

12
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA ELECTRICA

**"CALIDAD EN EL SUMINISTRO DE
POTENCIA ELECTRICA"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA Y ELECTRONICA)

P R E S E N T A N :

LEONARDO A. AMEZCUA ORNELAS
MIGUEL ANGEL MORFIN HERRERA
FRANCISCO PEREZ RODRIGUEZ
JAIME VALENCIA MORENO

ASESOR: ING. AUGUSTO O. HINTZE VALDEZ.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D. F.

1997



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Gracias *Patria* mía, por ser crisol de la historia ignota, porque en ti se encuentra inmerso del pasado y el futuro de ilusiones y verdad.

Que de *padres, hermanos y amigos de verdad.*
Desde *Guanajuato* las primera letras, hasta la siempre honrosa *Universidad*. Todo ello es parte de tu esencia misma, tradición de honra y lealtad.

Luchar por tu grandeza, que por mi raza hablará el espíritu, y sin duda, la verdad os hará libres, hoy y siempre.

Leonardo Amezcua O.

Es la causalidad quien hace a los padres y hermanos, más es el corazón quien hace a los amigos.

A mi *familia*, por ser ambos.

Miguel A. Morfin H.

A mi *familia y amigos* por su valioso apoyo para la culminación de una meta más en mi vida.

Jaime Valencia M.

Al llegar a este momento en mi vida donde una mezcla de sentimientos se hacen presentes en mi corazón quiero agradecer en primera instancia a quienes que de no haber sido por sus sacrificios, apoyo, e inquebrantable confianza en mí jamás habría logrado llegar a la cima, a ustedes a quienes les debo no solo la oportunidad de vivir sino también todo lo que soy *Mis Padres*

De igual forma a *Adanely, Fran*, a mis *maestros y amigos* los hago partícipes de este logro por haber estado siempre a mi lado para apoyarme a seguir siempre adelante.

Y a ti Alma Mater te reitero mi compromiso establecido años atrás de poner muy en alto tu nombre y estar siempre orgulloso de ti mi *Universidad Nacional Autónoma de México*.

Al *Ing. Augusto O. Hintze V.* por haber confiado en nosotros y brindarnos su apoyo incondicional en todo momento

Francisco Pérez R.

Í N D I C E

CALIDAD EN EL SUMINISTRO DE POTENCIA ELECTRICA

<u>INTRODUCCIÓN</u>	Página	1
CAPITULO 1. <u>CONCEPTOS PRELIMINARES</u>		
1.1 ¿QUÉ ES LA CALIDAD Y PORQUE ES IMPORTANTE?.....		2
1.2 ANTECEDENTES.....		2
1.3 ¿CÓMO SE HA TRATADO EN OTROS PAÍSES?.....		4
1.4 TERMINOLOGÍA.....		4
CAPITULO 2. <u>FUNDAMENTOS</u>		
2.1 CONSIDERACIONES SOBRE LA IMPEDANCIA.....		18
2.2 DISTURBIOS EN EL VOLTAJE DEL SISTEMA.....		23
2.3 INTERACCIONES ENTRE LA FUENTE DE POTENCIA Y LA CARGA.....		25
2.4 ONDAS DE SOBREVOLTAJE (SURGES).....		29
2.5 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....		39
2.6 CONCEPTOS DE BLINDAJE.....		42
CAPITULO 3. <u>INSTRUMENTACIÓN</u>		
3.1 MEDICIÓN R Y Z DE TIERRA.....		46
3.2 VOLTMETRO RMS VERDADERO.....		46
3.3 VOLTMETRO RMS.....		46
3.4 AMPERMÉTROS DE LECTURA DIRECTA.....		46
3.5 AMPERMÉTROS RMS VERDADERO.....		47
3.6 PROBADORES.....		47
3.7 OSCILOSCOPIOS.....		49
3.8 MONITOR DE DISTURBIOS DE POTENCIA.....		49
3.9 ANALIZADORES DE ESPECTRO.....		53
3.10 SISTEMAS EXPERTOS.....		54
3.11 INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA.....		55
CAPITULO 4. <u>VERIFICACION EN SITIO</u>		
4.1 OBJETIVO.....		59
4.2 EQUIPOS A UTILIZAR.....		59
4.3 CAMPAÑA DE MEDICIÓN.....		60
4.4 CALIDAD DEL VOLTAJE DE C.A.....		69
4.5 MEDIO AMBIENTE DEL EQUIPO ELECTRÓNICO.....		72

CAPITULO 5 ANÁLISIS DE INFORMACION

5.1	SISTEMAS DE COMPUTO (PROGRAMAS).....	76
5.2	BASE DE DATOS.....	79

CAPITULO 6 ESPECIFICACIONES DE EQUIPO Y MATERIALES

6.1	DISPOSITIVOS COMÚNMENTE UTILIZADOS PARA MEJORAR LA POTENCIA.....	81
6.2	TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO.....	83
6.3	FILTROS.....	84
6.4	SUPRESORES DE ONDAS.....	85
6.5	REGULADORES DE VOLTAJE.....	86
6.6	ACONDICIONADORES DE POTENCIA.....	88
6.7	FUENTES ININTERRUMPIBLES DE POTENCIA (UPS's).....	92

CAPITULO 7 PRACTICAS RECOMENDADAS

7.1	SEGURIDAD.....	97
7.2	COMPORTAMIENTO.....	97
7.3	SELECCIÓN DEL VOLTAJE.....	98
7.4	FORMA DE LA ONDA DEL VOLTAJE.....	98
7.5	ALAMBRADO Y TIERRAS DE SALAS DE COMPUTO.....	99
7.6	CIRCUITOS DEDICADOS Y COMPARTIDOS.....	99
7.7	ALIMENTADORES.....	100
7.8	RAMALES.....	101
7.9	CONTROL DE ARMÓNICAS.....	102
7.10	MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA.....	103
7.11	CONEXIÓN A TIERRA EN GENERAL.....	114
7.12	PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	121
7.13	TABLEROS.....	123
7.14	TRANSFORMADORES SECOS.....	128

<u>CONCLUSIONES</u>	131
----------------------------------	-----

<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	134
----------------------------------	-----

ANEXO I <u>VOCABULARIO</u>	147
--	-----

ANEXO II <u>GRÁFICAS DE COMPORTAMIENTO</u>	
--	--

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la industria eléctrica ha prevalecido la necesidad de proporcionar un servicio de energía eléctrica confiable con un voltaje y una frecuencia constantes. Sin embargo, la realidad es que se presentan disturbios inevitables, los cuales pueden ser causados por fenómenos naturales, accidentes o la operación propia de la red, dando como resultado equipos dañados o perturbaciones en la operación. Todo lo anterior trae como resultado problemas con el suministro eficiente del Servicio de Energía Eléctrica.

Actualmente en las plantas industriales modernas, es común que se encuentren controles electrónicos sofisticados (tales como controladores de procesos, controladores de velocidad, etc.), así como procesos de fabricación automatizados; entre otros equipos que requieren cada día de niveles más altos de confiabilidad en el suministro de energía eléctrica así como una mejor "Calidad de la Potencia Eléctrica", ya que dichos equipos tienen un cierto grado de complejidad y un alto contenido de electrónica de potencia.

Hoy en día se ha venido teniendo un incremento sustancial de quejas por parte de los usuarios hacia la compañía suministradora de energía eléctrica, lo cual confirma que los problemas de "Calidad de la Potencia Eléctrica", se están presentando con más y más frecuencia.

Cabe mencionar que antes de entrar de lleno a tratar el tema es importante conocer ciertos conceptos preliminares que serán tratados en el capítulo 1, los cuales no representarán las bases para poder entender las principales categorías y características de los fenómenos que intervienen en la "Calidad de la Potencia Eléctrica", así como también se nos presentará un panorama general del tema, y como ha sido tratado el problema en otros países.

Ahora bien para poder obtener una operación confiable y exitosa con el equipo electrónico sensible se requiere de un apego a los fundamentos de la física. Es por esta razón que en el capítulo 2 se revisarán los conceptos fundamentales apropiados con el objetivo de establecer una apreciación de como funcionan los dispositivos y sus modos de falla relacionados. Por otro lado los rápidos cambios surgidos dentro de la industria electrónica y de comunicaciones hace casi imposible para los ingenieros de diseño ser expertos en todas las disciplinas relacionadas. Por lo tanto, un segundo objetivo del capítulo 2 es el de formar un consenso sobre los problemas de diseño relacionados y la expresión de estos problemas a través de un lenguaje común.

Otros puntos importantes son tanto las visitas técnicas al sitio como los programas de monitoreo, los cuales a largo plazo requieren de instrumentos apropiados para que se obtengan resultados efectivos, mencionando que existen una amplia variedad de equipos de medición disponibles para esas tareas. De ahí que en el capítulo 3 se hablará de la instrumentación ya que el reto es seleccionar el o los instrumentos más apropiados para hacer una medición o una prueba determinada.

Aunado a lo anterior, en el capítulo 4 se analizará lo que representa una verificación en sitio desde cual es el objetivo de realizarla hasta determinar el tipo de ambiente en el cual trabajan los equipos electrónicos sensibles, pues el llevar a cabo un análisis de la potencia en sitio, a través de una visita de investigación puede ser un medio efectivo para detectar errores y corregir problemas relacionados con la potencia si es realizado apropiadamente. Es necesario que las pruebas y las técnicas para la solución de problemas sean hechas cuidadosamente para recolectar información valiosa sobre la "Calidad de la Potencia Eléctrica". Y una vez que se tiene toda la información ésta debe clasificarse y analizarse cuidadosamente para definir tan precisamente como sea posible las áreas en problemas.

Por otra parte en nuestros días contamos con unas valiosas herramientas para dar una pronta y fácil solución a nuestros problemas las cuales resultan indispensables en toda actividad, nos referimos a los equipos de computo. Durante un largo tiempo las computadoras existieron de una forma rústica pero con la llegada de los semiconductores, todo el panorama cambio, ya que se volvieron herramientas de carácter indispensable. Refiriéndonos específicamente al área de los sistemas de potencia gracias a la utilización de las computadoras actualmente podemos manejar una gran cantidad de datos (los cuales anteriormente se llegaban a perder) y con ello podemos dar una pronta solución a nuestros problemas. Siendo está la razón por la que en el capítulo 5 se realizará un análisis de algunos sistemas de computo con los que se cuenta hoy en día, ya que existen varias compañías que se dedican a la creación de programas de computo para dar solución a todo tipo de problema relacionado con un tema específico

En lo referente a equipos, existen algunos que mejoran la **"Calidad de la Potencia Eléctrica"**, es decir que aceptan potencia eléctrica en cualquier forma que esté disponible, y la modifican para mejorar la calidad y la confiabilidad requerida por los equipos electrónicos de CA sensibles. Estos dispositivos llevan a cabo funciones tales como la eliminación de ruido, cambio o estabilización de voltaje, frecuencia, y forma de onda.

Los requerimientos para el manejo y comportamiento de la potencia varía dependiendo de cada aplicación. De lo anterior se profundizará en el capítulo 6, ya que actualmente están disponibles en el mercado una amplia variedad de productos que mejoran la potencia, utilizando diversas tecnologías y proporcionando diferentes grados de protección a la carga conectada. No obstante primero se deben entender los requerimientos de la aplicación, y luego aplicar una solución costo/efectiva utilizando uno o más de los productos disponibles.

El trabajo de seleccionar el dispositivo apropiado es realmente directo cuando alimenta a una sola carga y cuando sólo se consideraran los requerimientos de esa carga. En sistemas más grandes que soportan muchas cargas, es necesario considerar los requerimientos de todas las cargas, así como también las interacciones potenciales entre ellas, antes de decidir el equipo más apropiado que mejore la potencia y la construcción del sistema.

Finalmente en el capítulo 7 al hablar de las prácticas recomendadas se tratará con los principios de un buen ejercicio de la ingeniería que relacione los requerimientos de comportamiento de los equipos electrónicos modernos; no obstante que algunas veces pudiese parecer que las prácticas recomendadas restringen los esfuerzos del diseño, la instalación o el servicio. Sin embargo tales restricciones son generalmente necesarias para obtener los niveles de comportamiento deseados tanto para las instalaciones como para las cargas electrónicas sensibles dentro de los límites de los códigos, estándares, y regulaciones aplicables.

CAPÍTULO 1
CONCEPTOS PRELIMINARES

1.1 ¿QUÉ ES LA CALIDAD Y POR QUÉ ES IMPORTANTE?

El concepto referente a calidad posee un cierto grado de ambigüedad dependiendo del punto de vista de las personas involucradas. Sin embargo hoy en día existen dos tendencias una de ellas es la de aplicar y verificar el cumplimiento de la normatividad correspondiente, ya que al realizar dichas acciones se obtendrá por omisión un cierto grado de calidad. En la otra tendencia se plantea que calidad significa hacer todo lo necesario para brindar un buen servicio de tal forma que el cliente o consumidor quede satisfecho.

Ahora bien pero que significa "**Calidad de la Potencia Eléctrica**"; como se menciono al principio no existe una definición establecida para calidad y enfocada a la Potencia Eléctrica tampoco ya que además de la tendencia adoptada para la calidad depende mucho del punto de vista de la persona; ya que por ejemplo las compañías suministradoras de energía eléctrica significa dar un alto grado de confiabilidad, "garantizando" en cierta forma la continuidad en la operación de los equipos del usuario. Por otro lado para el usuario este concepto se refiere a aquella potencia cuyas características sean apropiadas para que sus equipos funcionen adecuadamente. Y finalmente para los fabricantes de equipo significa dar a sus productos ciertas características para que el usuario no tenga ningún problema con ellos al utilizarlos.

Es por lo anterior que nosotros tratando de brindar un concepto que involucre los tres puntos de diferentes, definimos a la "**Calidad de la Potencia Eléctrica**" como :

"La ausencia de interrupciones, sobretensiones, depresiones, variaciones del voltaje RMS y deformaciones producidas por armónicas en la red, que puedan provocar una falla, daño o una operación indebida de los equipos".

Ahora bien la importancia del servicio eléctrico para la vida moderna, radica en que su uso va desde la iluminación, la operación de equipos de aire acondicionado, equipos de cómputo, equipos de telecomunicaciones y equipos diversos (video, audio, electrodomésticos), hasta los más complejos procesos industriales de manufactura. Es por esto los problemas con la "**Calidad de la Potencia Eléctrica**" tienden a afectarnos de alguna u otra forma.

En conclusión podemos establecer que el objetivo del presente trabajo es encontrar las soluciones efectivas para corregir los problemas del lado del usuario, así como proponer soluciones para corregir las fallas que se presenten del lado del sistemas de las compañías suministradoras, para lograr con ello en conjunto una **Energía Eléctrica con Calidad**.

1.2 ANTECEDENTES.

En cuanto a normatividad se refiere en nuestro país la ley de servicio público sólo establece los límites superior e inferior de voltaje de suministro y la desviación de la frecuencia en el punto de entrega, y fuera de éstos límites no se consideran deficiencias en el suministro.

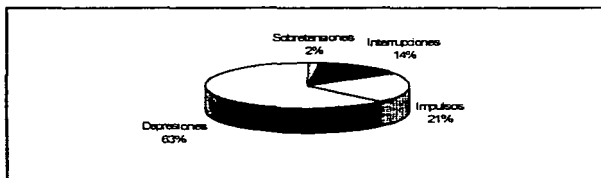
Hasta hace algunos años la "**Calidad de la Potencia Eléctrica**" no era considerada como un problema mayor excepto por las interrupciones del servicio. Sin embargo el incremento masivo en la utilización de equipos electrónicos sensibles trae como consecuencia un doble problema para la compañía suministradora.

- ⇒ En primera instancia estos equipos son sensibles a las variaciones rápidas del voltaje, tales como los abatimientos de voltaje.
- ⇒ En segunda instancia estos equipos generan distorsión armónica y bajo ciertas condiciones se puede afectar la magnitud y forma de onda del voltaje suministrado.

Ahora bien en general existen varias causas que han contribuido al incremento de los problemas con la "Calidad de la Potencia Eléctrica", las cuales son :

- I. El avance tecnológico en cuanto a la electrónica donde se ven involucrados diseños con un alto grado de integración, como por ejemplo los microprocesadores que cada día resultan más rápidos y más complejos concentrando toda su arquitectura en una superficie muy pequeña. El problema radica en que la lógica para estos circuitos requiere de niveles de tensión y de potencia menores.
- II. Por otro lado en muchas industrias se continúan utilizando capacitores para controlar el voltaje y así corregir el factor potencia, y reducir el flujo de reactivos. El problema radica en que estos dispositivos dejan pasar corrientes de alta frecuencia e incrementan los niveles de armónicas, (dependiendo de los parámetros del sistema) lo cual también afecta la "Calidad de la Potencia Eléctrica".
- III. Adicionalmente cada día se están utilizando en mayor cantidad equipos para procesamiento de datos y comunicaciones .
- IV. El número de disturbios eléctricos también se ha incrementado debido a que la demanda ha crecido más rápido que la generación.

Todos estos problemas a quienes comenzaron a afectar con mayor frecuencia fueron a los fabricantes de computadoras, ya que ellos continuamente experimentaban errores en la operación de sus equipos, y entonces preocupados por esto comenzaron a realizar estudios y estadísticas como tal es el caso de la compañía IBM, la cual encontró los siguientes resultados. Del total de los disturbios presentados el 63% se debió a Depresiones de Voltaje, el 21% a Impulsos, el 14% a interrupciones y el 2% a sobretensiones. Estos resultados los podemos apreciar gráficamente a continuación.



Cabe mencionar que cuando se presentan este tipo de problemas generalmente ocurre una controversia entre las partes involucradas por un lado el suministrador atribuye los problemas a las anomalías en la instalación del usuario, mientras que el usuario atribuye los problemas a las deficiencias en las redes de suministro y a la mala calidad de los equipos.

1.3 ¿COMO SE HA TRATADO EN OTROS PAISES ?

Los problemas relacionados con la "**Calidad de la Potencia Eléctrica**" no son exclusivos de nuestro país sino que están presentes en el ámbito mundial tan es así que en Europa existen instituciones tales como el Instituto Alemán de Ingenieros (V.D.I.), ó el Instituto Británico de Normalización (B.S.I.), que han trabajado en los principios de las prácticas y técnicas necesarias para aumentar la "**Calidad de la Potencia Eléctrica**". Del mismo modo en Estados Unidos el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (I.E.E.E.), ha desarrollado sus propias investigaciones.

De igual forma a nivel nacional tanto la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) como Luz y Fuerza del Centro (L y F.C.) están poniendo en marcha acciones de mejora y modernización del proceso que llevan a cabo para brindar el servicio. Encontrándose la mayor parte de éstas acciones en los sistemas de Distribución, que son el punto de encuentro entre el usuario y la compañía suministradora.

Por otro lado dado que la economía va involucrada con los problemas con la "**Calidad de la Potencia Eléctrica**", debe ser incluida en el análisis ya que en la mayor de las veces la solución al problema consiste en realizar una inversión que pudiese ser excesiva, pero que sin embargo de no realizarse traerá consecuencias económicas todavía mayores para la industria en cuestión.

1.4 TERMINOLOGIA.

En años recientes el incremento en la aplicación de equipos electrónicos, ha venido acompañado de una terminología especial para describir los disturbios que los afectan. Desafortunadamente, dicha terminología no ha sido la misma para todos. Lo cual por ejemplo ha traído una gran cantidad de confusiones entre vendedores de equipo y usuarios, ya que a final de cuenta el equipo no trabaja como se esperaba.

Los términos utilizados para definir a los fenómenos algunas veces gozan de cierta ambigüedad ya que un mismo fenómeno puede ser definido por varios términos diferentes. Y otro problema consiste en que no se están claramente definidos e inclusive no tienen significado. Como por ejemplo el término "surge" se utiliza para agrupar a una amplia variedad de disturbios que pueden causar una falla en la operación del equipo; ahora el término "surge suppressor" se pensaría que eliminará todos los disturbios que se presenten, sin embargo sólo eliminará algunos. Por otro lado términos como "glitch" o "brownout" aunque no tienen un significado técnico se están utilizando continuamente.

No obstante se están realizando esfuerzos a nivel internacional para estandarizar los términos y sus definiciones. Quienes están trabajando arduamente en este problema son por un lado el Instituto de Ingenieros Eléctricos Electrónicos (I.E.E.E.), a través de sus diferentes comités y sociedades, la Comisión Electrotécnica Internacional (C.E.I) y el Congreso Internacional para Sistemas Eléctricos de Muy Alto Voltaje (C.I.G.R.E./ Congress Internationale des Grand Réseaux Électriques a Haute Tension). Y actualmente como resultado a sus investigaciones han presentado un esquema general para la clasificación de los disturbios que es el mostrado en la tabla de la siguiente página

Tabla de Categorías y Características de los Fenómenos que intervienen en la Calidad de la Potencia

tiempo de elevación : 5ns tiempo de elevación : 1µs tiempo de elevación : 0.1ms < 5kHz 5-500kHz 0.5-5MHz	< 50ns 50ns-1ms > 1ms 0.3-50ms 20µs 5µs	0-4pu 0-8pu 0-4pu
	0.5-30 ciclos 0.5-30 ciclos 0.5-30 ciclos 30ciclos-3seg 30ciclos-3seg 30ciclos-3seg 3seg-1min 3seg-1min 3seg-1min	< 0.1pu 0.-0.9pu 1.1-1.8pu < 0.1pu 0.-0.9pu 1.1-1.4pu < 0.1pu 0.-0.9pu 1.1-1.2pu
	> 1min > 1min > 1min	0.0pu 0.8-0.9pu 1.1-1.2pu
	Estado estable	0.5-2%
0-100 ^m armónica 0-6kHz Todo el ancho de banda	Estado estable Estado estable Estado estable Estado estable Estado estable	0-0.1% 0-20% 0-2% 0-1%
< 25Hz	Intermitente	0.1-7%
	< 10seg	

A continuación se hará una descripción de los términos incluidos en la tabla de la página anterior.

1. Transitorios.

El término transitorio se ha venido utilizando en el análisis de variaciones de potencia, para denotar un evento que es indeseable pero momentáneo.

Otra palabra comúnmente considerada como sinónimo de transitorio es la de "surge". En un principio podríamos pensar que "surge" es un transitorio provocado por una descarga atmosférica, lo cual puede ser evitado mediante la utilización de protecciones tales como los Supresores de Sobrevoltajes Transitorios (T.V.S.S./Transient Voltage Surge Suppressor). Cabe hacer notar que mucha gente frecuentemente utiliza la palabra indiscriminadamente para describir cualquier evento inusual tal como sobrevoltajes, caídas de voltaje ó bien interrupciones; que se presentan en el suministro de potencia eléctrica.

Sin embargo en general los transitorios pueden ser clasificados en dos categorías :

1.1 Transitorios Impulsivos

Un transitorio impulsivo es un cambio imprevisto de la frecuencia del sistema provocado por una alteración del estado estable de voltaje, corriente ó ambos, debido a la modificación de la dirección de la polaridad de las ondas de voltaje ó corriente. Los transitorios impulsivos son normalmente caracterizados por los tiempos de elevación y decaimiento, los cuales también pueden ser revelados por su contenido espectral. Por ejemplo un transitorio de $1.2 \times 50\text{-}\mu\text{s}$ 2000-V, es aquel que crece desde cero en 1.2 ms y después decae a la mitad de sus valor pico en 50 μs . Siendo la causa más común de este tipo de transitorios las descargas atmosféricas.

Debido a las altas frecuencias involucradas en este tipo de transitorios su forma de onda puede ser alterada rápidamente, por los componentes electrónicos de los circuitos y entonces la forma de onda puede tener características significativamente diferentes al ser vista desde diferentes puntos del sistema. Aunque en general este tipo de transitorios no se propagan por largas distancias, algunas veces en pequeñas distancias se introducen a través de la línea de transmisión. Finalmente cabe mencionar que los transitorios impulsivos pueden excitar algunos circuitos dentro del sistema de potencia y así producir transitorios oscilatorios.

1.2 Transitorio Oscilatorio

Un transitorio oscilatorio es un imprevisto, que no involucra un cambio de la frecuencia y que incluye valores de polaridad tanto negativos como positivos.

Un transitorio oscilatorio puede ser de voltaje o corriente, los cuales representan rápidos cambios de valores instantáneos de polaridad. Estos son determinados por su contenido espectral, su magnitud, y su duración.

Algunos transitorios oscilatorios poseen una componente primaria en frecuencia mayor de 500 kHz y de una duración típicamente medida en microsegundos, razón por la cual son considerados como transitorios oscilatorios de alta frecuencia, y a menudo son provocados por una respuesta del sistema local a un transitorio impulsivo.

Aquellos transitorios cuya componente primaria de frecuencia se encuentre entre 5 y 500 kHz y con una duración de algunas décimas de microsegundos, son considerados como transitorios de mediana frecuencia. La energización de capacitores provoca transitorios de corriente oscilatorios que son de algunas decenas de kHz; al igual que los transitorios de alta frecuencia, éstos transitorios también pueden ser provocados por una respuesta del sistema local a un transitorio impulsivo.

Por otra parte los transitorios oscilatorios cuya componente primaria en frecuencia sea menor a 5 kHz, y cuya duración sea de entre 0.3 y 5 ms, serán considerados como transitorios de baja frecuencia. Esta categoría de fenómenos son frecuentemente encontrados en sistemas de subtransmisión - distribución y son causadas por diversos tipos de eventos. El más frecuente es la energización de bancos de capacitores, los cuales producen transitorios oscilatorios de voltaje de entre 300 y 900 Hz. Además su voltaje pico puede alcanzar hasta 2 p.u. de magnitud, y típicamente entre 1.3 y 1.5 en p.u. con una duración de entre 0.5 y 3 ciclos dependiendo de las condiciones del sistema.

Transitorios oscilatorios de menos de 300 Hz pueden ser encontrados en sistemas de distribución, donde son generalmente asociados con la ferroresonancia y la energización de transformadores. Los transitorios provocados por capacitores serte pueden caer también dentro de esta categoría. Esto ocurre cuando el sistema entra en resonancia con las componentes de baja frecuencia de las corrientes de arranque (Inrush) del transformador (segunda y tercer armónica) ó cuando se presentan condiciones inusuales como resultado de la ferroresonancia.

II. Variaciones de Voltaje de Corta Duración.

Esta categoría comprende las variaciones por arriba y por debajo del voltaje nominal (swells ó sags) y las interrupciones de corta duración. Señalando que cada tipo de variación puede ser considerado como instantánea, momentánea ó temporal dependiendo de su duración. Las variaciones de voltaje de corta duración son causadas por una condición de falla, debido a la energización de cargas muy grandes las cuales requieren de elevacas corrientes de arranque, ó bien por fallas intermitentes provocadas por conexiones en el sistema. Dependiendo de la localización de la falla y de las condiciones del sistema la falla puede causar depresiones de voltaje temporales (Sags), elevaciones temporales de voltaje (Swells), ó la perdida completa del voltaje (Interrupciones). La condición de falla puede estar cercana o lejana dependiendo de la ubicación del punto de interés. En cada caso el impacto del voltaje durante una condición de falla dependerá de la rapidez con que operen los dispositivos de protección para liberar la falla.

