


Figura A1. Vista de dispositivos utilizados en la implementación del circuito

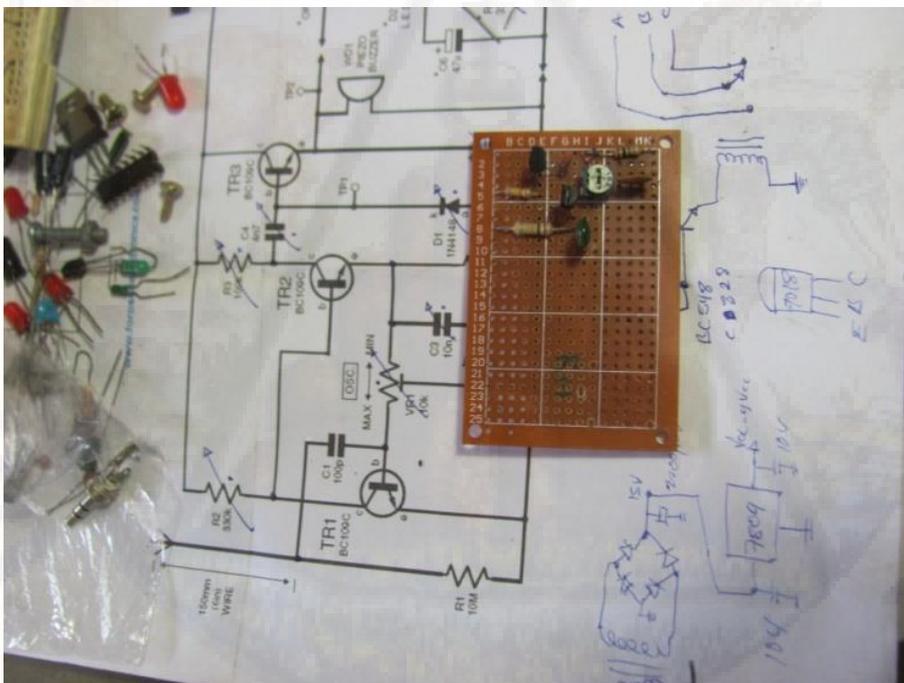


Figura A2 Esquematación del circuito

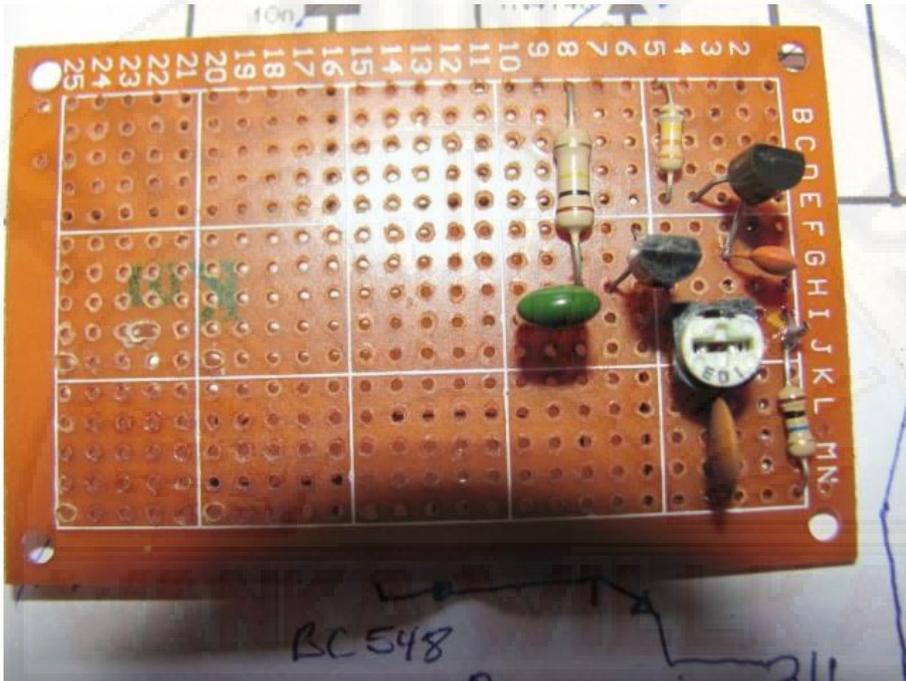


Figura A3. Inicio del trabajo en protoboard