II.1 Interrupción.

Una interrupción ocurre cuando el voltaje de alimentación ó la corriente de carga decrece a menos de 0.1 p.u. por un periodo de tiempo menor a 1 min. Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema, fallas del equipo ó un mal funcionamiento de los equipos de control. Las interrupciones son medidas por su duración desde que la magnitud del voltaje decrece a menos del 10 % de su valor nominal; a su vez la duración de una interrupción durante una falla es determinada por el tiempo de respuesta de los dispositivos de protección. Ahora bien el recierre instantáneo será posible siempre y cuando la interrupción sea causada por una falla no permanente y con una duración menor a 30 ciclos, siendo por esta razón que el retraso de tiempo de los dispositivos de protección puede causar una interrupción temporal ó momentánea. Aunque la duración de una interrupción debido a un mal funcionamiento del equipo ó a conexiones flojas, se llegan a presentar generalmente son muy escasas.

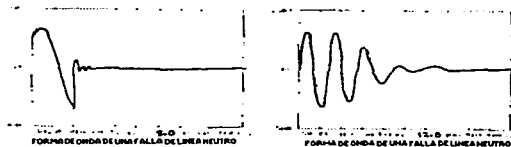


Fig. 1-1
Ejemplos de Interrupción

Algunas interrupciones pueden ser precedidas por una depresión de voltaje (sag) cuando dichas interrupciones son debido a fallas en el sistema fuente. Dichos "sags" de voltaje ocurren entre el tiempo en que inicia la falla y en el que los dispositivos de protección operan.

11.2 Sags.

Un sag es un decremento de entre 0.1 y 0.9 en p.u. del voltaje ó corriente rms a la frecuencia del sistema y con una duración de 0.5 ciclos a 1 minuto.

Dentro del ámbito de "**Calidad de la Potencia Eléctrica**" se ha utilizado por muchos años el término de "sag" para describir un decremento de voltaje de corta duración. Aunque el término no ha sido formalmente definido, su uso se ha venido aceptando cada vez más y más por compañías suministradoras, fabricantes y usuarios. La definición del CEI para este fenómeno es "dip": por lo tanto ambos términos son considerados equivalentes, aunque "sag" es preferido por la comunidad de analistas de "**Calidad de la Potencia Eléctrica**" de E.U.A.

La terminología para describir la magnitud de los "sags" de voltaje a menudo resulta confusa. Por ejemplo un "sag de 20%" se refiere a un "sag" cuya magnitud en voltaje no se sabe si es de 0.8 p.u. ó 0.2 p.u.. Entonces la terminología utilizada debe ser aquella que no deje duda alguna, tal como un nivel de voltaje por ejemplo "un sag de 0.8 p.u." o "un sag cuya magnitud fue de 20 %", cuando no se especifica nada, un sag de 20% deberá ser considerado como un evento durante el cual el voltaje rms decrece un 20 % a 0.8 p.u. ; siendo especificado el nivel de voltaje como nominal o base.

Los "sags" de voltaje son usualmente asociados con fallas del sistema pero también pueden ser asociadas con una falla de una fase a tierra (SLG/single-line-to-ground) en un alimentador de la misma subestación. Un 80 % de los "sags" aparecen por cerca de tres ciclos hasta que el interruptor de la subestación es capaz de interrumpir la corriente de falla. El tiempo típico para librar la falla oscila entre 3 y 30 ciclos dependiendo de la magnitud de la corriente de falla y el tipo de protección contra sobrecorriente.

En una curva de variación rms un motor de inducción puede tomar de 6 a 10 veces su corriente de plena carga durante su arranque. Si la magnitud de corriente es grande en comparación con la corriente de falla del sistema en ese punto, entonces el "sag" de voltaje resultante será significativo. En este caso, el "sag" de voltaje ira al 80% y gradualmente regresará a su condición normal en aproximadamente 3 seg.

Hoy en día la duración de los "sags" no ha sido claramente definida; aunque algunas publicaciones establecen rangos de entre 2 ms (aproximadamente un décimo de ciclo) y un par de minutos. Bajos voltajes que sean menores a la mitad de un ciclo no podrán ser caracterizados efectivamente por un cambio en el valor rms del valor de la frecuencia fundamental. Entonces estos eventos serán considerados como transitorios. Bajos voltajes con duración de más de un minuto pueden ser típicamente controlados por equipos reguladores de voltaje. Sin embargo estos disturbios pueden ser asociados con otras causas tales como fallas del sistema y además son clasificadas como variaciones de larga duración.

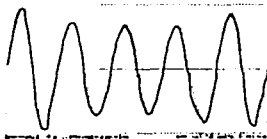


Fig. 1-2
Ejemplo de SAG

De acuerdo a su duración los "sags" se subdividen en tres categorías:

- a) instantáneos.
- b) momentáneos.
- c) temporales.

Estas duraciones tienen la intención de corresponder con los tiempos de operación típicos de los dispositivos de protección, cuyas divisiones de tiempo son recomendadas por organizaciones técnicas internacionales.

II.3 Swells.

Un Swell es definido como un incremento de entre 1.1 y 1.8 p.u. en corriente ó voltaje rms a la frecuencia del sistema con duraciones de 0.5 ciclos a 1 minuto.

Al igual que los "sags", los "swells" son usualmente asociados con condiciones de falla del sistema, pero ellos no son tan comunes como los "sags" de voltaje. Por ejemplo un "swell" se puede presentar en forma de una elevación de voltaje en una de las fases no falladas durante una falla de una fase a tierra (SLG/single-line-to-ground). Los "swells" también pueden ser causados por la desconexión de una carga considerable en magnitud ó bien por energizar un banco de capacitores grande.

Los "swells" son caracterizados por su magnitud (valor RMS) y su duración; la gravedad de un "swell" de voltaje durante una condición de falla esta en función de la localización de la falla, la impedancia del sistema y el sistema de tierras. En un sistema no aterrizado con una impedancia de secuencia cero infinita, los voltajes de línea a tierra en las fases no aterrizadas serán de 1.73 p.u. durante una falla SLG.

En lugares cercanos a la subestación ó a un sistema aterrizado podrá existir ó no, una pequeña elevación de voltaje en las fases no falladas, ya que el transformador de la subestación es usualmente conectado en delta estrella, proporcionando así una baja impedancia de secuencia cero como trayectoria para la corriente de falla.

El término "sobrevoltaje momentáneo" es usado por muchos escritores como un sinónimo para el término "swell".

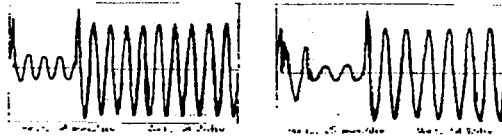


Fig. 1-3
Ejemplos de SWELL

III. Variaciones de Voltaje de Larga Duración.

Las variaciones de voltaje de larga duración comprenden desviaciones de su valor rms a la frecuencia del sistema por más de un minuto. La norma ANSI C84.1 especifica las tolerancias de voltaje en estado estable para un sistema de potencia. Por lo tanto una variación de voltaje es considerada de larga duración cuando excede los límites especificados por la norma ANSI por más de un minuto. Las variaciones de larga duración pueden ser tanto sobrevoltajes como caídas

de voltaje; estos fenómenos generalmente no son el resultado de fallas en el sistema, pero sí son causados por variaciones de la carga conectada al sistema, o bien operaciones de conexión y desconexión de cargas. Tales variaciones de voltajes son desplegadas en gráficas de voltaje rms contra tiempo.

III.1 Sobrevoltaje.

Un sobrevoltaje es un incremento de voltaje rms de CA a la frecuencia del sistema, mayor al 110 % y con una duración mayor a 1 minuto. Los sobrevoltajes son usualmente resultados de la conexión y desconexión de cargas (por ejemplo la desconexión de una carga considerablemente grande, o bien cuando se energiza un banco de capacitores). Los sobrevoltajes pueden ser mantenidos por varias causas por ejemplo que el sistema sea demasiado débil para poder mantener la regulación de voltaje deseada, que los controles de voltaje sean inadecuados o bien que los taps de los transformadores sean seleccionados equivocadamente.

III.2 Caída de Voltaje.

Una caída de voltaje es un decremento en el voltaje rms de CA a frecuencia del sistema por debajo del 90%, y con una duración mayor a 1 minuto. Las caídas de voltaje son el resultado de eventos opuestos a los eventos que provocan los sobrevoltajes. Es decir al conectar una carga o desconectar un banco de capacitores se produce un bajo voltaje hasta que el equipo de regulación actúe o bien el sistema pueda suministrar el voltaje necesario para compensar la caída de voltaje. También cabe mencionar que los circuitos sobrecargados traen como consecuencia la presencia de bajo voltajes. Por otro lado en la literatura en idioma inglés el término "brownout" es a menudo usado para describir periodos sostenidos de bajo voltaje, los cuales son parte de una estrategia de algunas compañías suministradoras con el fin de reducir la demanda de potencia. Sin embargo dado que el término de "brownout" no es una definición clara de bajo voltaje para caracterizar un disturbio, se debe de evitar dicho término.

III.3 Interrupciones Sostenidas.

Cuando el voltaje de alimentación ha llegado a cero por un periodo mayor a 1 minuto, entonces la variación de voltaje se considera como una interrupción sostenida. Las interrupciones de voltaje superiores a un minuto a menudo son permanentes y requieren de la intervención humana para repararlas y restaurar así el sistema de potencia. El término de interrupción sostenida se refiere a un fenómeno específico del sistema y en general no tiene ninguna relación con el término "outage". Las compañías suministradoras de energía eléctrica utilizan el término "outage" para describir índices de confiabilidad del suministro de energía. Sin embargo esto causa confusión entre los usuarios finales, quienes piensan que un "outage" es cualquier interrupción de potencia que interrumpe un proceso; no obstante esto podría ser tan pequeño como la mitad de un ciclo.

El término "outage" es definido por el Estándar 1008 de la IEEE, la cual no lo considera como un fenómeno específico, sino como la condición de una componente del sistema, la cual provoca una falla en el funcionamiento del sistema. También el uso del término interrupción en el contexto de monitoreo de "Calidad de la Potencia Eléctrica" no tiene ninguna relación con la confiabilidad o cualquier otra estadística de la continuidad del servicio. Por lo tanto, éste término ha sido definido para ser considerado específicamente como la ausencia de voltaje por periodos considerables.

IV. Desbalanceo de voltaje.

Un desequilibrio (o desbalanceo) de voltaje es algunas veces definido como la máxima desviación de los voltajes o corrientes promedio de un sistema trifásico, dividido por el promedio de voltajes o corrientes de un sistema trifásico expresado en por ciento.

Un desequilibrio ó desbalanceo puede ser definido usando las componentes simétricas. La razón de cada componente de secuencia negativa ó cero entre la componente de secuencia positiva puede ser usada para especificar el porcentaje de desequilibrio.

La fuente primaria de desbalanceos de voltaje menores al 2 % es debida a cargas monofásicas en circuitos trifásicos. También, otros desequilibrios de voltaje pueden provocar que se dañen los fusibles en una fase de un banco de capacitores trifásico. Algunos desbalanceos de voltaje (mayores al 5 %) son comunes en sistemas monofásicos.

V. Distorsión de la forma de onda .

Una distorsión de la forma de onda es definida como una alteración de la onda senoidal ideal de frecuencia original del sistema de potencia principalmente caracterizada por el contenido espectral de las alteraciones (Ver Fig. 1-4).

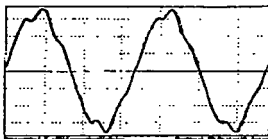


Fig. 1-4
Ejemplo de Distorsión

Existen 5 causas principales que provocan la distorsión de la forma de onda y son :

- V.1 Componente de C.D.
- V.2 Armónicas.
- V.3 Interarmónicas.
- V.4 Ranurado de la onda (notching).
- V.5 Ruido.

V.1 Componente de CD

La presencia de un voltaje de CD dentro de un sistema de potencias de CA se denomina como componente de CD (DC offset). Esto puede ocurrir como resultado de un disturbio magnético, debido al efecto producido por un rectificador de media onda ó por la utilización de sistemas que alargan la vida de las lámparas Incandescentes (ya que dichos sistemas contienen un rectificador de media onda con el cual reducen el voltaje rms aplicado a la lámpara). La presencia de una componente de CD en las redes de corriente alterna puede traer consigo un efecto perjudicial en los núcleos de los transformadores ya que se saturan al trabajar en estas condiciones; lo cual causa un calentamiento adicional del transformador y a su vez reduce la vida del transformador. Además la corriente directa también puede causar erosión electrofítica en los electrodos de tierra y otros conectores.

V.2 Armónicas.

Las armónicas son voltajes ó corrientes sinusoidales de frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (generalmente de 50 o 60 Hz) que provocan una distorsión en la forma de onda ya que se superponen las ondas de la frecuencia fundamental con las de las armónicas.

Dicha distorsión armónica es originada por las características no lineales de los dispositivos u cargas conectadas al sistema de potencia.

Por otro lado los niveles de distorsión armónica son descritos por un espectro en el cual aparecen las magnitudes y ángulos de fase de cada componente armónica individual. A su vez existe la posibilidad de utilizar una simple cantidad común denominada Distorsión Armónica Total THD, la cual es el resultado de la medición de valor efectivo de distorsión armónica; es decir los niveles de distorsión de corriente pueden ser caracterizados por un valor THD; sin embargo este valor puede dar lugar a malos entendidos, como por ejemplo muchos controladores ajustables de velocidad cuando operan con cargas muy ligeras aparentemente no presentan problemas con armónicas dado que las magnitudes son pequeñas, sin embargo la distorsión si resulta significativa ya que ésta alcanza valores muy elevados.

El manejar todo lo concerniente a la caracterización de las corrientes armónicas, se ha convertido en un tema de mucha actualidad, ejemplo de ello es el Estándar 519-1992 de la IEEE el cual cabe mencionar define otro término la Distorsión de Demanda Total TDD; este término es semejante al de distorsión armónica total, excepto que la distorsión esta expresada como la razón de un porcentaje de la corriente de carga tal que representa un porcentaje de la magnitud de la corriente fundamental. Además dicho Estándar provee guías acerca de los niveles perjudiciales de distorsión tanto de corrientes como de voltajes armónicos en circuitos de distribución y transmisión.

Cabe mencionar que también existen voltajes y corrientes que tienen componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, las cuales son denominadas **interarmónicas**, y que aparecen con un espectro determinado de un ancho de banda.

Las interarmónicas pueden ser encontradas en redes de cualquier clase de voltaje; siendo las principales fuentes de interarmónicas los convertidores estáticos de frecuencia, cicloconvertidores, motores de inducción y otros equipos.

Aunque los efectos de las interarmónicas no son bien conocidos hoy en día; si se ha encontrado que inducen un parpadeo en los monitores de equipos computarizados (CRT's).

V.3 Ranuración de la onda (Notching).

Este tipo de disturbio periódico de voltaje es causados por la operación de dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente conmuta de una fase a otra, ya que en ese instante se provoca un corto circuito momentáneo entre dos fases, debido a que el voltaje llega tan cerca de cero como lo permitan las impedancias del sistema.

Estas ranuraciones ocurren continuamente, y pueden ser caracterizadas a través del espectro armónicos del voltaje afectado. Sin embargo este problema generalmente es tratado como un caso especial; ya que las componentes de frecuencia asociadas con este fenómeno son un tanto altas y el equipo de medición usado comúnmente para el análisis de armónicas no puede determinar las características de este fenómeno.

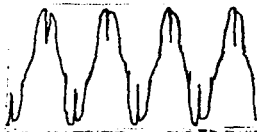


Fig. 1-5
Ejemplo de Ranuración de Onda
(Notching)

Por otro lado las ranuraciones de voltaje pueden algunas veces provocar errores, ya que algunas veces dichas ranuras pueden llegar lo suficientemente cerca a cero para provocar errores en los instrumentos de control que dependen de los cruces por cero para deducir la frecuencia o el tiempo

V.4 Ruido.

El ruido es definido como una señal eléctrica indeseable (cuyo contenido espectral se encuentra en un ancho de banda menor a los 200 kHz) superpuesta sobre los conductores de fase, sobre los conductores de neutro de un sistema de potencia, ó bien sobre las líneas de transmisión.

El ruido en los sistemas de potencia puede ser causado por los dispositivos de electrónica de potencia tales como circuitos de control, fuentes conmutadas o cargas con rectificadores de estado sólido. Los problemas de ruido a menudo son empeorados por malas conexiones a tierra, ya que con esto el ruido se transmite fuera del sistema.

Cabe comentar que dada la arquitectura electrónica de microcomputadoras y controles programables, éstos pueden ser considerados como dispositivos emisores de ruido. Sin embargo este problema puede ser solucionado empleando: filtros, transformadores de aislamiento y acondicionadores de línea.

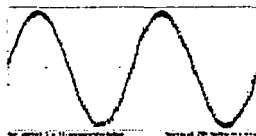


Fig. 1-6
Ejemplo de Ruido

VI. Fluctuación de voltaje.

Las fluctuaciones de voltaje, son variaciones sistemáticas de voltaje ó bien una serie de cambios de voltaje aleatorios, la magnitud de los cuales no exceden los rangos de voltaje especificados por la ANSI C84.1-1982, que son de 0.9 a 1.1 p.u.

De igual forma el CIE 1000-3-3 define varios tipos de fluctuaciones de voltaje las cuales son caracterizadas como una serie de fluctuaciones de voltaje aleatorias o continuas.

Las cargas que pueden presentar variaciones rápidas y continuas de la magnitud de la corriente de carga pueden provocar variaciones de voltaje que son a menudo consideradas como "flicker". Este término de "flicker" es derivado del impacto de las fluctuaciones de voltaje sobre las lámparas de tal forma que, son percibidas por el ojo humano como un parpadeo. Técnicamente es correcto considerar a la fluctuación de voltaje como un fenómeno electromagnético, mientras que el "flicker" es un resultado indeseable debido a la fluctuación de voltaje en algunas cargas. Sin embargo, estos dos términos a menudo son ligados en conjunto por diversos estándares. Por lo tanto, es común encontrarse con el término "voltage flicker" para describir fluctuaciones de voltaje. La señal de "flicker" está definida por su magnitud RMS expresada como un porcentaje de la fundamental.

El "flicker" de voltaje es medido con respecto a la sensibilidad del ojo humano. Típicamente, magnitudes pequeñas tales como 0.5 % pueden provocar un parpadeo perceptible en las lámparas si el rango de frecuencias es de 6 a 8 Hz.

VII. Variaciones de la frecuencia de Potencia del Sistema.

Las variaciones de frecuencia de potencia son definidas como la desviación de la frecuencia fundamental de potencia del sistema de su valor nominal especificado (por ejemplo 50 ó 60 Hz).

La frecuencia del sistema va directamente relacionada con la velocidad de rotación de los generadores alimentadores del sistema. Aunque existen pequeñas variaciones en frecuencia provocadas por cambios entre carga y generadores debido a desbalances dinámicos.

Ahora bien la magnitud de estos corrimientos de frecuencia y su duración dependen de las características de la carga y de la respuesta del sistema de control de generación frente a cambios de la carga.

Las variaciones de frecuencia que exceden los límites aceptados para la operación normal en estado estable del sistema ó bien cuando una carga grande está siendo desconectada, ó cuando una fuente de generación grande se sale de operación.

En los modernos sistemas interconectados es raro que aparezca una variación de frecuencia significativa. Las variaciones de frecuencia de consecuencia son algo mucho más parecido a lo que ocurre para cargas que son alimentadas por un generador aislado del sistema. En tales casos la respuesta principal para estos cambios bruscos de carga puede no ser la adecuada para regular dentro del ancho de banda angosto requerido por el equipo de frecuencia sensible.

Por otro lado las ranuraciones de onda (notching), también pueden provocar errores o variaciones en la frecuencia del sistema, ya que las ranuraciones pueden llegar lo suficientemente cerca de cero como para causar errores en los instrumentos y sistemas de control que dependen de los cruces por cero para dividir la frecuencia o su base de tiempo

CAPÍTULO 2
FUNDAMENTOS

2.1 CONSIDERACIONES SOBRE LA IMPEDANCIA.

El entender lo que es la impedancia eléctrica es fundamental para el diseño de sistemas de potencia aplicados a la electrónica sensible. La impedancia total del sistema se puede agrupar en tres partes fundamentales: la impedancia de la fuente de potencia, la impedancia de la distribución, y la impedancia de la carga. Es importante observar que la naturaleza y magnitud de estas impedancias varía con la frecuencia.

2.1.1 Frecuencias de Interés.

La característica que más distingue a los sistemas de potencia que se aplican a equipos electrónicos sensibles, es que deben comportarse en una forma ordenada desde la CD hasta decenas de megahertz. Este rango de frecuencias en total se puede conceptualizar como dos rangos distintos de frecuencia: un rango de potencia / seguridad, y un rango de comportamiento.

a) Rango de Potencia / Seguridad.

El rango de potencia / seguridad cubre en forma típica, un rango de frecuencia desde CD hasta varias decenas de armónicas por encima de la frecuencia nominal de la fuente de potencia (por ej. 60 Hz). Las impedancias en este rango tienden a ser dominadas por la resistencia, la inductancia y la capacitancia agrupadas. Los que diseñan los sistemas de potencia industriales y comerciales están familiarizados con las necesidades y estándares de diseño de este rango de frecuencias.

b) Rango de Comportamiento.

El rango de comportamiento se extiende desde la CD hasta las decenas de megahertz. La porción superior de este rango ha sido históricamente el dominio de los ingenieros de radio frecuencia, y en general, se identifica como un área de especialidad, distintivamente diferente de la ingeniería de potencia. El término rango de comportamiento se define aquí para denotar que la energía electromagnética conducida y radiada (en el rango de frecuencia entre las decenas de kilohertz y decenas de megahertz) puede impactar en forma importante el comportamiento operacional del equipo electrónico sensible. Las impedancias en este rango tienden a ser caracterizadas por elementos con resistencia, reactancia y capacitancia distribuidas, particularmente en las frecuencias más altas.

2.1.2 Impedancia de la Fuente de Potencia.

El conocer la impedancia de la fuente de potencia es muy importante para entender las interacciones críticas carga-fuente. La impedancia de la fuente de potencia es la relación de la caída de voltaje interno incremental dentro de la misma fuente, dE , a la corriente de carga incremental, dI , suministrada por esa fuente. Esto es, la impedancia es dE/dI . La impedancia de una fuente de poder se puede describir como la impedancia interna, de transferencia hacia adelante, y de salida. Estos conceptos básicos de la impedancia de la fuente se pueden ilustrar con el diagrama equivalente simplificado de un transformador. La Fig. 2-1 muestra tal diagrama donde se ha despreciado la inductancia de magnetización del núcleo.

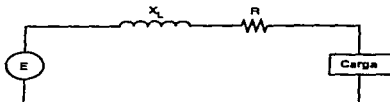


Fig. 2-1

a) Impedancia Interna.

La impedancia interna es la impedancia de la fuente de potencia a su frecuencia de diseño. Por ejemplo, para determinar la impedancia interna en por ciento de un transformador (%Z) se requiere conocer lo siguiente:

- (1) El voltaje de entrada necesario para hacer circular una corriente igual a la nominal en un secundario en corto circuito.
- (2) El voltaje de entrada nominal.

La impedancia interna de un transformador, expresada en por ciento, es la relación de (1) dividido entre (2), y luego multiplicado por 100. La impedancia interna se proporciona generalmente en la placa del transformador.

Un transformador con 5% de impedancia interna permite que circule una corriente de 20 veces el valor nominal durante una condición de corto circuito, suponiendo que se tenga suficiente corriente de falla disponible en el primario. Estos transformadores tienden a tener impedancia en el rango de 3 a 6% a su frecuencia nominal de diseño (por ej. 60 Hz).

Es deseable tener una impedancia interna baja, de tal suerte que las variaciones del voltaje de suministro sean pequeñas para oscilaciones normales en las corrientes de carga. Si la impedancia de la fuente es muy baja, la posible corriente de corto circuito puede ser excesiva al punto de sea necesario instalar interruptores especiales o complementar con fusibles limitadores de corriente para poder interrumpir la corriente de falla. Un rango adecuado de impedancia internas para transformadores, que sirvan corrientes de carga no lineales para equipos electrónicos sensibles, es del orden de 3 al 6%.

b) Impedancia de Transferencia Hacia Adelante.

La impedancia de transferencia hacia adelante es un atributo similar a la impedancia interna, pero a frecuencias diferentes de la nominal del sistema de potencia (60 Hz). El conocer la impedancia de transferencia hacia adelante permite al que diseña evaluar la capacidad de la fuente de potencia para proporcionar la corriente de carga a las frecuencia armónicas necesarias para preservar la forma de onda adecuada en el voltaje. Generalmente, la frecuencia más alta de interés es 3 kHz para un sistema de potencia de 50 o 60 Hz, y 20 a 25 kHz para sistemas de potencia que tengan una frecuencia nominal de 400 Hz (que viene a ser como 50 veces la frecuencia de suministro).

c) Impedancia de salida.

La impedancia de salida (transferencia inversa) de una fuente de potencia es un atributo similar a la impedancia de transferencia hacia adelante, pero describe la impedancia del sistema de potencia visto desde la carga.

Si la carga genera corrientes armónicas, entonces estas corrientes fluyen hacia atrás, hacia la fuente de poder. Estas corrientes producen caídas de voltaje a través de la impedancia que se agregan a (o se restan de) el voltaje del sistema de potencia. La amplitud y la forma de la onda del voltaje de línea puede cambiar en forma importante. Por lo tanto, es muy importante que la fuente de potencia tenga una impedancia de salida baja a estas corrientes armónicas. A frecuencia más altas que aquellas producidas por las armónicas, una alta impedancia de salida proporciona algo de filtraje a los transitorios de alta frecuencia generados, antes de que alcancen a la carga. Las impedancias de salida generalmente crecen con la frecuencia pero las capacitancias distribuidas pueden permitir resonancias que hacen que la impedancia de salida baje a frecuencias específicas.

La capacitancia distribuida en el primario y en el secundario de los transformadores puede actuar para acentuar los transitorios de frecuencias más altas en el lado de la carga en relación a la frecuencia de la potencia. El agregar blindaje dentro del transformador puede reducir la capacitancia entre el primario y el secundario. El utilizar capacitores y filtros adicionales para atenuar estos transitorios a frecuencias más altas puede tener consecuencias inesperadas e indeseables si los capacitores paralelo (que generalmente están involucrados) elevan el voltaje de la señal de referencia. Estos componentes adicionales deben ser utilizados con mucho cuidado.

Los transitorios con tiempos de elevación del orden de los microsegundos y frecuencias de oscilación en el rango de los kilohertz, no son atenuadas rápidamente por los transformadores de potencia típicos o por el alambrado de los edificios. La conmutación de las cargas reactivas, tales como transformadores y capacitores, crea transitorios en el rango de los kilohertz. La Fig. 2-2(a) y la 2-2(b) ilustran formas de onda que no son raras.

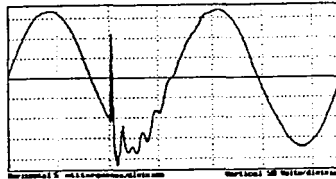


Fig. 2-2(a)

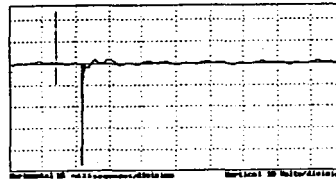


Fig. 2-2(b)

Los dispositivos de conmutación electromecánicos interactúan con la inductancia y capacitancia distribuida en los circuitos de distribución de CA y en las cargas para crear transitorios rápidos (EFT's). Los EFT's están asociados con una banda muy amplia de frecuencias.

d) Como se Forma la Impedancia del Sistema de Distribución de CA.

La impedancia de los sistemas de distribución eléctricos es más resistiva que inductiva a las frecuencias de interés (60 Hz a 3 kHz) y más inductivas y capacitivas a frecuencias más altas (alrededor de 1 MHz); vea la Tabla 2-1. Por lo tanto, el alambrado de distribución de CA local se puede usar como una ventaja importante para atenuar los voltajes de ruido de alta frecuencia y las ondas no deseadas de tiempo corto de elevación.

(a) ALAMBRE #4 AWG (57 mm²)

LONGITUD	L (>1 MHz)	⊙ 1 MHz		⊙ 10 MHz		⊙ 100 MHz	
		Rf	$\omega L = Z$	Rf	$\omega L = Z$	Rf	$\omega L = Z$
10 ft	4 μH	0.05 Ω	26 Ω	0.15 Ω	260 Ω	0.5 Ω	2.6 k Ω
20 ft	9 μH	0.1 Ω	57 Ω	0.3 Ω	570 Ω	1.0 Ω	5.7 k Ω
40 ft	20 μH	0.2 Ω	125 Ω	0.6 Ω	1.25 k Ω	2.0 Ω	12.5 k Ω
60 ft	31 μH	0.3 Ω	197 Ω	0.9 Ω	1.97 k Ω	3.0 Ω	19.7 k Ω
100 ft	55 μH	0.5 Ω	350 Ω	1.5 Ω	3.5 k Ω	5.0 Ω	35.0 k Ω

(b) ALAMBRE #4/0 AWG (107 mm²)

LONGITUD	L (>1 MHz)	⊙ 1 MHz		⊙ 10 MHz		⊙ 100 MHz	
		Rf	$\omega L = Z$	Rf	$\omega L = Z$	Rf	$\omega L = Z$
10 ft	3.6 μH	0.022 Ω	23 Ω	0.07 Ω	230 Ω	0.22 Ω	2.30 k Ω
20 ft	8 μH	0.044 Ω	51 Ω	0.14 Ω	510 Ω	0.44 Ω	5.10 k Ω
40 ft	18 μH	0.088 Ω	113 Ω	0.28 Ω	1.13 k Ω	0.88 Ω	11.3 k Ω
60 ft	28 μH	0.132 Ω	176 Ω	0.42 Ω	1.76 k Ω	1.32 Ω	17.6 k Ω
100 ft	50 μH	0.220 Ω	314 Ω	0.70 Ω	3.14 k Ω	2.20 Ω	31.4 k Ω

Tabla 2-1

Las impedancias reales de los alimentadores de CA y de los circuitos ramales varían considerablemente, debido tanto a su configuración como a sus cargas. Para propósitos de análisis y de modelado, se han identificado circuitos equivalentes de los circuitos ramales de CA. La Fig. 2-4 muestra la impedancia resultante de un circuito ramal de CA. El comportamiento general de la impedancia contra la frecuencia, mostrado en la Fig. 2-4, es típico para la mayoría de los alimentadores de circuitos ramales de CA; pero la impedancia real puede variar considerablemente y las resonancias por arriba de 1 Mhz pueden alterar el comportamiento de la impedancia. También debe observarse que la común pero incorrectamente supuesta impedancia característica de 50 Ohms para los circuitos de distribución de CA puede contribuir a errores importantes, si se usa para calcular niveles de energía de las ondas (Vea 2.5 Sistemas de puesta a tierra)

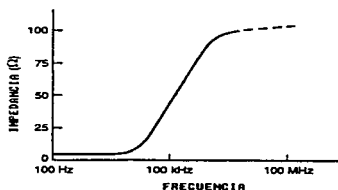


Fig. 2-4

2.1.3 Impedancia de la Carga.

El equipo electrónico sensible contiene en forma típica, motores, transformadores, y rectificadores. Las salidas de estos transformadores y rectificadores generalmente se regulan para proporcionar voltaje constante a los circuitos con cargas sensibles. Se puede obtener información respecto a la naturaleza y operación de estas cargas sensibles analizando su comportamiento. Las componentes básicas (pasivas) de la impedancia de la carga tiene una variación distinta con la frecuencia. La resistencia R , idealmente no cambia con la frecuencia. Por lo tanto, su curva es simplemente una línea horizontal, con una magnitud R por arriba del eje de la frecuencia (Vea la Fig. 2-5(a)).



Fig. 2-5(a)

La Reactancia inductiva X_L , se incrementa linealmente con la frecuencia (en la forma $y = m x + b$). La reactancia inductiva se gráfica en la Fig. 2-5(b) contra la frecuencia, con una pendiente igual a la inductancia L , del inductor e intercepta al origen ($X_L = L(+ 0)$)



Fig 2-5(b)

La reactancia capacitiva X_C , es una función hiperbólica de la frecuencia (de la forma $yx = k$), donde la frecuencia, es la variable independiente y $1/C$ es la constante. La reactancia capacitiva contra la frecuencia ($X_C = -1/((C))$) se gráfica en la Fig. 2-5(c). De las figuras anteriores se puede ver que, cuando la frecuencia aumenta, la reactancia inductiva se vuelve el factor dominante.

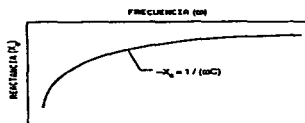


Fig. 2-5(c)

2.1.4 Consideraciones Sobre la Resonancia.

Los circuitos de CA tienen, (1) en forma característica elementos capacitivos e inductivos, y (2) los medios para transferir energía oscilatoria entre estos elementos. A las frecuencias donde las impedancias capacitiva e inductiva son iguales, se presenta resonancia y la impedancia efectiva resultante pueden ser muy alta (resonancia en paralelo) o muy pequeña (resonancia en serie).

Si existe una fuente de corriente de CA en o cerca de la frecuencia resonante del circuito, el voltaje del circuito a la frecuencia resonante se puede elevar en forma importante, especialmente cuando la carga tiene una resistencia pequeña o nula que no proporcione amortiguamiento. Si el circuito es un conductor de tierra, quedará efectivamente en circuito abierto (no atenuado) a las frecuencias resonantes. También es posible que la corriente se eleve. La elevación del voltaje y/o la corriente depende del tipo de circuito resonante y de donde se están midiendo los parámetros del circuito.

Es importante analizar la respuesta del sistema a la frecuencia, con el objetivo de evitar problemas de resonancia. Las frecuencias de resonancia de los sistemas de potencia típicos (para alimentar a dispositivos electrónicos sensibles) tienden a ocurrir en el rango de frecuencia de comportamiento definido en 2.1 (a) frecuencias de interés.

a) Resonancia en Serie.

La resonancia en serie resulta de la combinación en serie de inductancia, resistencia, de transformadores y líneas, y bancos de capacitores en el sistema de distribución de potencia. La Fig.2-6(a) muestra los tres elementos superpuestos en la misma gráfica impedancia contra frecuencia. La resonancia serie se presenta a la frecuencia (donde $X_L = X_C$). La impedancia mínima del circuito también ocurre a la frecuencia resonante (y es igual a la resistencia R del circuito). La resonancia serie actúa como una trayectoria de baja impedancia para las corrientes armónicas a la frecuencia de sintonía del circuito.

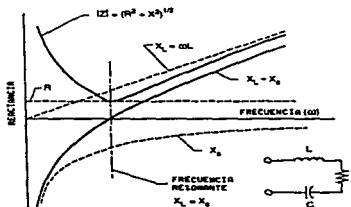


Fig. 2-6(a)

b) Resonancia en Paralelo.

La resonancia en paralelo resulta de circuitos "tanque" (LC) en el sistema de distribución de potencia que han sido excitados a frecuencias donde sus impedancias inductiva y capacitiva son iguales. Tales trayectorias resonantes en paralelo representan impedancias muy altas para corrientes a su frecuencia resonante, y pueden crear condiciones de rompimiento del voltaje en los conductores y componentes dentro del, o conectados al circuito. Las corrientes armónicas a las frecuencias resonantes crean condiciones de voltaje armónico alto entre las terminales del circuito,

que también está conectado a la fuente de CA y a sus cargas. Este voltaje armónico dependiente de la frecuencia, se suma algebraicamente al voltaje de frecuencia fundamental y a otras formas de onda de voltajes armónicos en el circuito, para producir una distorsión armónica en la forma de la onda del voltaje.

Los circuitos resonantes en paralelo se comportan inversamente que los circuitos que resuenan en serie. Exhiben una impedancia muy alta en resonancia, mientras que el circuito resonante en serie exhibe una admitancia muy alta (baja impedancia). El diagrama de resonancia en paralelo, mostrado en la Fig. 2-6(b), parece similar al diagrama de resonancia en serie, Fig. 2-6(a), cuando los voltajes son reemplazados por las corrientes, las corrientes reemplazadas por los voltajes, y los parámetros asociados son intercambiados con sus "equivalentes inversos". El grupo total de términos utilizado en la Fig. 2-6(b) y sus términos equivalentes en la resonancia serie son los siguientes:

(1) Corriente (I)	=>	Voltaje (V)
(2) Admitancia (Y)	=>	Impedancia (Z)
(3) Conductancia (G)	=>	Resistencia (R)
(4) Susceptancia (B)	=>	Reactancia (X)
(5) Capacitancia (C)	=>	Inductancia (L)

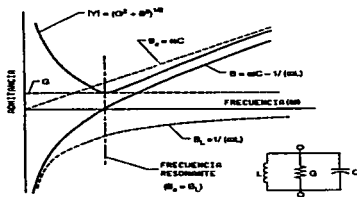


Fig 2-6(b)

Una corriente considerable puede oscilar entre los elementos inductivo y capacitivo del circuito cuando cargas no lineales, con una característica armónica cerca de la frecuencia de resonancia en paralelo, existen en el circuito. De estos niveles altos de corrientes oscilatorias resulta una distorsión de voltaje. Bajo ciertas condiciones las corrientes oscilatorias también pueden emitir energía electromagnética, que puede interferir con los circuitos de señales vecinos.

Las corrientes en los circuitos resonantes en serie oscilan entre la carga y la fuente, mientras que en los circuitos resonantes en paralelo confinan la corriente al lazo del circuito paralelo y del propio. Por lo tanto, los circuitos resonantes en serie involucran a la fuente y a la carga con corriente a la frecuencia resonante, y los circuitos que resuenan en paralelo imprimen voltajes (a la frecuencia resonante) a su propia fuente y carga. Este es el mecanismo fundamental para la producción de una forma de onda de voltaje distorsionada.

c) Efectos de una Auto Resonancia en un Conductor.

La resonancia ocurre en conductores debido, primeramente, a la falta de elementos capacitivos distribuidos y elementos inductivos distribuidos. Por lo tanto, los conductores de los

sistemas de distribución de electricidad, que exhiben solo capacitancia e inductancia distribuidas, oscilan cuando son excitadas por voltajes de ciertas formas de onda. En esencia, actúan inadvertidamente como una antena. Este tipo de problema no es a menudo observado en conductores que integran una línea de transmisión imperfecta, tal como un alimentador o un circuito ramal; pero es un tópico en conductores de conexión a tierra instalados en el exterior y en cables de datos que forman áreas de lazos abiertos.

La autoresonancia en un conductor se presenta cuando la longitud de un conductor es igual a un múltiplo de $1/4$ de la longitud de onda de la forma de onda del voltaje impreso. El conductor cesa de conducir corriente a esta frecuencia resonante en particular. La conducción de corriente a otras frecuencias, lo suficientemente diferentes de la frecuencia de resonancia, no son afectadas. La Fig. 2-7 muestra esta relación.

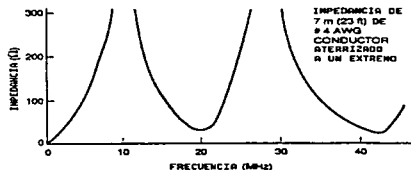


Fig 2-7

La relación entre la longitud del conductor resonante y la frecuencia es como sigue:

$$f_{\text{resonancia}} = (c^n) / (4^n \cdot \text{resonancia})$$

donde:

$$\begin{aligned} f_{\text{resonancia}} &= \text{longitud del conductor resonante (m)} \\ n &= \text{cualquier entero impar (1, 3, 5, \dots)} \\ c &= \text{velocidad de la luz en el espacio libre (3} \cdot 10^8 \text{ m/s)} \\ f_{\text{resonancia}} &= \text{frecuencia de excitación en el conductor (Hz)} \end{aligned}$$

En la práctica, los que diseñan deben estar alerta con la frecuencia más baja a la que la longitud del conductor resonará ($n = 1$). Por lo tanto, los conductores de tierra / conectores deben ser siempre escogidos de tal forma que no tengan longitudes físicas que se aproximen a las condiciones de resonancia de cerca de un cuarto de la longitud de onda y múltiplos impares de esto para cualquier frecuencia de ruido eléctrico que pueda ser impuesta al conductor. Una barrera contra esto es emplear conductores de tierra/conectores múltiples entre los mismos puntos, cada uno de diferente longitud. Entonces, mientras que una trayectoria puede estar experimentando condiciones de resonancia, uno o más de los otros no lo harán. Usualmente una diferencia de 20% en las longitudes de los conductores será suficiente.

2.2 DISTURBIOS EN EL VOLTAJE A NIVEL DISTRIBUCIÓN DE LA COMPAÑÍA.

El documento ANSI proporciona guías para las tolerancias en estado estable para la entrega de la potencia eléctrica, como se muestra en la Tabla 2-2.

Clase de voltaje	SISTEMA NOMINAL DE VOLTAJE		VOLTAJE RANGO A						VOLTAJE RANGO B				
	170	170/230	170	174	174	174	174	177	177	177	177	177	177
Solo voltaje	170	170/230	170	174	174	174	177	177	177	177	177	177	177
	170	170/230	170	174	174	174	177	177	177	177	177	177	177
Multi-voltaje	740	380/7/230	380	380/120	380/114	380/114	380/114	380/114	380/114	380/114	380/114	380/114	380/114
	480	480/7/277	480	480/120	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114
Multi-voltaje	480	480/7/277	480	480/120	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114
	480	480/7/277	480	480/120	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114	480/114
Solo voltaje	23000	23000/110/230	23000	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110
	23000	23000/110/230	23000	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110	23000/110
Solo voltaje	34500	34500/110/230	34500	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110
	34500	34500/110/230	34500	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110	34500/110
Solo voltaje	48000	48000/110/230	48000	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110
	48000	48000/110/230	48000	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110	48000/110
Solo voltaje	130000	130000/110/230	130000	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110
	130000	130000/110/230	130000	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110	130000/110
Solo voltaje	230000	230000/110/230	230000	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110
	230000	230000/110/230	230000	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110	230000/110
Solo voltaje	345000	345000/110/230	345000	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110
	345000	345000/110/230	345000	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110	345000/110
Solo voltaje	480000	480000/110/230	480000	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110
	480000	480000/110/230	480000	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110	480000/110
Solo voltaje	1300000	1300000/110/230	1300000	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110
	1300000	1300000/110/230	1300000	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110	1300000/110

Tabla 2-2

La continuidad del servicio de potencia en un sitio dado puede generalmente ser obtenido de la compañía suministradora. La mayoría de las compañías suministradoras tienen índices de confiabilidad de potencia estándares disponibles tales como ASAI (average service availability index).

Estos índices no incluyen las interrupciones de muy corta duración (interrupciones momentáneas). Las interrupciones momentáneas generalmente se consideran de menos de unos pocos minutos. Ellas resultan de una diversidad de operaciones normales y anormales en el sistema de distribución de la compañía suministradora. Debido a la definición de interrupción de potencia usada generalmente por las compañías suministradoras contra las capacidades de los equipos electrónicos, los circuitos de distribución que la compañía suministradora puede considerar confiables pueden ser totalmente inadecuados a los usuarios con cargas de equipos electrónicos sensibles. Se recomienda que los usuarios de equipo electrónico sensible trabajen con su respectiva compañía suministradora local para determinar las características del circuito de distribución en particular en cuestión, considerando tanto la frecuencia de las interrupciones momentáneas y los índices de confiabilidad pertinentes.

Los disturbios en la forma de la onda del voltaje en el alimentador de distribución se han monitoreado, comparado y contrastado. La conclusión general es que las sags en el voltaje de línea son más frecuentes, y entonces las que probablemente contribuyan más a las perturbaciones del equipo electrónico sensible. A los sags les siguen transitorios, interrupciones, y swells, con menores probabilidades. El porcentaje real de cada tipo de disturbio en el voltaje varía con el tiempo, localidad, y fronteras de ajuste del equipo de monitoreo. Estas variantes son muy influenciadas por los ajustes de las fronteras utilizadas en el instrumento de monitoreo.

El equipo del usuario que está ubicado cerca de lugares donde las descargas atmosféricas (rayos) entran al sistema de distribución de la compañía suministradora, experimentarán

condiciones de ondas de gran energía vía su sistema de distribución en el edificio. Pero los equipos de los usuarios ubicados en sitios lejanos de los lugares donde se presentan las descargas atmosféricas, experimentan condiciones de sags momentáneas. Esto como resultado del flarreo en los aisladores o de la acción de puenteo de los equipos de protección contra descargas que bajan la carga del sistema de distribución de la compañía suministradora durante su operación.

2.3 INTERACCIONES ENTRE LA FUENTE DE POTENCIA Y LA CARGA.

Las interacciones de el equipo electrónico sensible, sus fuentes de poder, y su entorno, resulta primeramente en disturbios transitorios o distorsión en estado estable de la forma de la onda del voltaje. En la Tabla 2-3 se hace un resumen de estas fuentes de disturbio en la forma de la onda del voltaje, y de sus características. Cuando se mejoran estas variaciones, es útil a menudo conocer las formas de onda de corriente relacionadas. Ciertas interacciones fuente/carga, por ej. Conmutación, resulta en transitorios de voltaje de corto tiempo de elevación.

Parámetros de voltaje que afectan a las cargas	Rango típico de fuentes de alimentación	Unidad típica de carga electrónica		
		Normal	Crítico	Efectos adversos y consecuencias
Sobre y bajo voltaje	-6 % , +13 %	-10 % , +15 %	± 5 %	Fuentes de alimentación, capacitores, inductores, sobrecalentamiento y pérdida de datos
Swells / Sags	-10 % , +15 %	-20 % , +30 %	± 5 %	igual que el anterior
Transientes, oscilaciones, ruidos de potencia	varia 100-600V	varia 300-1500V	varia 200-500V	Alteraciones de medicaciones detectadas, sobrecalentamiento de voltaje, pérdida de componentes y pérdida de datos
Transitorios, oscilaciones de señalización	varia 100-6000V	varia 30-300V	varia 15-50V	igual que el anterior
DES	< 45 Kv 1000-1500V	varia ampliamente 200-500V	varia ampliamente 15-50V	Corrientes de señalización, alteraciones detectadas, sobrecalentamiento de voltaje en componentes, pérdida de datos, cambios rápidos en la señal del voltaje de referencia
IFR / IEM (Conductada) (modo normal y corrientes)	10 V hasta 200 KHz menor a la frecuencia más alta	varia ampliamente 3 V tipo	varia ampliamente 0.3 V tipo	Corrientes de señalización, pérdida de datos, corrientes rápidas en la señal del voltaje de referencia
IFR / IEM (Radiada)	50 K.vrms ~ 200 KHz 1.5 K.vrms ~ 200 KHz	varia ampliamente con el aislamiento	varia ampliamente con el aislamiento	igual que el anterior
Distorsión de Voltaje (Onda senoidal)	5-10 % THD	5-10 %	3-5 %	Reguladores de voltaje Corrientes de señalización, Efectos secundarios, bancos de capacitores, sobre calentamiento lento carga.
Distorsión de fase	2-10 %	3 % Max.	3 % Max.	Rectificadores puentes, sobrecalentamiento de motores
Parámetros de corriente que afectan a las fuentes	Rango típico de corriente de carga	Susceptibilidad típica de fuentes de alimentación		
		Normal	Crítico	Efectos adversos y consecuencias
Factor de potencia	0.85-0 atrevido	0.8 atrevido	< 0.8 atrevido	Fuentes de alimentación, sobrecalentamiento u de menor capacidad con reducción de eficiencia total
Factor de cruce	1-4-5	1-0-5	-2.5	1 si el normal, exponen en función de la respuesta a la P y armonicos superiores a los % 2.5, distorsión de la línea de onda del voltaje
Distorsión de corriente	0-10 % total rms	5-10 % total 0.5 % mayor	5 % total max 3 % mayor inferior que 0.5 %	Reguladores, sobrecalentamiento de corriente de potencia
Corriente de carga DC	no aplica a 5 % o mas			Las cargas de rectificación de media onda pueden saturarse y fallar los circuitos interruptores
Corriente e inrush	0-10 A rms + rizado y sobre corrientes	< 0.5 A	< 0.1 A	Pueden afectar a dispositivos GFI, voltaje de control, caídas corrientes rápidas en la señal del voltaje de referencia
Parámetros de frecuencia que afectan a la carga	Rango típico de las fuentes alimentadoras	Unidad típica de carga electrónica		
		Normal	Crítico	Efectos adversos y consecuencias
Frecuencia de línea	± 1 %	± 1 %	± 5 %	Controladores de cruce p.u. con
Razon de cambio de frecuencia	1.5 Hz/s	1.5 Hz/s	0.3 Hz/s	Corrientes sincronizadoras de Brastencia

Tabla 2-3

2.3.1. Características de las Fuentes de Disturbios Transitorios en el Voltaje.

Aquí consideraremos los disturbios en la forma de la onda de voltaje, como el conjunto de variaciones de voltaje en los circuitos de interés, que son (1) no senoidales a la frecuencia nominal de la fuente de potencia, y (2) el resultado de fuentes de potencia y características de la carga, en tanto interactúan por el sistema de distribución del edificio. Estos disturbios en la forma de onda del voltaje tienden a decaer rápidamente con el tiempo.

Los cambios en la carga y los eventos de conmutación causan casi todos los disturbios en el voltaje que ocurren entre el equipo sensible y sus fuentes de potencia. Varias fuentes comunes de disturbios en la forma de onda del voltaje derivados de la carga, se presentan en seguida:

a) Cargas en pasos.

Los cambios en pasos de carga son una de las fuentes de disturbio más comunes en el voltaje. La causa básica del disturbio en el voltaje es simplemente la caída de voltaje causada por corriente de carga y la impedancia del sistema de potencia. Establecido en una forma simple, cuando la corriente de carga cambia la caída de voltaje cambia. Los reguladores de voltaje tienden a corregir las caídas de voltaje dentro del sistema de distribución de la potencia, pero solo después de un retraso de tiempo que es característica inherente del regulador retroalimentado utilizado.

b) Corrientes de Inrush (Motores, Filtros LC en Línea, y Fuentes de Potencia).

Las corrientes de inrush asociadas con la energización inicial de motores, filtros LC en línea del tipo pasa bajos, y fuentes de potencia, son encontrados típicamente en equipos electrónicos sensibles.

Las corrientes de arranque de motores (inrush) son iguales generalmente a las corrientes de rotor bloqueado, del orden de 5 a 7 veces el valor de su corriente nominal. Estas corrientes de inrush requieren de un tiempo de 0.3 a 3 segundos para decaer a los valores de estado estable, dependiendo del tiempo de aceleración. Las corrientes de arranque de los motores de CD aparecen como cargas de rectificador para el sistema de distribución de potencia en CA.

La energización inicial de transformadores crea corrientes transitorias de magnetización. Pueden alcanzar valores de 10 a 20 veces la corriente nominal, y decae después de varios ciclos en las peores condiciones. Las corrientes de inrush reales dependerán del ángulo de fase en la forma de la onda del voltaje inicial y del estado del flujo magnético residual en el núcleo antes de la energización del transformador. Cuando se energizan fuentes de poder rectificador / capacitor, la carga inicial del capacitor puede causar niveles similares de corriente de inrush.

Las fuentes de poder de CA/CD tienen con frecuencia un banco de capacitores grande configurado como filtro que se carga tanto como sea posible en el primer medio ciclo de la corriente aplicada. En estos casos la corriente de carga está limitada solamente por las impedancias del circuito.

c) Corrientes de Falla.

Las corrientes de falla representan un caso extremo de flujo de corriente transitoria y por lo tanto de un disturbio del voltaje de línea de CA. Dependiendo de la impedancia del sistema, se pueden tener corrientes de varios ordenes de magnitud de la corriente nominal de plena carga. Lo anterior generalmente se traduce en severas reducciones de voltaje para los equipos adyacentes. Algunas condiciones de falla no resultan en altas corrientes y pueden hacer que los dispositivos de protección contra sobrecorrientes no operen (por ej. fallas a tierra con arco, bajo ciertas limitaciones). Estas fallas crean con frecuencia importantes voltajes transitorios de gran magnitud y alta frecuencia. Las fuentes de potencia sólidamente conectadas a tierra tienden a minimizar este tipo de falla.

d) Interacciones del Regulador de Voltaje.

Las cargas electrónicas están equipadas típicamente con reguladores de voltaje internos. Si están pobremente aplicados, estos reguladores de voltaje internos pueden interactuar negativamente en la distribución de CA. El resultado puede ir desde una tendencia a amplificar el

disturbio en el voltaje de línea de CA, hasta una oscilación sin control en el voltaje de entrada a la carga sensible.

2.3.2 Impactos Potenciales por Disturbios Transitorios en el Voltaje.

Los disturbios en la forma de la onda del voltaje y sus corrientes armónicas acompañantes han mostrado un importante impacto tanto en el sistema de distribución de CA como en las cargas electrónicas sensibles. Las más importantes de estas se discuten abajo.

a) Pérdida Completa de la Potencia de CA en las Cargas Electrónicas.

Corrientes excesivas de inrush en los motores o en los transformadores pueden exceder las curvas de disparo corriente-tiempo de los dispositivos de protección contra sobrecorrientes colocados aguas arriba (puntos anteriores), provocando que las cargas electrónicas se queden sin alimentación.

b) Diferencias en el Voltaje por Corto Tiempo.

Las reducciones temporales por corto tiempo en el voltaje de distribución de CA pueden deberse a cambios en la corriente de carga en pasos grandes. Esto es particularmente cierto para las corrientes de inrush en el transformador y en el motor, y los sistemas con cargas grandes y sensibles que dinámicamente conmutan sus subsistemas. La duración de estos voltajes bajos de CA puede exceder el tiempo que se pueden mantener cerrados los elementos de conmutación de las fuentes de potencia de CD de las cargas sensibles, provocando algo equivalente a una sag de voltaje o a una interrupción.

c) Desplazamiento de Fase Transitorio debido a Cambios en la Carga Reactiva.