Figura A4. Primer plano del autor al inicio de la construcción de circuito

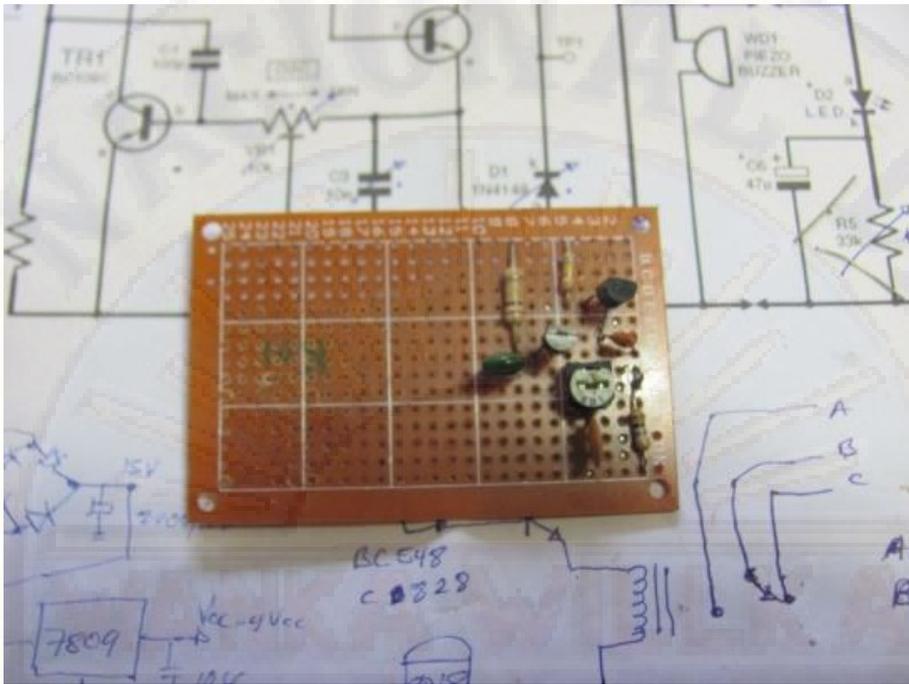


Figura A5. Avance de la construcción del circuito de acuerdo al plano diseñado

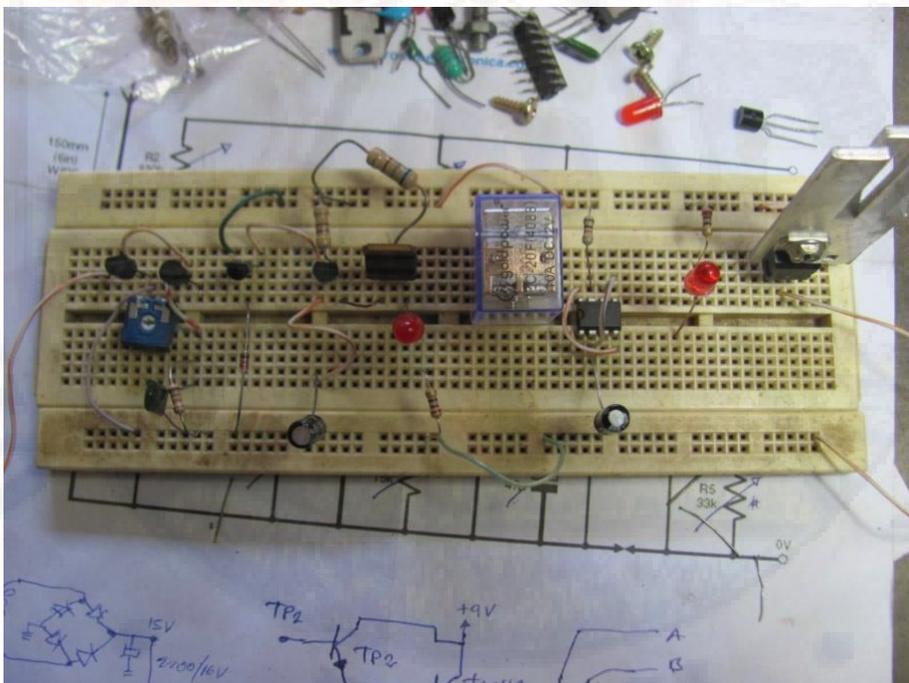


Figura A6. Vista frontal del avance de circuito básico en protoboard.