Este efecto es debido primeramente a la conmutación dinámica de elementos de carga inductivos y capacitivos (por ej. motores y capacitores paralelo). Estos grandes cambios dinámicos en la corriente de carga, alimentados por circuitos reactivos de CA, resultan en desplazamientos en el tiempo de los voltajes en los circuitos de CA.

d) Perturbación de los Datos.

Muchos de los anteriormente mencionados disturbios pueden ocurrir sin ningún otro efecto en el equipo electrónico sensible conectado en la carga excepto que activan inadvertidamente equipos internos, circuitos verificadores de la Calidad de la Potencia Eléctrica, y los disparan enviando alarmas o errores de estado.

e) Variaciones de Frecuencia y Tasa-Slew.

Cuando existe un sistema de generación en el sitio, como cuando se tiene un grupo motor generador como fuente de potencia para cargas con equipos electrónicos sensibles, las variaciones en la carga pueden ser causa de variaciones en la velocidad de rotación, y se presenta entonces un desplazamiento en la frecuencia. Adicionalmente puede ocurrir una tasa de cambio en la frecuencia entre los puntos de cruce por cero, es decir, un slew rate. Condiciones de slew-rate crean problemas con frecuencia dentro de los equipos sensibles.

2.3.3 Características de la Distorsión del voltaje en Estado Estable

Cuando la corriente de carga instantánea es discontinua o no es proporcional al voltaje instantáneo de CA, se le llama no lineal. El efecto es equivalente a la presencia de componentes armónicos (frecuencia más alta) de corriente superpuestos sobre la corriente senoidal nominal (60 Hz). Todas las componentes agregadas juntas son igual a la forma de onda de la corriente real.

Estas componentes de la corriente no están en fase con la forma de onda del voltaje de distribución (a cada frecuencia armónica). Estas corrientes armónicas también interactúan con la impedancia de la fuente de potencia y generalmente crean una distorsión en el voltaje, excitan las resonancias con la fuente de potencia del sistema, y perjudican las componentes del sistema de potencia en el sistema de distribución.

Muchas cargas electrónicas exhiben características no lineales. Las fuentes de potencia CA/CD que usan rectificadores de un solo diodo y los capacitores filtro de CD son ejemplos comunes de este tipo de cargas. Se utilizan con frecuencia por los fabricantes de equipo electrónico sensible. Otros convertidores de CA/CD más sofisticados con mejor factor de potencia y corrientes armónicas muy reducidas están quedando disponibles.

El análisis exacto de las fuentes de poder es complejo, pero se puede decir que una corriente de carga que no fluye linealmente durante el ciclo de CA (cada medio ciclo, en cada fase) se puede describir en términos de su ángulo de conducción. Teóricamente, el ángulo de conducción varía entre 0 y 180 grados (1/2 ciclo), y varía con la corriente de carga y el voltaje de línea de CA. Un ángulo de conducción típico para las fuentes de poder del modo switch es entre 30 u 60 grados, y los factores de cresta de la corriente típica van de 2 a 3 (contra 1.4 para una carga lineal alimentada por un voltaje senoidal de potencia de CA).

La Tabla 2-4 muestra un ejemplo del contenido de corrientes armónicas de una fuente de poder diodo-capacitor de voltaje balanceado entre fases y de fase a neutro. En circuitos trifásicos, las corrientes de armónicas triples en el neutro (tercera, sexta, novena, etc.) se agregan en lugar de cancelarse, ya que ellas son múltiplos de tres veces la frecuencia fundamental y están separadas por 120 grados eléctricos. En base a la frecuencia fundamental, las corrientes armónicas triples de cada fase están en fase con las otras, y por lo tanto se suman en el circuito neutro.) En las peores condiciones, la corriente del neutro puede llegar a ser de 1.73 veces la corriente de fase.

Armonicos Primarios	Corriente armónica de Fase a Neutro	Corriente armónica de Neutro a Neutro
1	0.82	0.80
3	—	0.23
5	0.49	0.42
7	0.29	0.29
9	—	0.13
11	0.074	0.12
13	0.033	0.090
Corriente total de fase	1.00	1.00
corriente en el neutro	0.0	1.61

Tabla 2-4

Por otro lado las cargas electrónicas sensibles también pueden impactar al sistema de distribución de CA provocando factores de potencia no unitarios. Las fuentes de poder, los motores de CA, los filtros pasa bajos LC, y otras componentes dentro de las cargas sensibles con frecuencia causan desplazamiento en el factor de potencia y distorsión del factor de potencia.

2.3.4 Medios Correctivos.

Existen varios medios para el control de los disturbios en el voltaje de distribución de CA. Se pueden agrupar dentro de las siguientes cinco categorías:

- (1) Característica(s) de la(s) carga(s) sensible(s)
- (2) Características del equipo de interfaz (por ej. acondicionadores de potencia)
- (3) Características de los circuitos de distribución de CA y de tierra del edificio
- (4) Características de la fuente de poder
- (5) Medios del factor de potencia dentro del sistema de distribución de CA del edificio.

En la práctica y con frecuencia, solo las técnicas para reducir los disturbios en el voltaje están dentro del control del que diseña el sistema de distribución de CA. Puede ser apropiado establecer niveles de modificación de la distribución de CA y de los dispositivos de interfaz, tales como acondicionadores de potencia. En el Capítulo 7 se identifican en detalle, guías de diseño.

2.4 ONDAS DE SOBREVOLTAJE (SURGES).

Las ondas de voltaje son transitorios de voltaje con duración de menos de un subciclo. Ellas son de particular preocupación para los equipos electrónicos sensibles. Se han tenido casos en que ondas muy pequeñas que causan perturbaciones en el flujo y en la integridad de los datos. Ondas de voltaje de más energía son responsables con frecuencia, de la destrucción de componentes dentro del equipo sensible.

2.4.1 Características.

Existe un gran número de fuentes potenciales de ondas eléctricas que pueden causar daños al equipo electrónico sensible y a los sistemas. La mayoría de estas fuentes se puede dividir en dos categorías principales:

a) Ondas por Maniobra.

Las ondas por maniobra están asociadas con los cambios rápidos de las tasas de flujo de corriente (di/dt) dentro de un sistema eléctrico dado. Físicamente, uno puede visualizar las ondas de maniobra como la expansión o reducción de los campos magnéticos/eléctricos.

Las tasas de decaimiento de estos voltajes inducidos son generalmente más pequeñas que las de elevación, y son largas en comparación a las constantes de tiempo del sistema de potencia. Las ondas por maniobra pueden tomar varias formas dependiendo de la configuración del sistema y de la tasa de cambio en las condiciones de operación. Las causas típicas son las siguientes:

- (1) Energización o desenergización de fuentes de poder o cargas (inductivas).
- (2) Arqueo asociado con conexiones flojas o fallas a tierra, y
- (3) Conmutación de capacitores para la corrección de factor de potencia.

La Fig. 2-8 muestra una red de potencia generalizada con inductancias propias, L_L , inductancias mutuas L_M , resistencias R , y capacitancias C . Los cambios de las corrientes con el tiempo para todos los circuitos cerrados (lazos) descritos por la Fig. 2-8 se pueden describir generalmente con las Leyes de Kirchoff. Suponiendo que L_L , L_M , R , y C sean constantes, los flujos de corriente se pueden dividir en componentes de estado estable y componentes transitorias. Las que son de interés son las componentes transitorias.

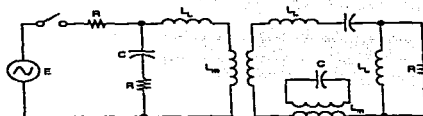


Fig. 2-8

Estas corrientes transitorias producen flujos y niveles de carga transitorios dentro de los componentes individuales en el circuito. Los resultados siguientes se pueden mostrar en los circuitos de CA con resistencia, inductancia, y capacitancia:

- (1) No existe discontinuidad en el voltaje o en la corriente en el momento de la conmutación.
- (2) Se desarrolla un voltaje y una corriente que decaen con el tiempo.
- (3) La magnitud del disturbio en el voltaje (onda de maniobra) se determina principalmente por el voltaje inicial y por la capacitancia del circuito.

Aplicando estos conceptos al caso de un sistema de alambrado de distribución típico con un corto circuito distante e interrumpido por un dispositivo de protección en algún lugar de la línea (mostrada en la Fig. 2-9), podemos establecer:

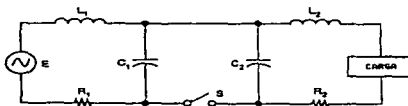


Fig. 2-9

- (1) La amplitud de las oscilaciones transitorias están determinadas por la corriente de switcheo en la inductancia y el voltaje de switcheo a través de la capacitancia
- (2) La corriente y el voltaje de conmutación cambian senoidalmente y en general tienen una diferencia de fase.
- (3) Las ondas por maniobra pueden alcanzar un máximo teórico del doble del voltaje de su fuente.

Las Fig. 2-10(a) y (b) indican el comportamiento general del voltaje y de la corriente de switcheo respectivamente, con un arco estable establecido entre los contactos. Observe que antes de la interrupción, el voltaje de la onda de switcheo es cero. Entonces la onda de voltaje se incrementa lentamente después de que ocurre la separación de los contactos, seguida de una oscilación amortiguada.

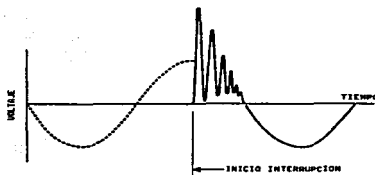


Fig. 2-10(a)

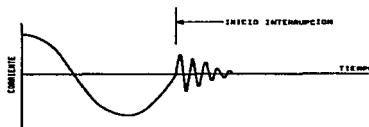


Fig 2-10(b)

Si el arco de switcheo es inestable (circuito inductivo-capacitivo) cuando abren los contactos, entonces la corriente se interrumpe y reenciende varias veces antes de que la rigidez dieléctrica supere la diferencia de voltaje a través del gap, creando así una condición estable de circuito abierto. En la Fig. 2-3 se muestran las ondas de voltajes asociadas con esta múltiple interrupción-reenciendido a través de los contactos del interruptor. Se debe observar que el múltiple interrupción-reenciendido mantiene una serie de transitorios eléctricos rápidos, que tienen un tiempo relativamente largo de elevación y terminan con un abrupto colapso.

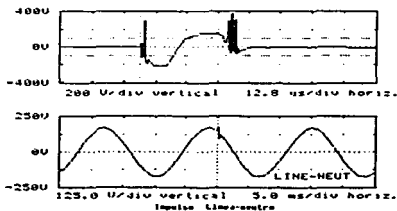


Fig. 2-3

En general, los frentes de onda con elevación rápida de las ondas de maniobra se hacen lentas con las discontinuidades en la capacitancia e inductancia del sistema de distribución de CA del edificio (debido primeramente a la capacitancia y a la inductancia distribuida); desde su punto de incidencia hasta el equipo sensible, y sus amplitudes se reducen en función de las pérdidas en el medio de transmisión (las pérdidas se incrementan con las longitudes incrementadas de las trayectorias). Esto se puede decir, entre más cerca este eléctricamente hablando el equipo sensible de las fuentes de ondas por switcheo, más severo será el efecto potencial del transitorio en el equipo. Este efecto de atenuación del sistema de distribución de potencia del edificio es muy dependiente del tiempo de elevación de la onda. El voltaje máximo de una onda con tiempo de elevación de 5 nseg. Se reduce por un factor de dos, vía 60 a 70 metros de circuito ramal de distribución de bajo voltaje y monofásico (en conduit de acero). Se observa muy poca atenuación de voltaje para ondas que tienen tiempos de elevación más grandes. Los efectos en las líneas de transmisión, tales como ondas de voltaje reflejadas (energía de alta frecuencia en conductores largos), son dramáticamente diferentes, así que las características y las condiciones de diseño deben ser evaluadas.

b) Ondas Inducidas en el Medio Ambiente.

Las descargas atmosféricas son los transitorios eléctricos más obvios generados en el medio ambiente. Además, la redistribución de carga atmosférica sin arcos y las descargas electrostáticas basadas en tierra son importantes contribuyentes a la perturbación en la información y al daño de equipo sensible

c) Ondas inducidas por Descargas Atmosféricas.

Existe considerable información en la literatura acerca de la mecánica de los rayos y de su formación. Aquí es suficiente establecer que el desarrollo de un centro de carga negativa grande en las regiones más bajas de las nubes causan que se induzca en la superficie de la tierra abajo de ellas un centro de carga positiva. Esto resulta en un potencial (voltaje) entre la nube y tierra. Tales centros de carga continúan desarrollándose hasta que el gradiente de potencial, en la base de la nube, excede la rigidez dieléctrica del aire. El resultado es una descarga de baja corriente, el rayo piloto. Este es seguido inmediatamente por una descarga de más alta corriente, el líder escalonado, que es seguido por uno o más rayos de retorno (tierra a nube).

Hasta cuarenta rayos de retorno han sido observados. Sus corrientes van desde unos cuantos cientos de amperes a más de 500,000, como se muestra en la Fig. 2-11. El 50avo percentil es 20,000 A, y el 90avo percentil es aproximadamente 200,000 A. Ellos son de acción relativamente rápida, existiendo solo entre 50 y 100 microsegundos. Es importante también observar que el tiempo de elevación de los rayos de retorno es muy corto, típicamente 0.1-10 microseg.

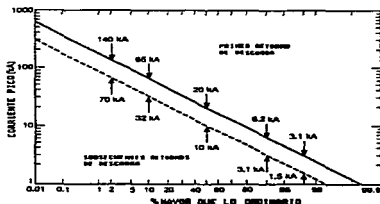


Fig. 2-11

Sus grandes niveles de corriente crean un volumen ionizado alrededor de la tierra (región ionizada). Dentro de este volumen de la tierra, la energía del rayo arquee directamente a cualquier elemento altamente conductor (por ej. cables enterrados), causando, por lo tanto, una elevación de voltaje considerablemente mayor que en áreas de la tierra que están fuera del volumen de ionización. La forma y tamaño de esta región de ionización es función de la resistividad del suelo y de la corriente en el rayo. Esta región es de particular importancia en la supresión del impacto del rayo en el equipo electrónico y/o en los cables conductores.

La Fig. 2-12 muestra las distancias de arqueo para conductores desnudos y para conductores aislados como una función de la corriente del rayo y de la resistividad de la tierra. Observe que las distancias de arqueo de más de 100 m son posibles con suelos que tengan una resistividad eléctrica de 1,000 Ohm·m o mayor (observados en varias regiones de los EUA). Fuera de esta región ionizada, el voltaje inducido disponible se reduce en forma considerable, y entonces los voltajes inducidos hacia los conductores eléctricos también se disminuyen.

Las partes del fenómeno del rayo más importantes en el diseño de la protección contra descargas atmosféricas para equipo electrónico sensible son la etapa posterior del proceso del líder escalonado y las subsecuentes descargas de retorno de alta corriente. Las características más importantes de la descarga son su corriente, voltaje, forma de la onda, polaridad, carga, y frecuencia de ocurrencia.

Las descargas de nube a nube también pueden inducir una considerable energía transitoria hacia los conductores aéreos y hacia los enterrados.

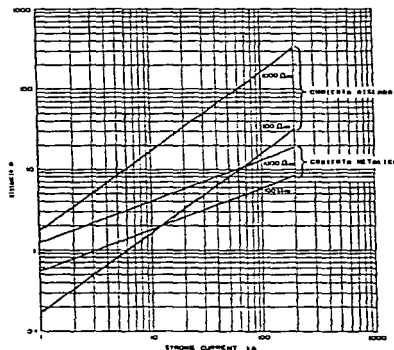


Fig. 2-12

d) Redistribución de Carga Atmosférica sin Arco.

Niveles importantes de energía transitoria pueden ser inducidos tanto en los conductores enterrados como en los aéreos a partir de la redistribución rápida de los centros de carga (nubes) atmosféricas. Este fenómeno ocurre comúnmente después de las descargas atmosféricas, y es el

resultado de la gran movilidad de los centros de carga intentando encontrar relativamente un equilibrio con las cargas fijas a tierra. El rápido movimiento de carga causa campos electromagnéticos similares a aquellos de un rayo entre nube y nube. Las ondas resultantes de corriente y voltaje en los conductores aéreos y enterrados se modelan simularmente a los rayos de nube a tierra, excepto con una base de tiempo expandida.

e) Descarga Electrostática.

Las descargas electrostáticas (ESD) típicamente tienen un potencial de referencia alto, pero pocas cantidades de energía. Existen varios procesos de generación de carga, incluyendo la triboelectrificación, cargado por inducción, y cargado por corona. La construcción de carga estática resulta generalmente de una "acción de frotación" entre dos materiales (sólidos o líquidos) de diferentes características de energía superficial, en la ausencia de una trayectoria conductora entre ellos. Esta formación de la carga es rápidamente liberada cuando se establece una trayectoria conductora (arco de descarga). Las ondas ESD pueden ser muy dañinas para los dispositivos semiconductores en los equipos electrónicos sensibles. Los voltajes de descarga andan, con frecuencia, en el rango de 5 a 40 kv. Los niveles de energía tienden a ser del orden de unidades de mJ a decenas de mJ.

Uno puede caracterizar estas ondas por sus tiempos de elevación cortos (dv/dt) y sus relativamente lentas tasas de decaimiento (comparadas con las descargas atmosféricas o con las ondas inducidas por maniobra). Como estas ondas tienen poca energía, ellas pueden ser relativamente fácil eliminarlas usando supresores de sobrevoltajes (de respuesta rápida) y capacitores. El blindaje de los circuitos sensibles es también un medio efectivo de protección. Debido a sus tiempos de elevación muy cortos, las ondas ESD se atenúan considerablemente dentro del alambrado de distribución de CA del edificio. Por lo tanto, el control de ESD es más importante para fuentes que están cerca de los circuitos electrónicos sensibles.

Los métodos más efectivos de control de ESD incluyen limitar la tasa de descarga (o trayectoria), así como también, así como la tasa de crecimiento de la carga.

f) Otra Fuentes.

Además de las ondas generadas por switcheo y por el medio ambiente, una detonación nuclear a gran altitud también puede generar ondas en la electrónica sensible con base en la tierra y en sus sistemas de potencia. Las detonaciones nucleares generan pulsos electromagnéticos de gran intensidad (EMO's nucleares, o NEMP's).

El NEMP de preocupación para la electrónica terrestre se crea por una explosión nuclear atmosférica. Estos pulsos electromagnéticos pueden afectar grandes regiones (debido al efecto de las explosiones arriba de la tierra) y en general se puede considerar que tienen geometría de onda esférica.

Para un observador en tierra, las ondas electromagnéticas que llegan aparecen planas, propagándose hacia él desde un solo punto. Por lo tanto, a diferencia de los rayos, los NEMP's afectan grandes áreas geográficas. Esta es una preocupación para los conductores interconectados largos tales como los sistemas de distribución de las compañías suministradoras.

Al igual que las descargas atmosféricas, los NEMP's pueden producir transitorios eléctricos grandes en pequeñas instalaciones de equipo electrónico sensible. Los campos eléctricos pico pueden ser de miles o decenas de miles de volts por metro, con tiempos de elevación del orden de 10 nseg y tiempos de decaimiento del orden de una magnitud o mas largos. Estas muy altas tasas de cambio en la intensidad de campo también ayudan al acoplamiento de los NEMP's con los sistemas eléctricos y electrónicos terrestres. Los esquemas de protección requieren típicamente de una combinación de blindaje y combinaciones serie paralelo de dispositivos supresores de ondas de voltaje transitorias (TVSS).

2.4.2 Mecanismos de Acoplamiento.

Los mecanismos de acoplamiento para ondas de tiempo corto de elevación se pueden categorizar como espacio libre y campo lejano.

a) Acoplamiento en el Espacio Libre.

El acoplamiento en el espacio libre, es decir, acoplamiento reactivo disperso, de la energía de una onda se puede dividir en dos rangos, campo-cercano y campo-lejano. El rango del campo-cercano involucra aquellos conductores que están a una proximidad lo suficientemente cerca para que pueda ocurrir el acoplamiento inductivo (magnético) o capacitivo. El acoplamiento en campo-lejano involucra la radiación (e interceptión) de ondas electromagnéticas como el principal mecanismo de acoplamiento.

b) Acoplamiento (Magnético) Inductivo (Campo-Cercano).

Los circuitos electrónicos sensibles que están físicamente cerca, pero no en contacto directo, con la trayectoria de una onda, pueden experimentar daño sin que ocurra un flarneo (descarga). Debido a la alta di/dt característica en las ondas, se pueden inducir voltajes en los conductores cercanos. El efecto se muestra en la Fig. 2-13, para el caso de una onda de corriente en el conductor de abajo de un sistema interceptor de descargas. El voltaje inducido en circuito adyacente (lazo) es función de la dI/dt de la onda viajera de corriente a través del conductor de abajo. Los voltaje reales inducidos son función de la geometría del lazo, de la distancia al conductor de abajo, y de la tasa de cambio en tiempo de la onda de corriente. Las gráficas en la Fig. 2-14 muestran el voltaje inducido normalizado por unidad de longitud (l) desarrollado en el circuito sensible que tienen varias geometrías.

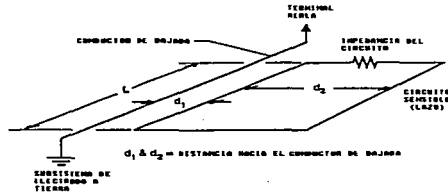


Fig. 2-13

Generalmente éste indeseado acoplamiento de la energía de una onda con circuitos sensibles es posible siempre que un conjunto de conductores similares, con uno llevando la onda inicial, están en una proximidad cercana. El área del lazo encerrada por el circuito sensible es el parámetro importante, es decir, más área significa más problemas de acoplamiento. También se puede reducir el acoplamiento posicionando los circuitos sensibles en ángulo en relación a los circuitos que son fuente de la onda.

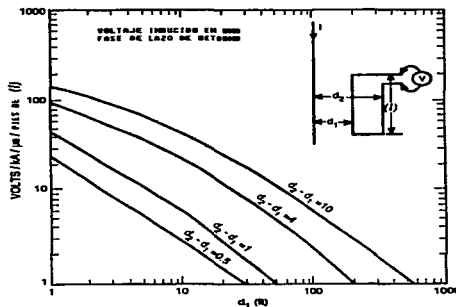


Fig. 2-14

Los voltajes inducidos magnéticamente en los circuitos sensibles no son función de la impedancia de los circuitos sensibles, por lo tanto la magnitud de los voltajes inducidos son las mismas en circuitos de baja o alta impedancia. Este hecho puede ser particularmente problemático para los circuitos de baja impedancia, y cualquier circuito sin protección contra ondas.

c) Acoplamiento Electroestático Capacitivo de Campo Cercano.

El acoplamiento capacitivo de la energía de una onda, un fenómeno electrostático, puede ocurrir entre circuitos lo suficientemente cerca. Los parámetros de interés son el espaciamiento, área mutuamente expuesta, y constante dieléctrica entre la fuente y la tasa de cambio de la onda de voltaje, la capacitancia de acoplamiento, capacitancia dispersa en los circuitos sensibles, y la impedancia del circuito sensible. Los niveles de acoplamiento dependen de la amplitud y de la tasa de cambio de la onda de voltaje, de la capacitancia de acoplamiento, de la capacitancia dispersa del circuito sensible, y de la impedancia del circuito sensible. Los voltajes acoplados capacitivamente de baja frecuencia aumentan cuando se incrementa la capacitancia de acoplamiento y cuando aumenta la impedancia del circuito sensible. A frecuencia más altas, el voltaje capacitivamente acoplado aumenta cuando se incrementa la capacitancia de acoplamiento y cuando disminuye la capacitancia dispersa en el circuito sensible.

d) Acoplamiento con Campos Electromagnéticos Lejanos.

Para circuitos sensibles (es decir, víctimas), el acoplamiento con campos lejanos de energía electromagnética ocurre cuando el circuito sensible actúa como una antena receptora para la energía electromagnética incidente. Las corrientes inducidas de esta manera aumentan con la intensidad del campo electromagnético en la vecindad del circuito sensible, y con la efectividad del circuito para comportarse como antena receptora. La intensidad de campo es una función inversa de la distancia a la fuente radiante. La efectividad del circuito sensible como una antena depende de su longitud (y geometría) relativa a la(s) longitud(es) de onda(s) de las señales de ruido. El circuito sensible debe exhibir las condiciones necesarias de resonancia a las frecuencias del campo que está interfiriendo.

2.4.3 Interacción con los Cables enterrados.

Los análisis y mediciones hechos de los voltajes transitorios inducidos en cables enterrados indican que las ondas son función de los parámetros del cable, profundidad del cable(s), resistividad del terreno, terminaciones del cable, y del grado adicional de blindaje proporcionado por los edificios, tuberías de aguas, líneas de potencia, y otros conductores cercanos.

Los parámetros importantes del cable son su longitud, la "impedancia de transferencia" del cable con blindaje, y la intensidad dieléctrica de los forros aislantes. La resistividad del suelo también es importante para determinar las ondas inducidas por descargas atmosféricas. Y se sabe que los voltajes y las corrientes pico son proporcionales aproximadamente a la raíz cuadrada de la resistividad del suelo.

Los cables profundamente enterrados sufren generalmente menos de los efectos directos de las descargas atmosféricas, debido a la mayor atenuación de las frecuencias más grandes de la onda cerca de la superficie de la tierra. Similarmenete, los hilos de guarda arriba de los cables enterrados pueden reducir en forma efectiva el impacto de las corrientes de falla.

2.4.4 Interacción con los Conductores Arriba de la Tierra.

El uso de conductores aéreos para interceptar las descargas atmosféricas y proteger los cables abajo de ellos de los efectos directos de los rayos ha sido bien demostrado. Se han desarrollado varias teorías para explicar el tamaño de la zona protegida. El uso de estos conceptos puede reducir tanto los niveles de las ondas de voltaje y de corriente que experimentan las líneas de potencia y de señales arriba del suelo, para una descarga atmosférica dada.

Las ondas generadas por rayos en los sistemas de distribución de potencia de CA, y en el sitio del usuario, han sido estudiadas extensamente y han sido reportadas en la literatura. También se discuten los tipos de daños observados y las ondas medidas en las terminales de distribución. Las estrategias de protección para los equipos terminales han sido bien desarrolladas y consisten de derivadores de ondas de corriente y/o cables de guarda aéreos conectados a tierra.

Los conductores elevados (distribución de CA, etc.) forman lazos geométricos de varios tamaños y orientaciones. Como una proposición general, los voltajes en circuito abierto inducidos en estos lazos son función del tamaño del lazo y de la tasa de cambio del flujo magnético a través del área de la sección transversal del lazo. Por lo tanto, el pico de voltaje en circuito abierto depende de la tasa de cambio pico de la corriente del rayo. La forma de la onda resultante queda determinada por la derivada respecto al tiempo de la corriente del rayo.

En general, las formas de onda inducidas en los conductores aéreos (que resulten de los rayos) son un pulso unipolar rápido seguido por una larga cola que decae. Los picos de las corrientes en esos lazos pueden ser teóricamente unidos a tierra considerando que la carga esta en corto circuito.

2.4.5 Impacto Potencial.

Dependiendo de la severidad de la onda y de la susceptibilidad del equipo sensible, son posibles tres tipos de ocurrencias (además del daño causado a los cables y conductores): perturbación de la información, estrés de la carga, y destrucción del hardware.

a) Interrupción de los Datos.

Los circuitos que llevan señales son susceptibles a las interferencias por ondas de sobrevoltaje vía conducción, acoplamiento inductivo o capacitivo, y radiación electromagnética. Cuando se observan ondas de sobrevoltaje en las líneas con señales con frecuencia, solo se supone, ya que los circuitos con señales están aún trabajando, y además el ruido está por debajo de los umbrales, que causan problemas.

Los circuitos digitales se sellan característicamente en el estado "alto" o "bajo" en el cual ellos son relativamente estables. Una señal fuerte, deliberada puede perturbar un circuito aislado y

pasarlo de un estado a otro. Más aún, la mayoría de los circuitos emplean la mayor parte de su vida de trabajo en un estado u otro, y muy poco tiempo en la transición entre estados.

Sin embargo, cuando un circuito bi-estable está en transición entre estados, es muy susceptible a la interferencia. El circuito se comporta como un amplificador con retroalimentación positiva y puede amplificar señales muy débiles hasta el punto de saturar su semiconductor de switcheo. Entonces, aún ondas de muy baja magnitud pueden ser la causa de un conductor o perturbación de la información si se presentan en el momento de la transición. Una onda tiene una oportunidad de 50/50 de llevar al circuito en la dirección opuesta a la que se intentaba, causando un error en el dato al cambiar la señal digital del estado "alto" o "bajo" que tenía. Estos errores en los datos pueden ser obvios inmediatamente o pueden hacerse evidentes bajo un conjunto único de condiciones que no ocurren frecuentemente.

Cuando los disturbios registrados de los voltajes coinciden con un mal funcionamiento de la computadora, se supone con frecuencia que el cambio en el voltaje fue el responsable por el mal funcionamiento. Aunque esta es una posibilidad, una causa más probable es el efecto secundario de un rápido cambio en la corriente en los conductores de tierra que crean ondas de voltaje entre las diferentes partes del sistema de referencia a tierra común a todos los equipos. Este problema puede ser corregido frecuentemente reconfigurando las interconexiones del sistema de referencia de tierra más que filtrando la onda del voltaje de alimentación.

Muchas cargas electrónicas sensibles contienen amplificadores que son rutinariamente usados para amplificar las señales de datos. Cualquier señal no deseada (por ej. Ruido) que llega a la entrada de dichos amplificadores, cuando la señal de ruido está completamente o parcialmente dentro del ancho de banda del amplificador, es amplificada junto con las señales deseadas. Una vez que esto pasa, la indeseable, señal de ruido amplificada es distribuida en todo el sistema en una forma más fuerte que cuando llegó.

b) Esfuerzos en el Hardware.

Una sola onda de rayo o de maniobra causa, con frecuencia, daño físico que contribuye a fallas latentes en los dispositivos. La exposición a ondas de menor magnitud causan ya sea un deterioro gradual en el comportamiento y/o operación intermitente. En tales casos, es con frecuencia difícil diferenciar entre errores inducidos en el software y en el hardware. Las fallas latentes son observadas primeramente en los dispositivos semiconductores y en los materiales aislantes.

c) Destrucción del Hardware.

El tercer impacto posible de las ondas es la destrucción total de las componentes del hardware en un solo incidente. La Tabla 2-5 muestra los voltaje y los niveles de energía de frontera para la destrucción de algunos semiconductores seleccionados que son comúnmente usados en equipos electrónicos sensibles. Similarmente, los dispositivos más grandes, como transformadores, bobinas de relevadores, y componentes del sistema de suministro de potencia, también pueden ser destruidos.

Fronteras de Falla de algunos Semiconductores Seleccionados		
Tipo de dispositivo Semiconductor	Energía de Perturbación (Julios)	Energía de Destrucción (Julios)
Circuitos integrados digitales	10-9	10-6
Circuitos integrados analógicos	10-6	10-6
Transistores de bajo ruido y diodos	10-7	10-6
Transistores de alta velocidad e ica	10-6	10-5
Transistores de baja pot. y diodos de señales	10-5	10-4
Transistores de media potencia	10-4	10-3
Zenera y rectificadores	10-3	10-2
Transistores de alta potencia	10-2	10-1
Tiristores de potencia y diodos de potencia	10-1	10-0

Tabla 2-5

2.4.6 Frecuencia del Voltaje de la Onda.

El conocimiento de la distribución de frecuencia del voltaje (o corriente) dentro de la onda puede ser importante al evaluar su impacto en el equipo electrónico sensible. Dependiendo de la forma de la onda, su espectro de voltaje (y corriente), $V(w)$ e $I(w)$, puede variar considerablemente. La propagación de las ondas de corriente que tienen componentes de alta frecuencia requieren trayectorias que sean de baja impedancia a las mismas altas frecuencias.

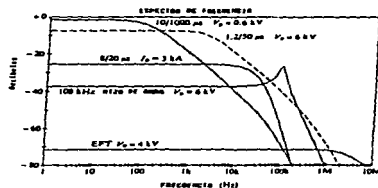


Fig 2-15

La Fig. 2-15 muestra el espectro de frecuencias (Transformada de Fourier) de cinco formas estándar de onda de voltaje. El nivel de referencia 0.0 dB es 1 V o 1 A. El voltaje pico de voltaje es 6 kv. para ambas Ondas de toque 1.2/50 ms y 100 kHz, 4 kv. para el EFT (electrical fast transient), y 0.8 kv. para las ondas de 10/1000 microseg, respectivamente. La corriente pico es 3 kA para la onda 8/20 ms. La Fig. 2-15 indica que la mayor parte del espectro de las ondas comúnmente utilizadas tienen componentes de voltaje (corriente) relativamente grandes entre CD y 100 kHz. Entre más corto tienen las ondas el tiempo de elevación (por ej. EFT), fracciones más grandes del contenido de su energía total a frecuencias mas altas.

2.5 Sistema de Puesta a Tierra.

Los equipos electrónicos sensibles deben conectarse en forma sólida a tierra, es decir, conectados directamente con tierra como sea requerido por NEC o ANSI/NFPA o ambos. Los sistemas de aterrizaje diseñados para una instalación con equipo electrónico sensible se puede conceptualizar como si tuviera tres distintos subsistemas, sólidamente interconectados, y funcionales:

- (1) Subsistema de Protección al Personal (NEC Sistema de Conexión a Tierra de Equipos)
- (2) Subsistema de Referencia de Señales
- (3) Subsistema de Protección contra Descargas Atmosféricas

Estos subsistemas funcionales están sólidamente interconectados a un subsistema de tierra con electrodo común.

(1) Subsistema de Protección al Personal (Electrodo de Tierra)

En el subsistema de tierra con electrodo establece la referencia a tierra de la tierra física de la instalación, para descargas, fuego eléctrico, y riesgos de conomociones solamente para propósitos de seguridad. El proceso de transporte de señales y el proceso de señales interno del equipo no benefician este sistema y no se hacen conexiones a él excepto desde el punto de vista

de seguridad. El NEC proporciona los criterios específicos de diseño para el subsistema de tierra con electrodo.

Conexión a Tierra del Subsistema de Protección de Fallas/Personal.

Este subsistema es conocido dentro del NEC como "la conexión a tierra del equipo". Su propósito principal es la seguridad. En general, tiene características desconocidas en relación a su impedancia (contra la frecuencia), y puede ser de un solo punto, multipunto, radial, o híbrido en alguna forma. Tiene, en general, un ancho de banda desconocido. Lo único que se sabe es que se construye por razones de seguridad, y en una manera más robusta por el NEC. La configuración para la conexión a tierra del sistema de protección personal y contra fallas se muestra esquemáticamente en la Fig. 2-16

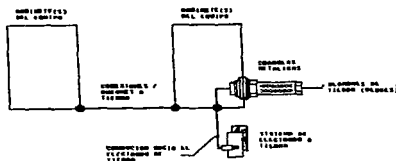


Fig 2-16

(2) Subsistema de Referencia de Señales.

Los sistemas de protección personal y contra fallas que emplean largos conductores de tierra en las instalaciones donde están presentes altas frecuencias, exhiben altas impedancias en el rango de frecuencias de interés. Por lo tanto, no se deben utilizar solamente para proporcionar una referencia de alta frecuencia para el equipo sensible.

Ambos sistemas de puesta a tierra, el de un punto solo y el de multipunto, cuando emplean conductores de tierra largos, exhiben impedancias más grandes a frecuencias más altas. Por lo tanto, los subsistemas de referencia de señales requieren la existencia de una estructura que logre los beneficios de un plano de tierra equipotencial en todo el rango de frecuencias de interés (con frecuencia desde CD hasta decenas de megahertz), como se muestra en la Fig. 2-17.

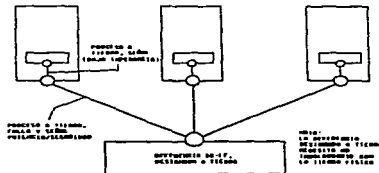


Fig. 2-17

Estas estructuras de un plano de tierra equipotencial logran una impedancia baja en grandes rangos de frecuencias proporcionando una multitud de trayectorias paralelas entre los diversos circuitos conectadas a ellas. También es verdad que para cada frecuencia referenciada dentro de estos planos, allí existe cuando menos una trayectoria que corresponde a la resonancia de un cuarto de longitud de onda de alta impedancia para esa frecuencia; pero este efecto es negado por otras trayectorias que son de media longitud de onda y múltiplos del punto resonante fundamental. La combinación de estas trayectorias son de mucho menor impedancia y actúan como trayectorias paralelo a las trayectorias de alta impedancia. Existe un número infinito de trayectorias en paralelo para el flujo de corriente en el plano, la combinación de estas trayectorias resulta en muy bajas densidades de corriente en el plano. Las bajas densidades de corriente por todo el plano implica igualmente menores caídas de voltaje por todo el plano.

Por lo tanto, los subsistemas de referencia de señales con estructuras de planos de tierra equipotenciales, proporcionan los medios de selección de conectar a tierra la señal equipotencial, cuando el rango de frecuencia de señales va desde CD a decenas de megahertz. Ellos aseguran que existen variaciones mínimas de voltaje entre los circuitos de señales conectados y el equipo interconectado.

a) Plano Equipotencial.

Un plano de tierra equipotencial es una masa (o masas) de material conductor que, cuando se unen, proporcionan una baja impedancia al flujo de corriente sobre un rango amplio de frecuencias.

Las ventajas de un plano equipotencial son:

- (1) Trayectoria de retorno de baja impedancia para los ruidos de RF actuales;
- (2) Contención de los campos EM (ruido) entre su fuente (cable, etc.) y el plano;
- (3) Incrementa la efectividad del filtrado de los campos EM contenidos;
- (4) Blindaje de los circuitos o equipos sensibles adyacentes;

La incorporación de las estructuras de un plano equipotencial incluye:

- (1) Red conductora embebida o unida a un piso de concreto;
- (2) Pantalla metálica u hoja de metal bajo los mosaicos del piso;
- (3) Red en el cielo raso por encima del equipo sensible;
- (4) Red de soporte de entrepiso de acceso elevado (salas de cómputo, etc.).

El concepto de plano de tierra equipotencial puede ser empleado dentro de una porción de una caja de equipo sensible, entre vanos equipos interconectados, o sobre una instalación entera. En todos los casos, está unido tanto a la "tierra local del edificio" como al "conductor del electrodo de tierra", por el NEC.

Dentro de los gabinetes de los equipos sensibles, todos los componentes relacionados, conductores de retorno de señales, plano posterior, etc., deben estar conectados vía conductores cortos (menos del 5-10% de la longitud de onda de la frecuencia mas alta que preocupe) al chasis del equipo que forman el plano equipotencial. Todos los planos equipotenciales a nivel equipo similar deben estar conectados a un plano equipotencial a nivel sala vía múltiples conductores cortos y al "conductor de tierra del electrodo". El plano equipotencial a nivel sala, debe a su vez, conectarse a uno o más planos equipotenciales a nivel edificio vía múltiples conductores cortos. Este proceso continúa hasta que el total del sistema de equipo electrónico sensible de interés este interconectado a un plano equipotencial grande y continuo. Se prefiere que los conductores que interconectan tengan secciones transversales de menor longitud para minimizar su impedancia a las frecuencias más altas.

b) Requerimientos de la Frecuencia

Las ondas que tienen componentes de alta frecuencia requieren trayectorias que sean de baja impedancia a las mismas altas frecuencias. Por lo tanto, los sistemas de tierra de la señal de referencia, que proporcionan las requeridas trayectorias de retorno de baja impedancia, se deben diseñar para características de baja impedancia sobre un rango grande frecuencias, por ejemplo, desde CD hasta decenas de megahertz. La Fig. 2-18 muestra el voltaje residual contra el ancho de banda de conducción para la Onda de Toque de 100 kHz del Estándar IEEE. Esta forma de

onda se selecciona para mostrar que una onda que se presenta con tanta frecuencia posee varios cientos de volts a frecuencias mayores de 1 Mhz. Se sabe que amplitudes de la onda del orden de 100 V son destructivas en los circuitos digitales; por lo tanto, el sistema de tierra de la señal de referencia debe exhibir bajas impedancias a frecuencias mayores de 1 a 10 Mhz. El límite superior de la frecuencia de interés práctico (hoy) para la mayoría de equipo comercial se considera estar en el rango de 25 a 30 Mhz.

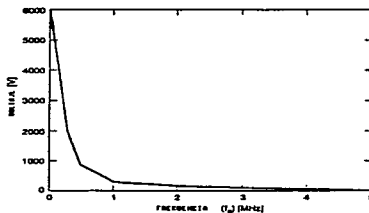


Fig. 2-18

(3) Subsistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas.

El solo propósito del subsistema de protección contra descargas es el transporte seguro de las corrientes relacionadas con las descargas a través de la instalación y hasta el subsistema de tierra con electrodo. Esto se lleva a cabo proporcionando trayectorias para dirigir las corrientes de los rayos hacia y /o desde la tierra, mientras se minimizan las trayectorias alternativas via otros

dispositivos dentro del edificio. Estos conductores forman trayectorias guía, pero no controlan particularmente los potenciales sobre sus trayectorias.

El subsistema de protección contra descargas no requiere presentar ningún valor particular o rango de impedancias a la corriente del rayo que pueda estar impresa en ella. Tampoco el NEC, ANSI/NFPA, establecen límites de impedancia en el sistema de tierra con electrodo asociado con el sistema de protección contra descargas. En lugar de conexiones a tierra de más baja resistencia, estos códigos favorecen un incremento más frecuente de uniones del sistema conductor de descargas atmosféricas (rayos) a otros conductores aterrizados dentro del edificio. Este método resulta en un medio de reducir flameos laterales peligrosos, y en el uso de mas trayectorias de conductores (en paralelo) a través del edificio.

2.6 CONCEPTOS DE BLINDAJE.

El objetivo del blindaje electromagnético y electrostático es obtener una importante reducción o la eliminación de la incidencia de campos eléctricos o magnéticos sobre los circuitos sensibles. El método básico es interponer entre la fuente del campo y el circuito sensible, una barrera de material conductor. Entonces, cuando el flujo de campo magnético variable trata de penetrar la barrera, produce corrientes de eddy en la barrera cuyos campos se oponen al campo de la fuente inductora. Esto permite que los circuitos sensibles solo experimenten el flujo neto

que, dependiendo del material de la barrera y de su geometría, puede ser considerablemente menor que el campo de la fuente.

Son posibles soluciones analíticas de forma cerrada para varias geometrías. Generalmente, es necesario resolver la ecuación de Laplace en las regiones del espacio libre en cada lado de la barrera y la ecuación de difusión dentro del material de la barrera.

2.6.1 Blindaje Electroestático.

El blindaje electrostático consiste de barreras conductoras, cajas metálicas o cubiertas de cables alrededor de los circuitos sensibles. El blindaje electrostático actúa como divisor de voltaje capacitivo entre la fuente del campo y el circuito sensible, como se muestra en la Fig. 2-19.

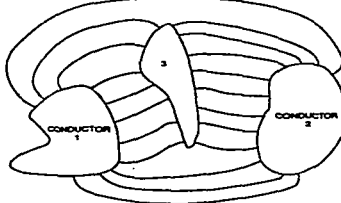


Fig 2-19

El voltaje se divide inversamente a la capacitancia. Por lo tanto, la fracción $C_{32} / (C_{32} + C_{13})$, del voltaje entre la fuente y el circuito sensible aparecerá en el escudo. C_{32} es la capacitancia entre el conductor 3 y el conductor 2, y C_{13} es la capacitancia entre el conductor 1 y el conductor 3. Entonces, la conexión a tierra de alta frecuencia del escudo y los ajustes en la capacitancia relativa (separaciones físicas y geometrías), son los factores de diseño principales para el blindaje electrostático.

Para que sea efectivo, el blindaje debe ser conectado a tierra vía trayectorias de baja impedancia a las frecuencias de interés. Conductores de tierra largos y escudos largos (conectados a tierra en solo un punto) exhiben reducida efectividad a frecuencias altas, debido a la reactancia inductiva en el conductor de tierra o del escudo. Por lo tanto, se deben utilizar cables de tierra y de unión a tierra muy cortos, y deben conectarse en la tierra de equipo más cercana, por ej. en el caso del transformador, su caja/ tanque contenedor metálico. Los escudos largos necesitan ser conectados a tierra en múltiples puntos a lo largo de su longitud. Los blindajes de los cables se deben conectar a tierra en ambos extremos o a tierra en un extremo, y puesto a tierra en el otro vía un dispositivo de supresión de ondas (TVSS).

2.6.2 Blindaje Electromagnético.

El blindaje electromagnético efectivo también consiste de esquemas tales como barreras conductoras aterizadas para alta frecuencia, cajas metálicas, conduits metálicos, y cubiertas para cables alrededor de circuitos sensibles. El objetivo del blindaje electromagnético es la minimización de acoplamiento del flujo magnético (inductancia mutua) desde una fuente (de

poder) al circuito sensible (por ej. control). También son pertinentes las siguientes generalizaciones:

- (1) Minimizar la inductancia mutua separando físicamente la fuente y el circuito sensible.
- (2) Minimizar el área del circuito sensible para reducir el número de líneas de flujo interceptadas desde la fuente.
- (3) Usar pares de conductores trenzados en los circuitos sensibles para sacar provecho del trenzado en el aspecto de que la mitad del flujo magnético disperso se acopla con el circuito sensible en cada dirección, dando entonces un pequeño flujo de acoplamiento neto.
- (4) Dejar espacio pequeño entre los conductores de la fuente (circuito de potencia) de tal suerte que aparezcan como un conductor con corrientes iguales y opuestas, produciendo un campo magnético mínimo.

CAPÍTULO 3
INSTRUMENTACIÓN

3.1 MEDICIÓN R Y Z DE TIERRA.

Para realizar una adecuada medición de la resistencia e impedancia de tierra, se debe llevar a cabo tomando las debidas precauciones y utilizando el instrumental requerido en cada paso. Es por ello que para profundizar en éste punto se recomienda ver el tema 3.6 de este capítulo.

3.2 VÓLTMETRO RMS VERDADERO.

Indican la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de todos los valores instantáneos de la forma de onda cíclica del voltaje. Históricamente las cargas eléctricas mas fuertes han sido elementos resistivos utilizados para calentar, iluminar, o para mover motores de inducción. Estas representan cargas "lineales" en las que la corriente es aproximadamente proporcional al voltaje, y predominantemente senoidal.

Sin embargo, debido a la proliferación de cargas electrónicas de potencia, la naturaleza propia de las cargas que se pueden esperar en los sistemas de distribución de potencia ha cambiado. Ya que dichas cargas presentan características no lineales que se caracterizan por las formas distorsionadas de las ondas de voltaje y de corriente que provocan. Es por ésta razón que se utilizan una diversidad de vóltmetros de valor verdadero RMS, incluyendo del tipo temporar, del tipo regla de cuadrados (square-law), y del tipo de muestreo.

3.3 VÓLTMETRO RMS.

Los vóltmetros de corriente alterna se diseñan para medir el valor efectivo, o valor de calentamiento equivalente, del voltaje de CA. El vóltmetro convierte la CA que mide ya sea directamente a calor, con un vóltmetro tipo temporar, o a un voltaje de CD equivalente. Este valor equivalente se expresa generalmente como el valor rms (raíz cuadrática media) del voltaje.

Todos los medidores RMS están calibrados de tal forma que lean unidades RMS. Cualquiera de estas técnicas trabaja igualmente bien en tanto la señal de CA medida, tenga una forma senoidal. No obstante cuando las formas de las ondas están distorsionadas o traen ruido, se tendrán errores importantes.

Es importante señalar que los vóltmetros que responden a valores promedio, o RMS son los más comunes. Puede haber errores importantes si las formas de las ondas no son senoidales. La práctica recomendada es utilizar vóltmetros de valor verdadero RMS cuando la forma de la onda sea desconocida o diferente de una onda senoidal pura.

3.4 AMPERMÉTROS DE LECTURA DIRECTA.

Los ampérmetros de lectura directa son aquellos que se emplean con un elemento serie (shunt) y que llevan parte de la corriente de línea a través de ellos con el propósito de medición. Estos instrumentos forman parte del circuito que se está midiendo.

Los tipos de ampérmetros de lectura directa incluyen electrodinamómetro, medidores de álabe de fierro móvil, y temporar que impulsan medidores D'Arsonval que responden a la CD. Todos estos tipos de ampérmetros responden directamente al cuadrado de la corriente, y no son de valor RMS verdadero.

3.5 AMPERMÉTRO RMS VERDADERO.

Los ampérmetros de valor RMS verdadero pueden ser ampérmetros de lectura indirecta los cuales a su vez pueden ser de dos tipos:

- a) El tipo transformador de corriente
- b) El tipo de efecto Hall.

Para corrientes desconocidas o no senoidales, la práctica recomendada es usar ampérmetros de valor RMS verdadero. El creciente número de cargas electrónicas de potencia ha incrementado la posibilidad de distorsión en la onda de corriente. Razón por la que el ampérmetro de pinza (Fig. 3-1) se recomienda debido a la facilidad de uso, aunque otros tipos también son satisfactorios.



Fig. 3-1

3.6 PROBADORES.

Son dispositivos que usan un patrón de luces para indicar errores de alambrado en los receptáculos. No obstante estos dispositivos tienen algunas limitaciones. Pueden indicar un alambrado incorrecto pero no se les puede confiar para indicar un alambrado correcto.

3.6.1 Receptáculos.

Los probadores de impedancia de tierra (Fig. 3-2) son instrumentos multifunción diseñados para detectar ciertos tipos de problemas con el alambrado y con la conexión a tierra en los sistemas de distribución de potencia de bajo voltaje. La función principal es la medición de impedancias del conductor de tierra o neutro del equipo desde el punto de prueba y de regreso hasta la conexión de neutro-tierra en la fuente. Otras funciones adicionales de prueba incluyen la detección de errores de alambrado (por ej. polaridad invertida, conductor de tierra del equipo abierto, y neutro abierto), medición de voltaje, la presencia de cortos neutro-tierra, y cortos a tierra aislados.



Fig. 3-2

3.6.2 Tierras.

Las pruebas para medir la resistencia de tierra se deben hacer con un instrumento que use el método de caída de potencial. Instrumentos tipo pinza que no requieren que se aisle el electrodo del sistema de tierra del edificio para la prueba, pueden ser utilizados, aunque, tienen una validez cuestionable para los edificios industriales y comerciales. Sin embargo en la práctica, la resistencia del electrodo de tierra se prueba cuando el edificio se inspecciona, al terminar su construcción, pero no en otro tiempo.

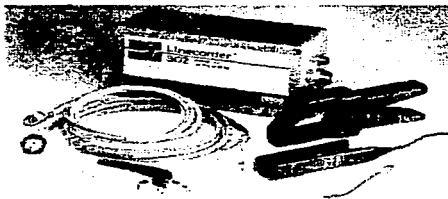


Fig 3-3

3.7 OSCILOSCOPIOS.

En su forma más simple, el osciloscopio es un dispositivo que proporciona una representación visual de un voltaje graficado como función del tiempo. Aun un osciloscopio de características limitadas puede ser muy útil para detectar la presencia de armónicas en el sistema eléctrico.

Las mediciones de voltaje son bastante simples usando un osciloscopio (Fig. 3-4). La entrada se conecta al voltaje de interés utilizando una terminal apropiada. Si el voltaje que se va a examinar está por encima del rango del osciloscopio, existen en el mercado puntas de prueba con un divisor resistivo para extender el rango del instrumento por un factor de 10 o más, o también se tienen dispositivos reductores de voltaje acoplados capacitivamente.

Ahora bien es importante señalar que el osciloscopio no puede medir corriente en forma directa, sólo un voltaje producido cuando la corriente pasa a través de una resistencia.

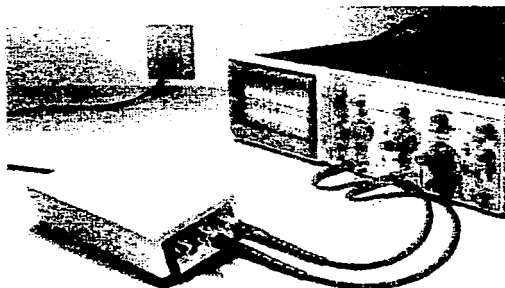


Fig. 3-4

3.8 MONITOR DE DISTURBIOS DE POTENCIA.

Son una nueva clase de instrumentos desarrollados específicamente para el análisis de la medición de corrientes y voltajes. Actualmente, no hay estándares para categorizar los diferentes tipos de disturbio en la potencia que se registran con estos monitores. Consecuentemente, el tipo de disturbio registrado por los diferentes tipos de monitor de potencia puede variar de fabricante a fabricante.

Se pueden hacer mediciones en el dominio del tiempo y mediciones limitadas en el dominio de la frecuencia, (en caso de que su costo se pueda justificar). Los monitores de potencia

son instrumentos recomendados para llevar a cabo mediciones en sitio o campañas de monitoreo por tiempo largo. La Tabla 3-1 tiene una lista de los tipos de mediciones que se pueden hacer con estos monitores.

Aunque fueron desarrollados para las aplicaciones más comunes de detectar voltajes aberrantes que afectan la operación del equipo electrónico, los monitores de disturbios de potencia tienen muchas y diferentes características. Las diferencias incluyen capacidad de canales, comportamiento en las mediciones, salida de datos, y características auxiliares que son de considerable importancia para el usuario. Los monitores de disturbios de potencia son básicamente de tres tipos: indicadores de eventos, monitores de texto, y analizadores de la forma de la onda.