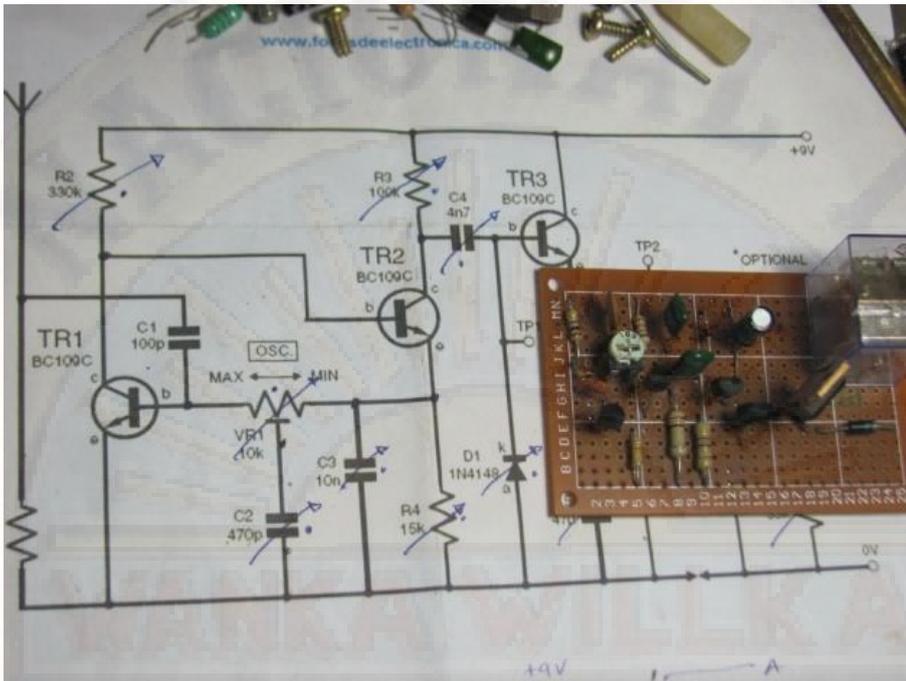


Figura A7. Inicio de la fase final

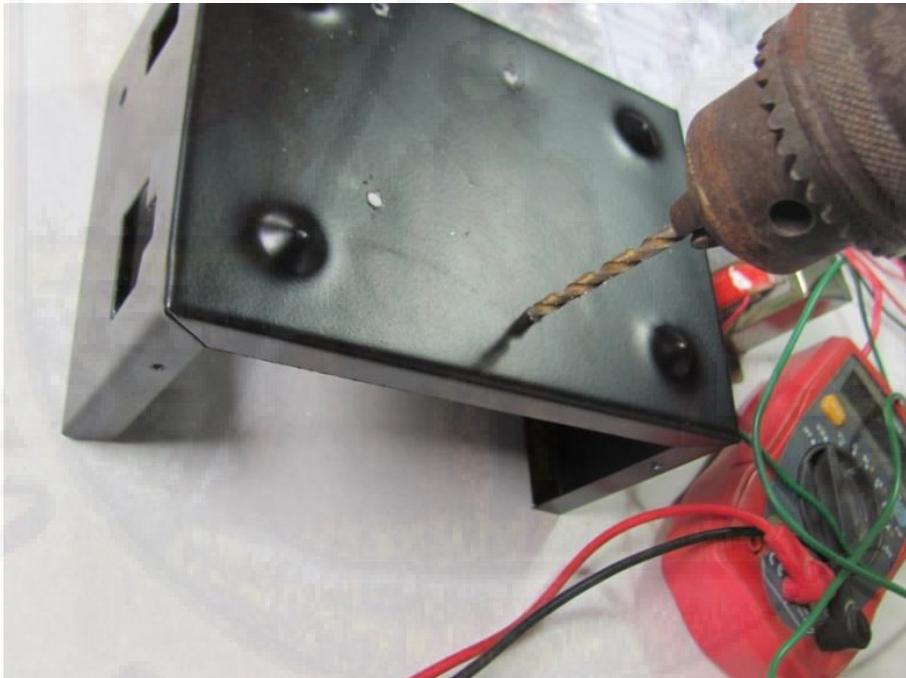


Figura A8. Perforación de la carcasa



Figura A9. Multímetro empleado en las mediciones

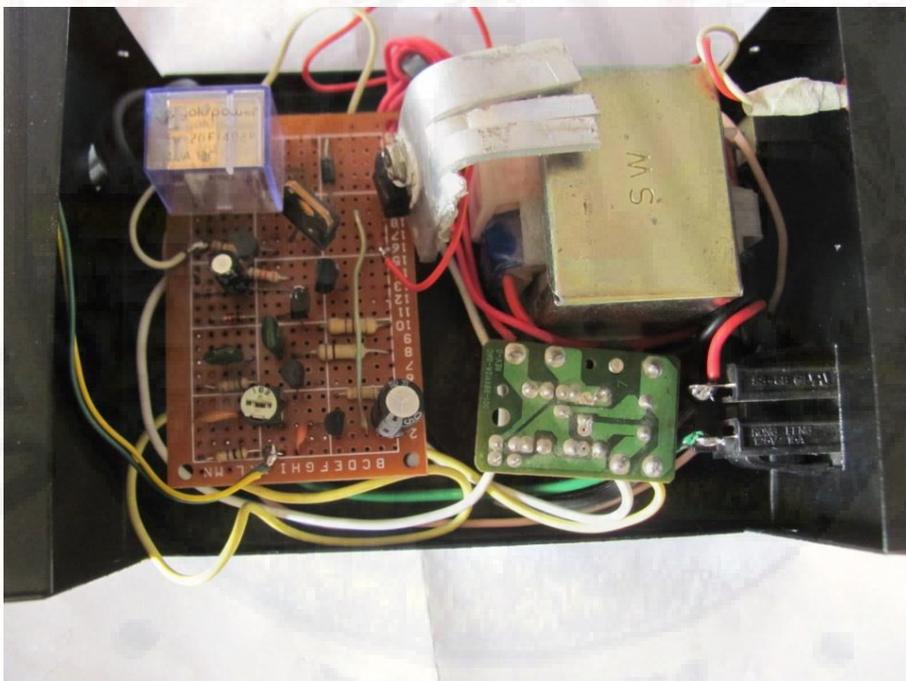


Figura A10. Vista del equipo antes del cierre del módulo