Fig 3-4

3.8.1 Indicadores de Eventos.

Los tipos de monitores de potencia más simples y menos caros se conocen como indicadores de eventos. Estos indicadores detectan, clasifican, e indican los eventos de disturbios en la línea de alimentación de potencia que se presentan. Los eventos individuales no se identifican por el tiempo en que se presentaron. La salida de datos es en un tablero de lámparas indicadoras o bien en forma de una alarma que indica la ocurrencia de un evento de disturbio. Se recomiendan los indicadores de eventos para indicar la necesidad adicional de un análisis más profundo de un disturbio en la línea de alimentación de potencia utilizando equipo más sofisticado.

Los indicadores de eventos capturan información sobre el disturbio, comparando el parámetro monitoreado, generalmente un voltaje de CA, con uno o más parámetros de umbral. Cuando se excede el valor de frontera, el evento se detecta y se indica. Los valores de frontera pueden ser fijos o ajustables por el usuario sobre un rango específico para poder acomodarse a las diferentes circunstancias de monitoreo. Algunos ejemplos típicos de valores frontera pueden ser:

- 1) Voltaje RMS de CA. Con muestreo RMS o promedio, el intervalo de medición debe ser un número entero de medios ciclos de la frecuencia fundamental nominal. Con muestreo de valores pico, el intervalo de medición debe ser medio ciclo de la frecuencia fundamental.
- 2) Onda de voltaje. La detección del valor pico se debe utilizar para eventos de disturbio de corta duración.

3) **Frecuencia.** El intervalo de frecuencia debe ser pequeño en comparación con la duración del disturbio que se va a medir.

Las características de los parámetros determinan los tipos de eventos de disturbio que se detectan. Por lo tanto, es esencial entender completamente los parámetros de los valores de umbral para el uso apropiado del indicador de eventos.

Una vez detectado el evento-disturbio, los indicadores de evento almacenan la información como una cuenta, una amplitud, o ambas. Los datos del evento se reportan entonces como una cuenta acumulada o simplemente como una amplitud, posiblemente acompañada de luces parpadeantes, alarmas audibles, u otras formas de anotación.

Los indicadores de eventos proporcionan una capacidad analítica mínima. El usuario es alertado de la ocurrencia previa de un evento-disturbio, pero falta la información descriptiva y el tiempo de ocurrencia de los eventos en forma individual, el usuario no puede analizar causas y consecuencias de los eventos que se presentaron. Por lo tanto, solo es posible una pequeña guía respecto a la naturaleza y solución del problema con la potencia de CA.

3.8.2 Monitores de Texto.

Los monitores de texto usan técnicas de comparación de frontera, similares a las de los indicadores de eventos discutidos previamente. Algunos ejemplos de parámetros de frontera típicos son:

- 1) **Voltaje RMS de CA.** Con muestreo RMS o promedio, el intervalo de medición debe ser un periodo o más de la frecuencia fundamental nominal. Con muestreo de valores pico, el intervalo de medición no debe ser más de medio ciclo de la frecuencia fundamental.
- 2) **Onda de voltaje.** La detección del valor pico se debe utilizar para eventos de disturbio de corta duración.
- 3) **Frecuencia.** El intervalo de medición puede ser menos frecuente que aquel para impulsos pero aun debe ser pequeño en comparación con la variación RMS que se va a medir.
- 4) **Ranura (Notch).** La detección del pico se debe usar para ranuras de voltaje que tengan corta duración.

Las características de los parámetros de los umbrales determinan los tipos de eventos de disturbio que son detectados. Por lo tanto, es esencial entender completamente los parámetros de los valores frontera y los métodos de detección de un instrumento dado para poder hacer un uso apropiado del mismo.

Cuando se detecta un evento de disturbio, las mediciones se registran para comprometer una descripción alfanumérica que sea representativa del evento. Es posible realizar una gran variedad de mediciones, pero las más comunes son:

- 1) **Tiempo de ocurrencia.** El tiempo en que se inicia un evento de disturbio debe ser medido con mucha precisión, tanta como se requiera para una aplicación dada. El rango se especifica desde el segundo mas cercano hasta el milisegundo más cercano.
- 2) **Voltaje RMS de CA.** Se debe medir cada medio periodo de la potencia fundamental.
- 3) **Onda de Voltaje.** El valor de la amplitud pico del voltaje medida con respecto a la onda senoidal a la frecuencia de la potencia. Duración, tiempo de elevación, fase, polaridad, y frecuencia de oscilación también pueden ser medidos.

- 4) Frecuencia. El intervalo de medición debe ser desde 0.1 a 1.0 seg.
- 5) Distorsión armónica total. El intervalo de medición debe ser desde 0.1 hasta 1 seg. La amplitud y la fase de las armónicas individuales también se puede medir.

El monitor de texto almacena todas las mediciones del evento de disturbio y luego organiza los datos medidos dentro de un formato alfanumérico que es representativo del disturbio original. Una serie secuencial de descripciones alfanuméricas es reportada entonces a través de una impresora de papel o de un medio electrónico.

Los monitores de texto pueden tener otras características, mas allá de las cinco más comunes. Entre los ejemplos se incluye la detección de ruido en modo común, temperatura, humedad, y la medición de voltaje y corriente de CD.

El registro de los eventos en forma secuencial, con el tiempo preciso de ocurrencia, por los monitores de texto, permite al usuario correlacionar disturbios específicos con la operación equivocada o daño de equipos sensibles. Además, la descripción alfanumérica del evento es útil para determinar la causa y las probables consecuencias del evento. Las funciones de análisis están limitadas solo por la extensión de la descripción alfanumérica y por la habilidad y experiencia del usuario. Por lo tanto, las capacidades de análisis de los monitores de texto pueden ser muy extensas.

3.6.3 Analizadores de Forma de la Onda.

Son monitores de disturbios en la potencia que detectan, capturan, y registran eventos en la línea de alimentación de potencia y nos presentan en la forma de onda completa, complementada con la descripción alfanumérica común a los monitores de texto (Figs. 3-5 y 3-6). La salida de la información se puede hacer en un reporte escrito o en un medio electrónico, posiblemente acompañado de una señal de alarma.

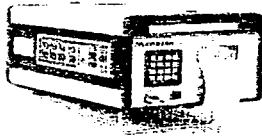


Fig. 3-5



Fig. 3-6

Los analizadores de forma de onda usan técnicas de muestreo para descomponer la forma de onda del voltaje en una serie de pasos discretos que pueden ser digitalmente procesados, almacenados, y eventualmente recombinados para representar la forma de onda original del voltaje de CA.

Aunque el muestreo de la onda es continuo, los analizadores de la forma de la onda solo almacenan los datos muestreados cuando se detecta un evento.

Posteriormente cuando se detecta un disturbio, las muestras digitalizadas se almacenan en la memoria. Como el subsecuente procesamiento, medición, y reporte del evento se basará completamente en la muestras almacenadas, el analizador de la forma de la onda debe retener suficientes datos de antes y después del punto de detección para poder reconstruir con precisión el evento completo.

El reporte gráfico de la forma de onda del disturbio permite al usuario llevar a cabo varias funciones adicionales de análisis. Tales como, la correlación basada en tiempo de las formas de onda del disturbio con las operaciones equivocadas del equipo electrónico sensible para facilitar la realización de pruebas de susceptibilidad más completas de información seguidas de mejoras correctivas de diseño.

3.9 ANALIZADORES DE ESPECTRO.

Las armónicas, el ruido eléctrico, y las desviaciones de frecuencia se pueden medir utilizando monitores de potencia equipados con las capacidades de medición apropiadas. También se pueden medir con aparatos dedicados especialmente a la medición de armónicas, analizadores de espectro de baja frecuencia o de banda amplia (dependiendo de lo que se vaya a medir armónicas o ruido), o con una combinación de instrumentos y análisis basados en computadora. Todas los instrumentos seleccionados deben contar con puntas de prueba de voltaje y corriente, haciendo las mismas consideraciones que se establecieron para las puntas de prueba en los osciloscopios.

Si es de interés el flujo de potencia, entonces las mediciones de voltaje y corriente armónicas se deben hacer en forma simultánea. Los analizadores de armónicas y las mediciones basadas en computadores usan la transformada rápida de Fourier para proporcionar información sobre la amplitud, el ángulo de fase, y la contribución relativa a la distorsión total para cada componente armónico.



Fig3-7

3.10 SISTEMAS EXPERTOS.

Actualmente se dispone programas de cómputo basados en el desarrollo de sistemas expertos para registrar y analizar los datos recolectados en las visitas técnicas realizadas para verificar la calidad de la potencia en sitio.

Los sistemas expertos utilizan la información de entrada proporcionada por el usuario, los datos codificados como procedimientos o como reglas, y posiblemente datos de instrumentación. Los sistemas expertos implantados así como otros basados en instrumentación tienen mecanismos para la captura de datos (o recolección de datos) que son específicos del instrumento utilizado. Otros sistemas expertos independientes recolectan datos haciendo preguntas al usuario y analizando las respuestas. Tanto el sistema experto basado en instrumentación como el que es independiente de ella utilizan los datos codificados en forma de estructuras de conocimiento para procesar la medición de los datos de entrada.

Los datos obtenidos por medición y los obtenidos por respuestas a las preguntas a los usuarios se registran típicamente en medios de almacenaje en masa. Las interfaces de comunicación se pueden utilizar para llevar dichas funciones a cabo. Una técnica muy común para el registro de datos es almacenar los datos en una base de datos electrónica que puede ser accesada por el sistema experto. Y tanto el proceso como el reporte del análisis de los datos se hacen en la pantalla de la computadora o por medio de impresoras. Los reportes incluyen generalmente información tutorial adicional explicando el razonamiento del sistema experto.



Fig 3-10

3.10.1 Funciones de Análisis.

Los sistemas expertos para el análisis de la Calidad de la potencia difieren en enfoque y en profundidad; y por lo tanto en capacidad de análisis. Los sistemas expertos integrados y los que se basan en los Instrumentos se diseñan para auxiliar en el análisis de datos medidos específicos, incluyendo uno o más tipos de disturbios de la potencia. Los sistemas expertos independientes de Instrumentos tienen un alcance mas amplio, pero tal vez menos profundo en relación al análisis de los datos medidos. El software para análisis de datos en campo es un ejemplo de este tipo de sistemas expertos, ya que el alcance incluye alambrado, conexión a tierra, protección contra ondas, monitoreo de potencia, análisis de datos, y recomendaciones sobre el equipo de acondicionamiento de potencia.

Los sistemas expertos pueden proporcionar consistencia y tutoriales expertos para la recolección, análisis, y reporte de la información de la calidad de la potencia.

3.11 INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA (EMI).

Los sondeos sobre los campos eléctrico y magnético miden la intensidad de campo en una banda amplia de frecuencias. Un medidor de intensidad de campo equipado con una punta de prueba para el muestreo del campo eléctrico o el magnético se puede usar para evaluar tanto la *Interferencia Electromagnética (EMI)*, como la *Interferencia de Radio Frecuencia (RFI)*.

Por otro lado en lo referente a las *Descargas Electrostáticas* cabe mencionar que actualmente existen instrumentos de medición especialmente diseñados para cumplir con éste propósito.

Tabla 3-1
Instrumentos de Prueba Recomendados para Llevar a Cabo una Visita Técnica al Sitio

Instrumento	Instrumentación Mínima Requerida				Instrumentación Multifunción o de Propósito Especial			
Unión (Bond) Neutro-Tierra (1) Conexiones del conductor al electrodo de tierra (2) Conexiones puente unión principal (3) Uniones extrañas aguas abajo de la entrada del servicio y/o uniones secundarias separadamente derivadas	□					□	□	
Dimensión y Ruta del Conductor Neutro (1) Igual o mayor que el conductor de fase (2) Neutros compartidos (encadenamiento marginal)		□			□		□	
Sistema de tierra con electrodo (1) Impedancia del conductor del equipo a tierra (2) Integridad del conductor del equipo a tierra cuando se usa con electrodos de tierra suplementarios	□		□					
Impedancia del Electrodo de Tierra (1) Resistencia del Electrodo (2) Integridad del conductor del electrodo de tierra		□			□		□	

Tabla 3-1 (Continuación)
Instrumentos de Prueba Recomendados para Llevar a Cabo una Visita Técnica al Sitio

Instrumento	Instrumentación Mínima Requerida						Instrumentación Adicional o de Precisión Especial	
Medición								
Continuidad de Conducto Caja-Tierra (1) Continuidad en cajas metálicas, conduct, canal para conductores, tableros	□		□			□	□	
(2) Puentes de unión cuando se usan conductos no metálicos	□		□			□	□	
(3) Continuidad de juntas de expansión, canal para conductores telescópicos, cajas moldeadas	□		□		□	□	□	
Sistemas de Tierra Derivados Separadamente (1) Verifique que el neutro como derivado separadamente y no interconectado	□		□		□		□	
(2) Impedancia de la unión de neutro a tierra en secundario			□		□		□	
(3) Conexiones del conductor del electrodo de tierra			□					
Sistemas Aliviadores de Tierra (1) Aislamiento del conductor del sistema de tierra por conducto	□							
Disturbios en la Potencia (1) Bajo o sobrevoltajes	□					□	□	
(2) Sags y swells momentáneos y (4) Ramuras						□	□	
(3) Ondas y (6) Ruido Eléctrico						□	□	□
(5) Pérdidas de Potencia largas y momentáneas						□	□	
(7) Armónicas y (8) Desviaciones de frecuencia						□	□	

CAPÍTULO 4
VERIFICACIÓN EN SITIO

4.1 OBJETIVO

El objetivo básico de las investigaciones y análisis en sitio son los siguientes:

- ⇒ Determinar que tan sano es el sistema de potencia (alambrado) y el sistema de tierra que se le suministra al equipo.
- ⇒ Determinar la calidad del voltaje de CA suministrado al equipo.
- ⇒ Determinar las fuentes y el impacto de los disturbios en el sistema de potencia en el comportamiento del equipo.

Es importante mantener estos enfoques en la mente cuando un sitio esta experimentando problemas que aparecen relacionados con la potencia. Con mucha frecuencia, en un intento de corregir el problema, se toma una acción rápida correctiva, en la forma de algún tipo de equipo acondicionador de potencia. Aunque este método minimiza algunas veces el problema, en la mayoría de los casos puede hacer poco o nada para resolver el problema y sin embargo, si puede agravar las condiciones que conducen a una degradación posterior de los niveles de comportamiento del sistema.

Para resolver en forma exitosa los problemas en el equipo electrónico sensible, se debe llevar a cabo un análisis completo del sistema de potencia y de las cargas para definir las áreas de riesgo tan precisamente como sea posible antes de intentar resolver el problema. Este método puede llevar a soluciones costo-efectivas que al implementarse, no solo corrijen las condiciones existentes sino que también minimizan futuros problemas.

El punto de interés es entender y definir el problema antes de intentar resolverlo. Algunos de los parámetros que se necesitan definir son:

- 1) ¿ Que tipo de equipo electrónico es el que está experimentando problemas, así como la ubicación del mismo?
- 2) Los tipos de mal funcionamiento o fallas del equipo (ej. pérdida de datos, bloqueos, daños de componentes).
- 3) ¿Cuándo ocurrió el problema? (ej. hora del día, día de la semana, operación particular del sistema).
- 4) Problemas coincidentes que se presentaron en forma simultánea (ej. flicker en el alumbrado, motores que disminuyen su velocidad).
- 5) Fuentes de problemas posibles en el sitio (ej. soldadoras de arco, acondicionadores de aire, máquinas copadoras).
- 6) Protección existente del equipo (ej. supresores de ondas de voltaje transitorio, transformador de aislamiento).

Esto debe proporcionar información para un análisis preliminar que permita decidir si se deben dar recomendaciones inmediatas para tomar acciones remediales.

4.2 EQUIPOS A UTILIZAR

Los instrumentos recomendados para una verificación en sitio son los discutidos en el capítulo 3 teniendo un resumen en la tabla 3-1.

4.3 CAMPAÑA DE MEDICIÓN

Las visitas técnicas para investigar y analizar la Calidad de la Potencia Eléctrica deben ser conducidas en varios niveles dependiendo de la magnitud del problema, la cantidad de datos deseados y los factores económicos.

Un desglose de los niveles de las investigaciones en sitio son como sigue:

- 1) Investigación en Nivel 1. Prueba y análisis de la distribución de CA y sistema de tierra suministrado para el equipo.
- 2) Investigación en Nivel 2. Nivel 1 más monitoreo del voltaje suministrado al equipo.
- 3) Investigación en Nivel 3. Nivel 1 y 2 más monitoreo de los parámetros ambientales del sitio.

Cuando se haya determinado el nivel de investigación deseado, se debe definir el análisis de resultados propuesto antes de iniciar cualquier prueba o monitoreo. Existen tipos de instrumentos que están diseñados para detectar problemas específicos, aunque ningún instrumento por sí solo tiene la capacidad de detectar todos los tipos de problemas. Por ej. un monitor de potencia diseñado para detectar problemas en la calidad del voltaje, no detectará problemas en el alambrado o en la conexión a tierra. A menos que la calidad del alambrado o del sistema de tierras sea probado y monitoreado, los datos producidos por el monitor de potencia son prácticamente inútiles.

Para conducir una investigación en sitio en forma efectiva, las áreas con problemas se deben subdividir en cuando menos, tres categorías:

- 1) La condición de la distribución de CA y del sistema de tierras.
- 2) Los niveles del voltaje del sistema de potencia.
- 3) El medio ambiente del equipo, incluyendo temperatura, humedad, descargas electrostáticas, interferencia electromagnética radiada (EMI).

Es importante señalar que el orden en el cual estas categorías son analizadas es de una importancia crítica.

La distribución de potencia y el sistema de tierras se deben probar y analizar antes de realizar cualquier prueba para determinar la Calidad de la Potencia Eléctrica.

4.3.1 Condición de la distribución de potencia y del sistema de Tierras

Los problemas en edificios industriales / comerciales con el alambrado y con las tierras son una gran parte de todos los problemas sobre Calidad de la Potencia, que son reportados. El número más grande de problemas en alambrado y conexiones a tierra es en los circuitos alimentadores y ramales que alimentan a las cargas críticas.

La primera actividad cuando se buscan problemas de la potencia es investigar que tan bueno es el estado en que se encuentra la distribución de potencia y el sistema de tierra al que está conectado el equipo. Los problemas en esta categoría incluyen tópicos como conexiones perdidas, inapropiadas (falsos contactos), o de pobre calidad en la alimentación de potencia o en las conexiones a tierra desde la fuente de potencia hasta la carga. Estos se pueden clasificar, generalmente, como problemas mecánicos. Ya sea porque se les pasó o por error, en forma intencional o no, en muchos casos la alimentación o las conexiones a tierra no están instaladas de

acuerdo a los requerimientos de los códigos nacionales, estatales, o locales u a otras especificaciones. La experiencia ha demostrado que muchas instalaciones de equipo electrónico experimentaron un mal funcionamiento y fallas porque tenían uno o más problemas en el alambrado y en el sistema de tierras que alimentaba a ese equipo.

También puede ocurrir que los conductores queden invertidos. Una vez que la instalación ha sido puesta en servicio, del mismo modo es posible que ciertos movimientos inherentes puedan aflojar las conexiones. Las cargas con un ciclo de encendido y apagado crean calentamientos y enfriamientos que también en forma eventual resultan en conexiones de pobre calidad (alta impedancia). También, las adiciones o modificaciones periódicas al sistema de distribución puede resultar en conexiones equivocadas, inapropiadas, o de pobre calidad.

Los circuitos ramales son de una cierta capacidad nominal y están abiertos a la utilización de una gran variedad de técnicas de construcción y opciones de actualización, muchas de las cuales causan problemas. Se deben tener muchas precauciones en la selección de los instrumentos de prueba usados en la conducción de la investigación del sistema de alimentación y de tierras. El utilizar algún medidor probador de circuitos con tres lamparas indicadoras, no es recomendable y debe impedirse su uso, ya que éstos dispositivos tienen severas limitaciones y pueden proporcionar una "correcta" indicación aún cuando el circuito bajo prueba tenga uno o más problemas. Además, no son capaces de indicar la integridad de los conductores de potencia.

4.3.2 Consideraciones de Seguridad

Las consideraciones de seguridad vienen primero al hacer cualquier medición en sistemas interconectados. Los instrumentos deben ser conectados a tierra utilizando las recomendaciones del fabricante. Las mediciones de continuidad se deben hacer con los circuitos desenergizados. Algunas mediciones pueden requerir el uso de un electricista capacitado.

4.3.3 Unión neutro-tierra

Las uniones neutro-tierra realizadas inadecuadamente, son un problema relativamente común que no solo crean riesgos de conmoción (shock) para el personal de operación sino que también degradan el comportamiento del equipo electrónico sensible. Estas uniones se pueden detectar usando un probador de alambrado y de tierras. Una medición de voltaje entre el neutro y tierra en los tomacorrientes normalmente indicará voltaje en el rango de los milivolts bajo condiciones de operación normales. Una lectura de cero Volts indica la presencia de una unión neutro-tierra cercana. Una corriente excesiva en la conexión a tierra de los equipos en los paneles de distribución también indica la posibilidad de una unión neutro a tierra en el lado carga. También es necesaria una inspección visual para verificar y localizar las uniones.

4.3.4 Mediciones para dimensionar el conductor de neutro.

Se deben hacer mediciones de las corrientes en las fases y en el neutro de la carga para determinar si la carga está compartiendo el conductor del neutro con otras cargas y para determinar si la sección transversal del conductor de neutro es la adecuada. Para circuitos trifásicos que alimentan cargas monofásicas que tienen corrientes características no lineales y comparten un neutro común, es posible que la corriente en el neutro pueda exceder la corriente que lleva el conductor de fase. Esto se debe tomar en cuenta cuando se dimensiona el calibre de los conductores de neutro. La medición en los conductores de fase y neutro se deben hacer con un amperímetro de valor verdadero rms del tipo gancho para evitar lecturas imprecisas.

Para determinar si el neutro que esta en la carga electrónica sensible está compartido con otras cargas, se mide la corriente de neutro con la carga sensible apagada. Si la corriente no es cero amperes, entonces se está usando un neutro compartido.

4.3.5 Impedancia del conductor a tierra del equipo

La impedancia del conductor que conecta el equipo a tierra desde donde se localiza el equipo hasta el sitio donde se ubica el punto de unión neutro-tierra en la fuente es una medida de la calidad de la trayectoria de retorno de una falla.

Hay que medir la impedancia del conductor de tierra del equipo utilizando un probador de impedancia a tierra. La indicación de una "tierra abierta" revela la falta de conexión a tierra del equipo. Una medición de alta impedancia indica una calidad deficiente en el sistema de conexión a tierra del equipo o un conductor a tierra pobremente instalado. Los conductores de tierra adecuadamente instalados deben exhibir niveles de impedancia del orden de 0.25 ohms o menos. Esto ayuda a asegurar la protección del personal ante la presencia de una falla.

4.3.6 Impedancia del conductor de neutro

La impedancia del conductor del neutro de los equipos electrónicos sensibles hasta la unión neutro-tierra en la fuente es otra medición importante. Una impedancia baja es esencial para minimizar los potenciales entre neutro y tierra en la carga y reducir el ruido en modo común. Siendo los niveles altos de corriente en el conductor de neutro causadas por cargas no lineales contribuyen a estos problemas.

El instrumento a utilizar para hacer la medición de la impedancia del conductor de tierra mencionado anteriormente también se puede utilizar para medir la impedancia del conductor de neutro. Los conductores de neutro deben tener impedancias por debajo de los 0.25 ohms. Una impedancia alta en el conductor de neutro puede ser el resultado de una conexión de calidad deficiente.

4.3.7 Resistencia del electrodo de tierra

El sistema de tierra con electrodo está generalmente enterrado o inaccesible excepto durante la construcción de la instalación o una remodelación importante. El propósito del sistema de tierra con electrodo es proporcionar un punto de referencia a tierra para la instalación y además proporcionar una trayectoria para las descargas atmosféricas y la electricidad estática.

La resistencia del sistema de tierra con electrodo se debe verificar durante la construcción como asunto práctico y por razones de seguridad, aunque generalmente no se vuelve a medir. Para hacer la medición con precisión, el sistema de tierra con electrodo debe estar desconectado de todas las otras conexiones a tierra. Para una construcción nueva, hay que medir la resistencia del sistema de tierra con electrodo con un probador de tierras utilizando el método de caída de potencial.

La integridad del conductor que conecta con el electrodo es importante porque sirve como conexión entre el sistema de tierra del edificio y el sistema de tierra con electrodo. Se puede usar un amperímetro de pinza para medir el flujo de corriente en el conductor que se conecta al electrodo.

Ordinariamente habrá un pequeño pero finito flujo de corriente. La falta de flujo de corriente puede ser una indicación de una conexión abierta. El flujo de corriente indica problemas serios y/o posibles condiciones de falla.

4.3.8 Continuidad a tierra conductor / caja

Se recomienda que las cargas electrónicas sean conectadas a tierra utilizando conductores separados. La terminación del conductor de tierra puede ser un sistema de tierra aislado, o puede ser terminado en el conductor de tierra del sistema. Cualquiera que sea la

terminación finalmente se conecta al sistema de tierras del edificio. Tanto la tierra aislada como el conductor de tierra deben terminar en el primer punto de unión neutro tierra. Los probadores de la impedancia de tierra se pueden usar para medir la calidad de ambos sistemas, el de la tierra aislada y el de conductor de tierra desde el equipo hasta la fuente de potencia. Una práctica recomendada para un mejor comportamiento de los equipos electrónicos es colocar los conductores de fase, neutro, y los conductores de tierra del equipo a través de conduit metálico continuamente aterrizado, y cumpliendo además con los códigos de seguridad. Ya que un conduit metálico continuamente aterrizado actúa como un escudo contra las interferencias radiadas.

4.3.3 Procedimientos de verificación del alambrado y conexión a tierra

Siempre se deben utilizar los servicios de personal calificado cuando se realiza la verificación y prueba del sistema de distribución de potencia. Sus servicios serán necesarios para proporcionar acceso a los tableros de fuerza y asistir en la realización de las pruebas con máxima seguridad. Además, pueden ser capaces de proporcionar valiosa información (por ej. historia, modificaciones) acerca del sistema de distribución.

Mientras se lleva a cabo un programa de pruebas, se debe hacer una inspección visual muy de cerca de los tableros de potencia, transformadores, y todos los otros componentes del sistema que estén accesibles. Las conexiones flojas, las temperaturas de operación anormales, y ciertos dispositivos que puedan proporcionar pistas sobre la calidad del sistema de distribución, son particularmente importantes de observar. Un buen punto por donde empezar las pruebas de distribución y tierras es el tablero principal de servicios del edificio o el transformador de servicio.

Si la calidad del sistema de tierras es cuestionable, se puede usar un probador de sistemas de tierras para medir la resistencia de esta conexión. Pruebas adicionales en este sitio pueden incluir la medición de los niveles de voltaje rms (entre fases, de fase a neutro, y de fase a tierra), niveles de corriente (de fase, y de tierra), y verificación de la apropiada unión neutro-tierra.

Desde este punto, cada tablero en el sistema de distribución que sirve al equipo debe ser probado y verificado. Las pruebas deben incluir voltajes, corrientes, rotación de fases, impedancia de tierra, neutro, el dimensionamiento adecuado de los conductores.

Una vez completa la verificación y prueba del panel, todos los circuitos ramales que alimentan equipos sensibles deben ser verificados. Estas pruebas deben incluir voltajes, conexiones apropiadas de los conductores (errores de alambrado), y la ausencia de cortes en las uniones neutro-tierra y tierra aislada, así como la medición de los niveles de impedancia de tierra y de neutro.

La práctica recomendada es desarrollar un método sistemático para registrar todas las observaciones y resultados de prueba. Esto hará posible un análisis eficiente de la información así como asegurar que no falta ninguna prueba. La Fig. 4-1 ilustra un juego de formas para registrar los resultados.

Verificación de Datos de la Distribución de Potencia	
Tipo de Sistema : _____	
Sitio: _____	
Datos: _____	
Localización: _____	
Contacto: _____	
Teléfono _____	
Transformador: _____	
kVA: _____ Voltaje Primario: _____ Voltaje Secundario: _____	
Taps: #1 _____; #2 _____; #3 _____; #4 _____; #5 _____; #6 _____; #7 _____; #8 _____;	
Posición de Taps _____	
Mediciones de Voltajes y Corrientes:	
<p style="text-align: center;">Voltaje Primario</p> <p>A-B _____</p> <p>B-C _____</p> <p>C-A _____</p> <p>Rotación de Fases _____</p>	<p style="text-align: center;">Corrientes del Primario</p> <p>A _____</p> <p>B _____</p> <p>C _____</p> <p>G _____</p>
<p style="text-align: center;">Voltaje del Secundario</p> <p>A-B _____ A-N _____</p> <p>B-C _____ B-N _____</p> <p>C-A _____ C-N _____</p> <p>Rotación de Fases _____</p> <p>Unión N-G? SI _____ No _____</p>	<p style="text-align: center;">Corriente del Secundario</p> <p>A _____</p> <p>B _____</p> <p>C _____</p> <p>N _____</p> <p>G _____</p>
Observaciones	

Fig. 4-1

Resumen de Datos: De la Distribución de Potencia y Tierras

Localización _____ Fecha ____/____/____
 Panel: _____ Sitio: _____ Uso: _____
 Fuente de Potencia: _____

Descripción del Panel:

Manufactura: _____ Modelo _____
 Polos _____ Amperes _____
 Tiene Disco Principal S _____ N _____ Amperes _____

Ramas totales de Circuito 1 Polo _____ 2 Polo _____ 3 Polo _____

Descripción del Alimentador:

Conductor de Fase: Tamaño: _____ Color _____ Cobre: S _____ N _____
 Conductor del Neutro: Tamaño: _____ Color _____ Cobre: S _____ N _____
 Conductor de Tierra: Tamaño: _____ Color _____ Cobre: S _____ N _____

Bus del Neutro:

En el Bus Instalado el Neutro está Aislado? S _____ N _____
 Numero Total de Conductores del Neutro _____

Bus de Tierra

En el bus Instalado la Tierra esta Aislada? S _____ N _____
 El Principal Conductor de Tierra está Aislado? S _____ N _____
 Existe Conductor Secundario de Tierra? S _____ N _____
 Numero Total de Conductores de Tierra _____

Estado del Panel:

Las ramas de los circuitos están Correctamente Clasificados? S _____ N _____
 Existe nombre del Panel y del Alimentador? S _____ N _____
 El Panel del Hardware Funciona Correctamente? S _____ N _____
 Todo el alambrado tiene fácil acceso? S _____ N _____
 Está abandonado el alambrado del Panel? S _____ N _____
 Todas las conexiones están bien ? S _____ N _____

Observaciones: _____

Fig 4-1 (continuación)

Resumen de Datos: De la Distribución de Potencia y Tierras									
Localización: _____	Fecha: / ____ / ____ / ____								
Panel: _____	Sitio: _____								
<hr/>									
Lectura de Voltajes	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">A y B _____</td> <td style="width: 50%;">A y N _____</td> </tr> <tr> <td>B y C _____</td> <td>B y N _____</td> </tr> <tr> <td>C y A _____</td> <td>C y N _____</td> </tr> <tr> <td>N y G _____</td> <td>N y IG _____</td> </tr> </table>	A y B _____	A y N _____	B y C _____	B y N _____	C y A _____	C y N _____	N y G _____	N y IG _____
A y B _____	A y N _____								
B y C _____	B y N _____								
C y A _____	C y N _____								
N y G _____	N y IG _____								
<hr/>									
Lectura de Corrientes	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">F. A _____</td> <td style="width: 50%;">Neutro _____</td> </tr> <tr> <td>F. B _____</td> <td>Tierra Aislada _____</td> </tr> <tr> <td>F. C _____</td> <td>Tierra _____</td> </tr> </table>	F. A _____	Neutro _____	F. B _____	Tierra Aislada _____	F. C _____	Tierra _____		
F. A _____	Neutro _____								
F. B _____	Tierra Aislada _____								
F. C _____	Tierra _____								
<hr/>									
Rotación de Fases:									
Impedancia de Tierra _____	Impedancia del Neutro _____								
<hr/>									
Observaciones: _____									
<hr/>									

Fig 4-1 (continuación)

Resumen de Datos: De la Distribución de Potencia y Tierras

Localización: _____ Fecha: ____/____/____

Panel: _____ Sitio: _____

Rama del Circuito de Carga

POS	Tamaño	Carga	POS	Tamaño	Carga
1			2		
3			4		
5			6		
7			8		
9			10		
11			12		
13			14		
15			16		
17			18		
19			20		
21			22		
23			24		
25			26		
27			28		
29			30		
31			32		
33			34		
35			36		
37			38		
39			40		
41			42		

Observaciones: _____

Fig 4-1(continuación)

4.4 CALIDAD DEL VOLTAJE DE CA

Una vez terminada la parte de verificación del sistema de distribución de potencia y de las tierras durante el análisis del sitio, el siguiente paso es determinar la calidad de las formas de las ondas del voltaje de CA del sistema de potencia.

4.4.1 Detección de disturbios en el voltaje

Una práctica recomendada es conectar periódicamente el monitor de potencia a un generador de disturbios, y crear disturbios conocidos. El saber como reporta estos eventos en el monitor, será útil en la interpretación de los datos de campo en sitios reales, almacenando tales datos en discos magnéticos flexibles.

4.4.2 Conexiones del monitor de potencia

El conectar el monitor es una consideración importante. Si se tienen varios canales, deben ser utilizados todos para maximizar la información obtenida, facilitando el hacer un análisis mejor del número y de los tipos de disturbios que se han presentando. Entonces éste análisis puede ser aplicado hacia la correcta selección del equipo acondicionador de potencia que elimine los problemas. Las figuras. 4-2, 4-3, y 4-4 ilustran las conexiones para varios sistemas de potencia.

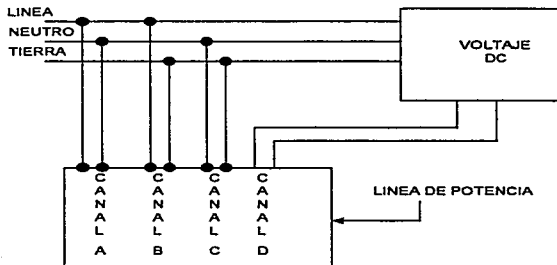


Fig. 4-2

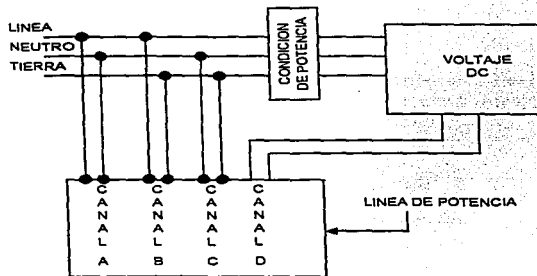


Fig. 4-3

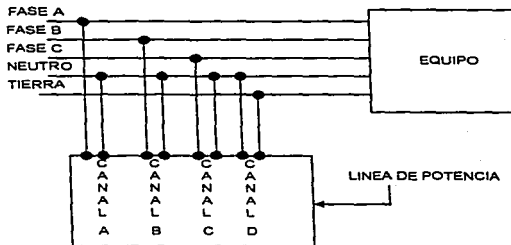


Fig. 4-4

Una técnica que se puede usar para determinar que efecto perturbador, si existe alguno en el equipo, es conectar el canal de CD del monitor directamente a la salida de la fuente de poder de dicho equipo. Los eventos que se presentan en los canales se pueden correlacionar con los eventos que ocurren en la entrada de los canales de CA y determinar el nivel de perturbación a los circuitos lógicos sensibles. Cuando se conecta el monitor a un panel de potencia, siempre se

debe apoyar de un electricista calificado para hacer las conexiones. Asegurando que las conexiones permanezcan seguras durante el periodo de monitoreo de la prueba.

Observaciones :

- (1) El utilizar pares trenzados para monitorear las entradas reducirá la posibilidad de atraer campos radiados RFI/EMI
- (2) Conectar el monitor en el mismo modo en que está el equipo (fase a fase, fase a neutro).

a) Potencia de entrada al monitor.

La práctica recomendada es proporcionar potencia de entrada al monitor desde un circuito diferente al que se va a monitorear. Algunos fabricantes incluyen filtros de entrada o supresores de ondas de voltajes transitorios en sus fuentes de poder que pueden alterar la información sobre las perturbaciones si el monitor se alimenta del mismo circuito que se está monitoreando.

b) Conexión a tierra del monitor

Se debe tener cuidado en la conexión a tierra del monitor. Ya que se provee de una tierra del chasis a través del cordón de potencia de entrada, cualquier conexión del chasis a tierra al circuito que se va a monitorear puede crear lazos con tierra que resultan en ruido adicional inyectado en el alimentador de equipo sensible. Para evitar este problema, se recomienda que no se haga ninguna conexión del chasis al circuito que se está monitoreando.

c) Ajuste de los umbrales del monitor

Una vez que el monitor queda conectado, el paso siguiente es la selección de los umbrales que den la orden de inicio para la grabación de los disturbios. Los umbrales que den la orden de inicio para la grabación de los disturbios. Los umbrales alto (superior) y bajo (inferior) se deben ajustar ligeramente dentro de los límites de operación de voltaje del equipo. Esto permitirá detectar niveles de voltaje cercanos a los límites críticos máximo y mínimo que puedan provocar un sobre esfuerzo o falla del equipo. Si se desconocen los límites de tolerancia del equipo, se recomienda que para el monitoreo de circuitos de 120 V se tomen un umbral superior de 125 V, y un umbral inferior de 105 V.

También se deben ajustar los umbrales para detectar transitorios que causen la degradación o la destrucción de los componentes. Si no se tiene especificado los límites que soporta el equipo contra estos transitorios, se pueden utilizar un umbral de aproximadamente 100 V pico. Si el monitor tiene detección de ruidos de alta frecuencia, se debe utilizar una tolerancia de 2 a 3 V pico para la detección del ruido de alta frecuencia entre el neutro y tierra.

Se debe registrar la información sobre el sitio, nombre, fecha, circuito que se monitorea, esquema de conexiones, y otros datos relativos y pertinentes, al inicio de la impresión para facilitar futura referencia de la información. La mayoría de los monitores tienen la habilidad de ser accedidos vía un puerto RS-232 por una terminal o computadora portátil, esta característica puede ser útil para la extracción de datos, cambio de umbrales, y llevar a cabo otras funciones en varios monitores en el campo desde una terminal en la oficina.

d) Localización del monitor

Cuando se monitorea un sitio que esta alimentando varias cargas, puede tener ventajas instalar inicialmente el monitor en el panel de potencia que alimenta el sistema para obtener un perfil general del voltaje. El monitor se puede luego relocalizar a los circuitos que alimentan

cargas individuales, tales como unidades de proceso central (CPUs), unidades de discos flexibles, u otras cargas que han experimentado mal funcionamiento y fallas. La comparación entre los datos de las perturbaciones puede proporcionar pistas sobre la fuente de los disturbios y como remediar más efectivamente el problema. Generalmente es recomendable que el período mínimo de monitoreo sea de por lo menos un ciclo de trabajo completo, que podría ser normalmente de siete u ocho días. Cuando las perturbaciones ocurren al azar o son estacionales, es necesario realizar el monitoreo durante periodos mas largos.

4.4.3 Análisis de los disturbios del voltaje grabado

Tal vez la tarea más difícil al llevar a cabo una visita de inspección en sitio es el análisis de los datos proporcionados por el monitor de potencia. Estos datos serán usados para determinar la fuente de los disturbios así como para tomar las decisiones sobre los métodos costo-efectivos para la corrección o eliminación de los disturbios.

El individuo responsable de la interpretación de los datos debe tener un conocimiento profundo de la captura del disturbio y de las características del reporte del monitor específico usado en la investigación en sitio para minimizar la posibilidad de malas interpretaciones. Uno de los factores a determinar es si una perturbación en particular está provocando un mal funcionamiento en el equipo. Esta relación es relativamente fácil de determinar si el mal funcionamiento de un equipo ocurre al mismo tiempo en que se registre el disturbio.

En muchos casos, los disturbios se registran y parece que no tienen efectos en el comportamiento del equipo. Estos disturbios pueden ser lo suficientemente severos como para causar degradación de componentes que eventualmente resultará en una falla prematura. Parte del análisis de los datos es la determinación de la fuente de los disturbios, que puede ser tarea muy elusiva. Los disturbios pueden ser causados por el propio equipo, o por otro equipo dentro de la instalación, por equipo externo a la instalación, por operaciones con el sistema de potencia de la compañía suministradora, por descargas atmosférica, o por cualquier combinación de estas fuentes. Aunque una descripción completa no es posible en este trabajo, algunas guías generales pueden ser útiles. Si el equipo es alimentado por un transformador de aislamiento o un acondicionador de potencia y los disturbios se presentan solamente en la salida del acondicionador, entonces el acondicionador o el equipo en si pueden ser la fuente.

Comparar los disturbios en la salida de CD de la fuente de potencia con los eventos en la entrada de CA del equipo. Si no se puede hacer una correlación en tiempo, los eventos en el canal podrían ser originados en un dispositivo externo y ser reflejados dentro del sistema por los cables de datos o de comunicaciones. Si los disturbios ocurren mas o menos al mismo tiempo durante un día de trabajo, se debe tratar de determinar que equipo estaba operando a esas horas en la instalación. Si no se puede obtener la correlación, entonces la fuente puede ser externa a la instalación.

Los disturbios que ocurren exactamente al mismo tiempo son causados por el equipo que está controlado por periodos de tiempo. Uno de tales equipos son los bancos de capacitores switchables utilizados por las compañías suministradoras. Se debe contactar a la compañía suministradora de potencia para determinar que operaciones están realizando en su sistema a diversas horas del día, ya que esto puede proporcionar buena y útil información.

4.5 MEDIO AMBIENTE DEL EQUIPO ELECTRÓNICO.

El mal funcionamiento y falla de algunos equipos electrónicos puede ser causa de parámetros ambientales no apropiados tales como temperatura, humedad, EMI (Interferencia Electromagnética), y descargas electrostáticas (ESD). Una investigación en sitio podría incluir la prueba o el monitoreo de estos parámetros para confirmar un medio ambiente apropiado para el equipo.

4.5.1 Temperatura / Humedad.

La mayoría de los monitores que se usan para medir disturbios en el voltaje tienen transductores disponibles para medir temperatura y humedad. Una vez que se llenen las especificaciones del fabricante del equipo sobre la temperatura y humedad, se puede ajustar los valores de frontera alto y bajo ligeramente dentro de estos límites para capturar las variaciones que están cerca de los límites del equipo electrónico. La práctica recomendada es programar los monitores de tal forma que documente los reportes de cada 12 o 24 horas con los valores de temperatura y humedad. Se debe comparar cualquier cambio rápido en temperatura y humedad con las gráficas de error del sitio para ver si se puede hacer alguna correlación. Altos niveles de temperatura pueden causar condensación que resulta en falsos contactos en las tarjetas. Baja humedad puede ser un factor que contribuye a provocar niveles incrementados de descargas electrostáticas.

4.5.2 Interferencia Electromagnética (EMI)

La EMI radiada puede impactar el comportamiento del equipo electrónico sensible. Al intentar confirmar que el problema es EMI, el primer paso es establecer el método de operaciones del sitio.

- ⇒ ¿Están los transmisores u otros dispositivos de comunicación operando cerca de los equipos electrónicos?
- ⇒ ¿Puede hacerse una correlación entre la operación del radio y el mal funcionamiento del equipo?

Se puede llevar a cabo una inspección visual del área alrededor verificando si existen fuentes externas de EMI tales como torres de radio/TV, torres de microondas, aeropuertos, etc. Generalmente, dos niveles de medición de EMI se pueden realizar. El primero es la medición de campos de alta frecuencia utilizando un medidor de intensidad de campo o transductor de EMI acoplado a un monitor de potencia. Se recomienda esta técnica como un paso preliminar para confirmar o eliminar la EMI como un problema. Se debe consultar con el fabricante los límites de susceptibilidad del equipo. Si se tienen altos niveles de campos radiados excesivos, la práctica recomendada es llevar a cabo una investigación a fondo sobre la EMI utilizando un analizador de espectro, que es el segundo nivel de medición de la EMI. Esta investigación es para la frecuencia y la dirección de la fuente de la señal de tal forma que las medidas correctivas se puedan tomar.

Las medidas correctivas recomendadas para los problemas con EMI incluyen lo siguiente:

- 1) Reorientar o localizar el equipo sensible o la fuente.
- 2) Remover la fuente.
- 3) Blindar la fuente o el equipo afectado

4.5.3 Descarga Electroestática (ESD)

La ESD puede impactar severamente el comportamiento y la confiabilidad del equipo electrónico. Un sitio puede experimentar fallas debidas a ESD y no percatarse inmediatamente del problema ya que los niveles de voltaje que pueden causar la falla de componentes están por abajo de la frontera de percepción de individuo. Existen medidores para determinar el nivel de

carga estática en el personal, en los muebles, y otros dispositivos localizados en la vecindad donde el equipo electrónico está operando.

Si las fallas del equipo son debidas a las ESDs, las medidas correctivas incluyen lo siguiente:

- 1) Mantener los niveles de humedad apropiados en las áreas de los equipos
- 2) Usar redes antiestáticas en el piso y en las superficies de trabajo
- 3) Reemplazar los artículos que generan estática, tales como sillas, que agravan el problema de ESD.
- 4) Capacitar al personal de operación para descargarse ellos mismos antes de operar equipos sensibles.

CAPÍTULO 5
ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

5.1 SISTEMAS DE COMPUTO (PROGRAMAS)

En la actualidad existen diversos sistemas de computo para el análisis de transitorios en los sistemas de potencia. El programa más utilizado para el análisis de transitorios de sistemas de potencia es el llamado Electromagnetic Transients Program, comúnmente conocido como EMTP. Este fue originalmente desarrollado por Herman W. Dommel para la Bonneville Power Administration (BPA), en 1960, y ha sido continuamente mejorado desde entonces. En la actualidad un grupo de investigadores se encuentra desarrollando modelos y soportes, en coordinación con el Electric Power Research Instituecual (EPRI) y el Development Cordination Group (DCG). Otra versión del programa es el Alternat Transients Program (ATP), aplicable a computadoras personales (PC); el cual está disponible a través de la Can/Am EMTU Useis Group, encabezado por W. Scott Meyer, quien ha tenido un liderazgo en el desarrollo y mantenimiento del programa durante mucho tiempo.

Otra herramienta comercial de análisis es la PSCAD de investigación de Manitoba HVDC. Este programa se caracteriza por su muy sofisticado interfaz gráfico, lo que permite al usuario armar el circuito y observar su comportamiento para corroborar si la solución está procediendo.

Del mismo modo existen numerosos programas de computo desarrollados para análisis de circuitos electrónicos que puedan ser también utilizados en el análisis de sistemas de potencia. Un ejemplo es el SPICE Program y sus derivaciones. Aunque estos programas son usualmente menos efectivos en problemas de sistemas de potencia en comparación con los programas especialmente diseñados para sistemas de potencia.

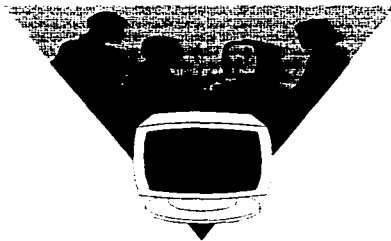


Fig. 5-1

5.1.1 Descripción del EMTP

El EMTP tiene como objetivos el simular efectos de los Transitorios de Alta Velocidad (High-speed transients) en los sistemas eléctricos de potencia. Lo que caracteriza a este programa es que tiene una amplia variedad de modelos, capacidades, un amplio rango electromagnético y electromecánico con una duración que va desde microsegundos hasta segundos. Ejemplo de sus aplicaciones incluye sobrevoltajes en switcheo y descargas, coordinación de aislamiento, oscilación de defasamiento (shift torsional oscillation), ferresonancia, control y operación de convertidores HVDC.

Para utilizar el EMTP se requiere antes seguir la siguiente metodología :

- 1) *Determinar la amplitud de la red a analizar.*
- 2) *Desarrollo de equivalentes para las partes de la red las cuales fueron omitidas en el modelo.*
- 3) *Determinar el nivel de operación de cada dispositivo.*
- 4) *Obtener la información numérica para construir los modelos del dispositivo.*
- 5) *La creación de un archivo EMTP que contenga la descripción de cada dispositivo en la red de acuerdo al orden de las reglas del manual del EMTP.*
- 6) *Correr el EMTP para solucionar el modelo y llegar a un acuerdo, teniendo como salida un archivo binario o en código ASCII.*
- 7) *Correr una salida para procesar algunos archivos producidos.*

Es importante señalar que los puntos del 1 al 4, requieren de un profesional de la ingeniería bien relacionado con los fenómenos estudiados. Estos pasos son los mismos que se desarrollaron para un modelo de la TNA.

Y finalmente en el paso 7 del proceso, es donde la computadora, ha generado un impacto significativo en el estudio de un modelo llevado a cabo por el EMTP.

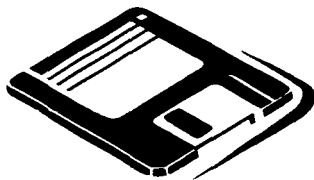


Fig. 5-2

5.1.2 Aplicaciones del EMTP.

Dentro de la amplia gama de aplicaciones que actualmente tiene el EMTP, tenemos las siguientes:

I. ORIGENES DE DISTURBIOS OCASIONADOS POR OPERACIONES DE CONMUTACIÓN (SWITCHING).

- Determinación.
- Probabilidad.
- Recierre, cambio de polaridad.
- Recierre instantáneo.
- Transitorio por capacitor.
- Recuperación de voltaje en transitorios.

II. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (LIGHTNING SURGES)

- Descargas inducidas.

III. COORDINACION DE AISLAMIENTO.

- Sobre líneas.
- Aislamiento de subestaciones de gas.

IV. SOBRE VOLTAJE DC (HVDC).

- Controles.
- Transitorios.
- Armónicas.

V. ARMONICAS.

- Características de respuesta en frecuencia.
- Distorsión de corriente y voltaje.

VI. FERRORESONANCIA.

VII. RESONANCIA LINEA PARALELA.

VIII. ARRANQUE DE MOTOR.

IX. FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

X. COMPENSACION ESTATICA

- Controles.
- Sobre voltajes.
- Armónicas.

XI. SISTEMAS DE TIERRAS.

XII. TRANSPOSICIÓN DEL CONDUCTOR DE FASE.

XIII. ANALISIS GENERAL EN ESTADO ESTABLE DE SISTEMAS DESEQUILIBRADOS.

En general la mayoría de los programas actualmente utilizados para dar solución a problemas de sistemas de potencia, básicamente siguen los mismos lineamientos que el EMTP, con algunas muy leves variantes.

5.2 BASES DE DATOS.

Primeramente tenemos que mencionar que para la captura de datos relativos al funcionamiento de un sistema de potencia, tenemos que contar con una serie de instrumentos de medición idóneos para cada caso y una vez que tengamos la información ésta puede ser almacenada en una base de datos, la cual contenga toda la información requerida para la toma de decisiones acerca del caso específico al cual nos estamos refiriendo.

Actualmente los monitores de disturbio, los cuales una vez detectado el problema, almacenan la información como sólo una cuenta, como una descripción completa, o ambas y finalmente estos datos se reportan ya sea como una sola cuenta de eventos acumulada o como una descripción completa de c/u de los disturbios registrados.

Por otro lado la habilidad para capturar, almacenar y reportar formas de onda, han convertido a estos dispositivos como uno de los medios más efectivos en lo que respecta a la solución de problemas de calidad en sistemas de potencia.

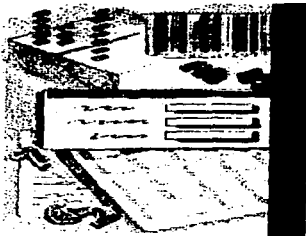


Fig. 5-3

Actualmente se dispone de programas de cómputo basados en el conocimiento y de sistemas expertos para el registro y análisis de datos recolectados durante las visitas técnicas realizadas para verificar la calidad de potencia en el sitio. Estos sistemas utilizan tanto la información proporcionada en un principio por el usuario, como las lecturas de los instrumentos de medición. Y es aquí donde tanto los sistemas expertos basados en instrumentos, como los independientes utilizan los datos codificados de tal manera que se procesan los datos y se entrega un reporte que nos servirá para la toma de decisiones.

Los datos obtenidos por medición y los obtenidos por respuesta del usuario se registran en medios de almacenaje en masa. Aunque una técnica muy común es almacenar los datos en una base, la cual puede ser accedida por el sistema experto o por el usuario.

Los sistemas expertos para el análisis de la calidad de la potencia difieren en enfoque y profundidad, ya que por un lado éstos sistemas están diseñados para auxiliar en la medición de datos específicos, incluyendo uno o más tipos de disturbios de potencia; y por otro lado los sistemas expertos independientes de instrumento tienen un alcance más amplio pero menos profundo en relación al análisis.

CAPÍTULO 6
ESPECIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS
Y MATERIALES

6.1 DISPOSITIVOS COMÚNMENTE UTILIZADOS PARA MEJORAR LA POTENCIA.

La Tabla 6-1 da una descripción resumida de los dispositivos más comúnmente utilizados para mejorar la potencia, y la Fig. 6-1 muestra un resumen de las características de comportamiento de varios tipos de equipos acondicionadores de potencia

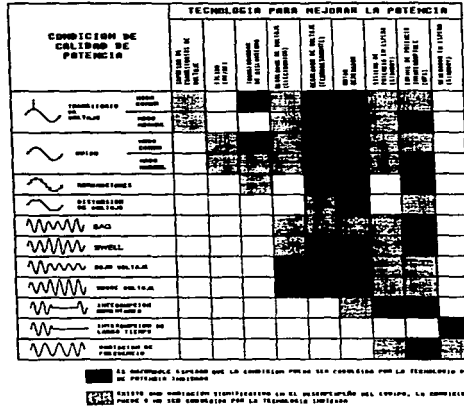


Fig. 6-1

No obstante antes de hacer la selección del equipo que mejore la potencia, se debe considerar los siguiente:

- 1) ¿Es realmente la calidad de la potencia un problema? Una pobre calidad en la potencia es solo una de muchas razones para tener problemas de operación con cargas críticas. Ejemplos de otros problemas que pueden interferir con la apropiada operación de una carga crítica incluyen los problemas en el software y hardware dentro del sistema, temperatura, y humedad más allá de los límites de la carga crítica, descargas electrostáticas, alambrado y puesta a tierra inapropiados, y errores operacionales. Se deben conocer los requerimientos de la calidad de la potencia de la carga.

Tabla 6-1
Resumen de Dispositivos que Mejoran la Potencia

Dispositivo y Funciones Principales	Descripción General
<u>Transformadores de Aislamiento</u> Atenua las perturbaciones en los conductores de la fuente de potencia Proporciona un punto local de referencia a tierra. Con taps, permite la compensación de la caída de voltaje en estado estable en los alimentadores.	Transformador con devanados primario y secundario físicamente diferentes. Con frecuencia tienen una o múltiples pantallas electrostáticas para reducir más aún el ruido de modo común.
<u>Filtros de Ruido</u> Reducción del ruido en modo común y transverso variando la atenuación y el ancho de banda con diseño de filtro.	Inductores serie con capacitores en paralelo. Buenos para ruido de alta frecuencia y baja energía.
<u>Filtros de Armónicas</u> Reducción de corrientes armónicas de entrada en las cargas cercanas, que pueden causar calentamiento de conductores de potencia, transformadores, motores, etc.	Inductores serie con trampa de armónicas para prevenir que las armónicas se alimenten de regreso a la línea.
<u>Supresores de Ondas</u> Divide o atrapa (clamp) a las ondas. Varios tipos de supresores están disponibles para limitar los voltajes en el circuito.	Los dispositivos típicos son del tipo pata de cabra como horquillas, tubos de descarga de gas, y del tipo resistivos no lineales como válvulas de tirta, diodos de avalancha, y varistores de óxido metálico. También disponibles son los supresores activos que son capaces de atrapar, o limitar, ondas independientemente de donde en la onda senoidal de potencia ocurre la onda. Estos dispositivos no afectan en forma importante el consumo de energía.
<u>Reguladores de Voltaje</u> Proporcionan un nivel de voltaje de salida relativamente constante en estado estable para un cierto rango de voltajes de entrada.	Una diversidad de técnicas para la regulación del voltaje son utilizadas. Las más comunes incluyen transformadores ferromagnéticos saturables, transformadores con switcheo de taps electrónico, y reguladores de reactor saturable.
<u>Acondicionadores de Potencia</u> Más frecuentemente un producto que proporciona tanto regulación como reducción de ruido. Algunos productos proporcionan métodos múltiples de reducción de ruidos por ej. transformador y filtro, pero no regulación.	Transformador ferromagnético blindado o transformadores con cambiador de taps, incluyendo supresores de ondas y filtros.
<u>Sintetizador Magnético</u> Regulación de voltaje, atenuación de ondas y de ruido de modo común y transverso, y corrección de distorsión del voltaje.	Dispositivo trifásico, basado en la ferromagnética que genera un voltaje de salida combinando pulsos de múltiples transformadores saturables para formar una forma de onda con forma de escalera.
<u>Motor-Generador</u> Regulación de voltaje, eliminación de ruidos, y corrección de la forma de la onda por distorsión de voltaje.	Más frecuentemente dos dispositivos separados, un motor y un alternador (generador), interconectados por una flecha u otro medio mecánico.
<u>Sistemas de Respaldo (Standby)</u> Inversor y batería de respaldo, operando como UPS, cuando falla la potencia normal. En modo de standby, la carga se alimenta desde la compañía suministradora.	Un inversor al que se le conmuta la carga una vez que falla la compañía suministradora. La potencia se pierde durante un instante cuando ocurre la transferencia hacia y desde la compañía suministradora. Usualmente formada por un inversor de estado sólido, batería, y un pequeño cargador de batería.
<u>Fuentes Ininterrumpibles de Potencia (UPS)</u> Mantiene la alimentación de voltaje regulado, forma de la onda, violación de ruido/onda durante un periodo de tiempo después de que falla la potencia.	Las más comunes usan tecnología interactiva con la línea o rectificador/inversor. Una batería alimenta la potencia al inversor durante la pérdida de la potencia de entrada.

- (2) ¿Que tipo de perturbaciones de potencia se están presentando? Para determinar que tipo de acondicionamiento se requiere. Además, de la calidad de la potencia actual, se debe considerar, con alguna anticipación, la calidad y confiabilidad futura del suministro de potencia.
- ¿Que nivel de gastos está justificado para eliminar o mitigar los problemas relacionados con la potencia? Se debe hacer una estimación del costo asociado con las perturbaciones. Este incluye el valor del daño al hardware, la información que se pierde, la pérdida de productividad, y los errores de procesamiento.

6.2 TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO.

Los transformadores de aislamiento son uno de los dispositivos más ampliamente utilizados para mejorar la potencia. La Fig. 6-2 muestra la configuración de uno de ellos.

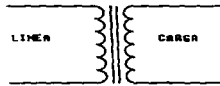


Fig. 6-2

Tienen dos devanados separados: el primario (de entrada) y el secundario (de salida). Proporcionan varias funciones. Una es la habilidad para transformar o cambiar el nivel de voltaje entrada-salida y/o compensar por alto o bajo voltaje en el sitio. En forma típica, los 480 V se distribuyen hasta el punto de utilización y luego se transforman a 120/208 V. Otra función de los devanados separados es proporcionar un lugar para establecer la referencia a tierra de la potencia cerca del punto de utilización. Esto reduce enormemente el ruido de modo común inducido a través de los lazos de tierra o de las múltiples trayectorias de corriente en el circuito de tierra aguas arriba del punto de establecimiento de referencia a tierra (Vea el Capítulo 2 Fundamentos). Estos dispositivos pasivos introducen una distorsión mínima en la fuente de entrada. Además, pueden reducir las corrientes armónicas alimentadas hacia la fuente por las cargas trifásicas no lineales. Cuando se usa un transformador de aislamiento con el primario en delta y el secundario en estrella para alimentar una carga tal como un rectificador, las corrientes armónicas triples circulan en la delta del primario, de tal suerte, que no son vistas por la fuente de potencia (compañía suministradora).

Para el propósito del acondicionamiento de la potencia, los transformadores de aislamiento deben equiparse con escudos electrostáticos (Faraday) entre los devanados primario y secundario como se muestra en la Fig. 6-3. Un escudo electrostático es una hoja conductora de material no magnético (cobre o aluminio) conectada a tierra, que reduce el efecto del acoplamiento capacitivo entre los devanados primario y secundario y mejora la habilidad del transformador para aislar su carga del ruido de modo común presente en la fuente de potencia de entrada. Los escudos sencillos agregan poco al costo, al tamaño, o al peso del transformador.

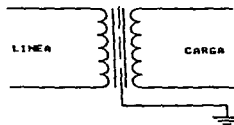


Fig. 6-3

Existen transformadores especialmente acondicionados, conocidos como super aislantes o ultra aislantes, que están equipados con escudos adicionales alrededor de cada devanado para reducir aun más el ruido de modo común de la compañía suministradora por 140 dB o más. Sin embargo, esto se hace a expensas de introducir una reactancia adicional, con lo que se tiene una regulación del voltaje degradada cuando cambia la carga, y costos más altos que los de los transformadores de aislamiento con escudos sencillos. Estos transformadores no proporcionan desacople de las perturbaciones de modo transverso.

Los transformadores de aislamiento no proporcionan ninguna regulación de voltaje y, de hecho, causarán una degradación adicional de la regulación de voltaje debido a su impedancia en serie. Como se estableció arriba, el blindaje tiende a afectar inversamente la regulación. Los transformadores de aislamiento tienden a ser muy eficientes (95-98%) así que generan poco calor y son relativamente silenciosos y se pueden obtener en contenedores que son adecuados para su instalación en salas de cómputo.

Los transformadores de aislamiento se pueden instalar en forma separada o con transformadores de distribución de potencia. Los transformadores de aislamiento con interruptores de distribución tienen la ventaja de poder ubicarse muy cerca de la carga crítica. Esta configuración permite usar cables de potencia muy cortos, lo que limita la cantidad de ruido que se puede acoplar a ellos. Otras ventajas adicionales de estas unidades son una supresión extra de ondas y ruido, distribución integrada, monitoréo, y cables de salida flexibles que proporcionan un reacomodamiento más simple del sistema.

6.3 FILTROS.

Los filtros en línea tienen la función de reducir la interferencia electromagnética y la interferencia por radio frecuencia. La Fig. 6-4 muestra una representación de un tipo de filtro LC.

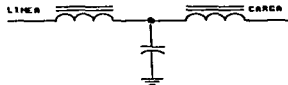


Fig. 6-4

6.3.1 Filtros contra Ruido.

Los filtros se pueden usar para prevenir interferencia de ondas viajeras hacia el equipo que vienen de la fuente de potencia así como también previene al equipo que genera interferencia de alimentarla hacia atrás, hacia la línea de potencia. La mayoría de los equipos electrónicos sensibles tienen alguna forma de filtros para limitar el ruido de alta frecuencia. La forma más simple de un filtro es un filtro pasa baja diseñado para dejar pasar el voltaje de 60 Hz y bloquear las frecuencias muy altas o las ondas con frentes muy escarpados. Estos dispositivos contienen inductores en serie seguidos de capacitores a tierra. El inductor forma una trayectoria de baja impedancia para la potencia de la compañía suministradora de 60 Hz, pero una trayectoria de muy alta impedancia para el ruido de alta frecuencia. El capacitor conduce el ruido de alta frecuencia restante antes de que alcance la carga. Los filtros RFI no son efectivos para frecuencias cerca de 60 Hz, tales como las de las armónicas de bajo orden.

Los filtros pueden conectarse entre fases o de fase a neutro para el rechazo de ruido en modo transverso. También se pueden conectar entre fase y neutro o entre fase y tierra o usarse junto con un transformador balun para reducir el ruido de modo común entre cualquiera de los conductores. Los filtros requieren de cierto grado de conocimientos para aplicarlos en forma

apropiada. Si no se usan en forma apropiada pueden producir un efecto resonante (ringing) que puede ser peor que el ruido que se intentaba filtrar con ellos. Por esta y otras razones, los filtros más grandes que los simples filtros contra la radio interferencia (RFI) se usan muy raramente como dispositivos acondicionadores que se agregan en línea.

6.3.2 Filtros de Corrientes Armónicas.

Los filtros de corrientes armónicas se usan para prevenir que las armónicas que provienen de las cargas electrónicas no lineales se introduzcan de regreso en el servicio de potencia donde causan calentamiento de conductores y transformadores y las correspondientes distorsiones de voltaje. Estos dispositivos pueden ser pequeñas unidades para cargas enchufables, o dispositivos más grandes para cargas pesadas. Una variante de este tipo de filtros se muestra en la Fig. 6-5. El filtro se coloca en serie con la carga y la trampa se sintoniza para la armónica predominante suministrando las corrientes armónicas requeridas por la carga. Estos filtros pueden ser muy efectivos para reducir las corrientes armónicas en su fuente y eliminando la necesidad de otros cambios para compensar los problemas causados por las armónicas.

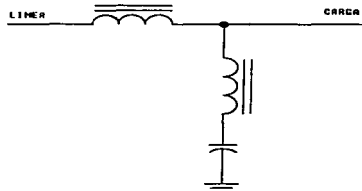


Fig. 6-5

6.4 SUPRESORES DE ONDAS.

Los supresores de ondas abarcan una amplia categoría de dispositivos desde los grandes, como los apartarrayos hasta los pequeños supresores usados para proteger los dispositivos enchufables. La protección contra ondas efectiva requiere el uso coordinado de dispositivos divisores de corriente de gran capacidad en la entrada del servicio seguidos de dispositivos progresivamente más pequeños que atrapan (clamp) el voltaje. Los dispositivos a la entrada están pensados para bajar el nivel de energía de una onda muy grande a un valor tal que pueda ser manejada por otros dispositivos más cerca de las cargas. Si no se tiene una coordinación bien hecha, el exceso de energía puede destruir los supresores instalados aguas abajo y dañar el equipo conectado.

Los supresores de ondas más pequeños son dispositivos generalmente simples, y de relativamente bajo costo. Usualmente contienen vanstores de óxido de metal, diodos de avalancha u otros dispositivos que atrapan (clamp) el voltaje y que se conectan a través de la línea de potencia, de la terminal del voltaje de una fase a otra, o a tierra. Los supresores absorben o desvían la energía de sus fuentes que excede el voltaje de umbral superior (típicamente 100% arriba del voltaje nominal). Debido a su tamaño pequeño y bajo costo comparados con el equipo que protegen y con el costo de determinar si tales ondas existen en una instalación dada (o aún si esta característica está ya interconstruida dentro de la propia computadora), se usan en forma

rutinaria como un seguro de bajo costo contra la posibilidad de que se presenten ondas severas. Muchos de los acondicionadores de potencia de alta calidad incluyen supresores. Ellos también se pueden agregar en los paneles de distribución si no se han incluido en alguna otra parte.

Los dispositivos de supresión de ondas se empacan en varios ensamblajes que frecuentemente incluyen receptáculos para varias cargas. Estas unidades se venden mas frecuentemente para su uso con pequeñas cargas monofásicas y están disponibles en una gran variedad de marcas de diferentes fabricantes. Las mejores unidades incluyen fusibles, capacidad contra ondas en la forma de corriente nominal, y soporte de servicio. La mayoría de las unidades de bajo costo tienen una habilidad limitada para sobrevivir y proteger la carga ante ondas grandes. El dispositivo de protección puede fallar sin que se tenga ninguna indicación de que la unidad ya no funciona.

6.5 REGULADORES DE VOLTAJE.

La mayoría de las perturbaciones de baja frecuencia, excepto la falta de energía, se puede manejar con una aplicación adecuada de un regulador de voltaje. En la actualidad existen varios tipos de reguladores de voltaje. Los dispositivos de estado sólido, tales como los transformadores de voltaje constante y los cambiadores de tap, son los que se usan hoy en día en forma casi exclusiva, más que los del tipo electromecánico que son más lentos para actuar.

Los primeros reguladores electromecánicos generalmente tienen un moto-operador que mueve un tap deslizante en el transformador. Estos reguladores de inducción son lo suficientemente rápidos para seguir los cambios de voltaje que se presentan durante el día o en forma estacional debido a la conexión y desconexión de cargas en forma estable. No obstante éstas unidades no son adecuadas para proteger cargas electrónicas sensibles contra las variaciones rápidas de voltaje.

6.5.1 Cambiadores de Taps.

Los reguladores de respuesta rápida se dividen en dos clases genéricas, cambiadores de taps, y de carga e incremento (buck-boost). El primero es el regulador cambiador de taps mostrado en la Fig. 6-6. Los cambiadores de taps se diseñan para ajustar los voltajes variables de entrada transfiriendo taps en un transformador de potencia (ya sea del tipo aislador o autotransformador) en el punto de corriente cero de la onda de salida. Algunos modelos hacen el cambio de tap cuando el voltaje pasa por cero, lo que causa que se genere un transitorio excepto cuando la carga tiene un factor de potencia de uno. Con las unidades del tipo que conmutan el voltaje, se debe determinar la magnitud del transitorio con las condiciones de carga reales. El número de taps determina la magnitud de los pasos y el rango de regulación posible. Un regulador de buena calidad tendrá cuando menos 4 taps abajo del normal y 2 taps arriba del normal para un total de 7 pasos. Los taps son generalmente pasos de entre 4 y 10%, dependiendo de los diseños específicos. El tiempo de respuesta es usualmente de 1 a 2 ciclos y está limitado a esa velocidad debido al criterio de hacer la conmutación con corriente cero. Un tiempo de sensado práctico y la estabilidad del sistema de control limitan típicamente el tiempo completo de corrección a 3-5 ciclos.

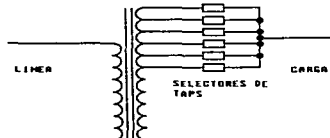


Fig 6-6

Una ventaja importante del cambiador de taps es que su única impedancia es la del transformador o autotransformador y la de los switchs de conmutación. Introduce poca distorsión armónica cuando opera en estado estable y minimiza los disturbios inducidos en la carga en comparación con los reguladores con impedancia serie más grande. También tiene una capacidad de sobrecarga por corto tiempo que será útil para el inrush durante el arranque. En su configuración usual con un transformador de aislamiento y una amplia capacidad de bajo voltaje, proporciona tanto aislamiento para ruido en modo común como regulación.

6.5.2 Tipo Cargar-Empujar (Buck-Boost).

La segunda clase de reguladores de respuesta rápida es el tipo electrónico buck-boost (Fig. 6-7). Utiliza un control tiristorizado de transformadores buck-boost en combinación con filtros paramétricos para proporcionar una salida digital aún con cargas no lineales típicas de sistemas de cómputo. Esto se hace de una manera suave y continua, eliminando los pasos inherentes en el cambiador de taps. Pueden entregar las corrientes de inrush típicas de arranque de los procesadores centrales de computadoras o de motores de unidades de discos a la vez que casi mantienen el voltaje pleno. Las unidades pueden estar unidas a la entrada, con un transformador de aislamiento con escudos electrostáticos que proporcionan la reducción de voltaje y atenuación del ruido de modo común cuando sea necesario. La potencia se alimenta al regulador, que agrega o resta pasos del voltaje de llegada de tal manera que el voltaje de salida se mantiene constante para variaciones del 15 al 20% del voltaje de entrada. Esto se hace comparando el voltaje de salida con el nivel deseado (ajuste, referencia) y usando una retroalimentación para modificar el nivel de incremento (boost) o de resta (buck) de tal manera que se mantiene el nivel deseado. Un filtro paramétrico proporciona una trayectoria para las corrientes no lineales generadas por la carga y por el propio regulador y además produce una onda senoidal de salida con muy bajo factor de distorsión total.

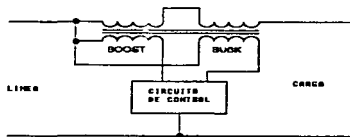


Fig. 6-7

6.5.3 Tipo Transformador de Voltaje Constante (Ferroresonante).

Un tipo común de regulador es el transformador ferroresonante o de voltaje constante (Constant Voltage Transformer / CVT). La Fig. 6-8 representa una topología de diseño de un regulador ferroresonante. Esta clase de regulador usa transformadores saturables con circuitos resonantes formados con la inductancia del transformador y un capacitor. El regulador mantiene un voltaje casi constante en la salida para un voltaje de entrada que oscila entre 20 y un 40%. Estas unidades son confiables porque no contienen partes electrónicas móviles o activas. Si estas unidades se construyen con aislamiento (y blindaje), pueden proporcionar una reducción para el ruido en modo común y proporcionar una fuente derivada por separado para una conexión local a tierra de la potencia. También atenúan el ruido en modo normal y las ondas de sobrevoltaje.

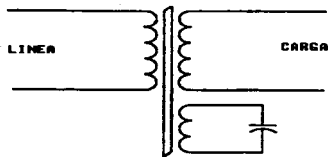


Fig. 6-8

Se requiere un análisis cuidadosos para las condiciones de sobrecarga. La corriente de carga tiende a causar que la unidad se salga de resonancia si se va muy arriba. A menudo estas unidades solo suministran entre 125 y 200% de su carga nominal plena. Si las corrientes de inrush o de arranque exceden estos límites, el voltaje de salida se reducirá en forma importante, lo que puede no ser compatible con algunas cargas. Los otros dispositivos en la salida del CVT verán este abatimiento temporal del voltaje (sag) y pueden hacer operar algunas protecciones debido al bajo voltaje. Estos dispositivos deben estar sobredimensionados si se espera que ellos proporcionen las corrientes de arranque o de inrush grandes.

Los transformadores de voltaje constante drenan corriente todo el tiempo. Esta corriente se debe al circuito resonante y causa que estas unidades sean menos eficientes con cargas bajas, en comparación con otros tipos de reguladores. Algunas de estas unidades son muy ruidosas y requieren empacarse en contenedores (enclosure) antes de que sean instaladas en una oficina.

6.6 ACONDICIONADORES DE POTENCIA.

Los acondicionadores de potencia típicos combinan una o más de las tecnologías básicas para mejorar la potencia y proporcionar una protección más completa contra las perturbaciones en la potencia. Algunos acondicionadores combinan las características de reducción de ruido de los transformadores de aislamiento o de los dispositivos de filtraje, con reguladores de voltaje. Estas unidades proporcionan una fuente local derivada con aislamiento a la vez que proporcionan regulación de voltaje. Los acondicionadores de potencia avanzados también incorporan supresores de ondas para atrapar (clamp) ondas de alto voltaje, que el solo filtraje no las controla.

6.6.1 Sintetizador Magnético.

Otra tecnología basada en la ferorresonancia es el sintetizador magnético (Fig. 6-9). Estas unidades consisten de inductores no lineales y capacitores en un circuito resonante en paralelo con transformadores saturables de seis pulsos (six saturating pulse transformers). Estas unidades drenan potencia de la fuente y generan su onda de voltaje de salida combinando los pulsos saturables de los transformadores en una forma de onda escalonada. Proporcionan rechazo a las ondas y al ruido y regulan el voltaje de salida dentro de un 10% para oscilaciones grandes en la entrada, de hasta más o menos 50%. Estas unidades incorporan, generalmente, blindaje dentro de los transformadores de pulso para atenuar las perturbaciones de modo común. Se incluye filtraje adicional para eliminar las armónicas auto inducidas. Este filtraje puede manejar un nivel razonable de distorsión armónica en la entrada o en la salida como sea inducido por las cargas no lineales. El circuito se sintoniza al voltaje de salida y a la frecuencia a nominales.

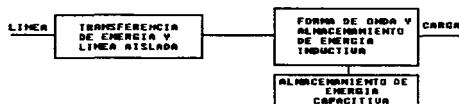


Fig. 6-9

El regulador tiene una característica limitadora de corriente inherente que limita la corriente máxima a pleno voltaje al rango de 150 a 200% del nominal. Más allá de esa carga, el voltaje cae rápidamente produciendo corrientes típicas entre 200 y 300% en corto circuito. Esto es una limitante ante corrientes grandes de arranque o de inrush. Cambios súbitos de cargas grandes, aún dentro del valor nominal de las unidades, pueden causar transitorios importantes en el voltaje y en la frecuencia en la salida en este tipo de acondicionadores. Estas unidades se aplican mejor cuando la carga no cambia en grandes pasos.

El circuito sintonizado tiene energía almacenada y por lo tanto, funcionará a través de las pérdidas de potencia en la entrada de un medio ciclo o un poco más, siempre que la pérdida de voltaje no se deba a una falla cercana a la entrada, lo que podría drenar la energía almacenada. Los sintetizadores magnéticos tienden a ser grandes y pesados debido a la parte magnética involucrada y pueden ser acústicamente ruidosos si no se les acondiciona un empaque especial. Algunas de las unidades más grandes despliegan buenas eficiencia en tanto operen cerca de la carga plena. Dependiendo del diseño, el sintetizador puede introducir alguna distorsión en la corriente en su entrada, debido a sus elementos no lineales.

6.6.2 Grupo Motor-Generador.

Los grupos motor-generador (M-G) proporcionan la función de un acondicionador de línea y también pueden proporcionar la conversión de la frecuencia de entrada a una diferente frecuencia requerida por la carga. La Fig. 6-10 muestra una configuración de un M-G. Ejemplos de estos grupos son los convertidores de frecuencia de 50 a 60 Hz, o de 60 a 415 Hz. Estas unidades consisten de un motor eléctrico energizado desde la fuente de la compañía suministradora que impulsa un generador que suministra voltaje a la carga. El motor y el generador están acoplados por una flecha o por bandas. Este acoplamiento totalmente mecánico entre la entrada y la salida permite que el grupo M-G proporcione un aislamiento total al ruido entre la fuente de potencia y la carga. Los sistemas prácticos M-G incluyen un circuito de desvío (bypass) que puede reducir este aislamiento total.



Fig 6-10

Los grupos M-G aislados por una flecha o por bandas se usan ampliamente como una fuente de potencia de 415 Hz para alimentar computadores grandes que requieren esta frecuencia. Debido a que la tolerancia en frecuencia es amplia, se puede utilizar un solo motor de inducción

de 60 Hz para impulsar el generador o alternador síncrono sin escobillas. El motor de inducción es el menos caro entre los diversos tipos utilizados con estos dispositivos. Este tipo de motor no gira a la misma velocidad que el campo giratorio generado por la potencia de entrada. La velocidad a la que gira el motor cambia con la carga y con las variaciones del voltaje de entrada. Como la frecuencia del generador es función de la velocidad de su flecha, la frecuencia de salida varía con la velocidad del motor. El voltaje de salida se mantiene controlando la excitación del devanado de campo del generador y es independiente de los pequeños cambios en la velocidad del motor.

Sin embargo, para una salida de 60 Hz, la tolerancia de la carga a la frecuencia puede ser mucho más crítica. Las computadoras generalmente requieren más o menos 0.5 Hz de variación, lo cual puede lograrse usando diseños con bajo deslizamiento en el motor de inducción. En las aplicaciones más críticas, se requiere un motor síncrono para impulsar un generador, de tal suerte que la frecuencia de salida sea la misma que la de la compañía suministradora. Los grupos M-G totalmente síncronos mantienen también sus salidas prácticamente en fase con la fuente de la compañía suministradora. Esto hace posible la transferencia sin interrupción entre el grupo M-G y la compañía suministradora durante mantenimientos.

Los grupos M-G protegen a la carga de los sags, swells, y ondas del voltaje. Para cambios en el voltaje de línea de más o menos 20 a 50%, el voltaje en la carga se mantiene aún en el valor nominal. Una característica útil de un grupo M-G es su habilidad para librar severos sags y pérdidas de voltaje de corta duración. El momento rotacional de los elementos rotatorios permite al grupo M-G aguantar pérdidas de voltaje momentáneas de alrededor de 0.3 segundos. El tiempo de paso del grupo M-G se puede ver afectado si la desconexión de la potencia se dio a una cierta distancia del acondicionador, de forma tal, que aparezca como un corto circuito virtual en la entrada en virtud de las otras cargas conectadas a la misma fuente. Parte de la energía rotatoria almacenada en el grupo se puede perder por la acción de freno dinámico del motor. El factor que limita es la caída de la velocidad de la flecha que pueda ser tolerada a medida que la energía es removida del grupo M-G. Este período puede ser extendido agregando inercia vía un volante. Tiempo para sobrepasar disturbios de varios segundos se pueden lograr con volantes grandes.

Además se dispone de productos que son capaces de mantener la frecuencia de salida aún cuando la velocidad de la flecha vaya bajando. Estos dispositivos no tienen polos fijos en el generador. En su lugar, los polos son creados o escritos a medida que el dispositivo rueda. Cuando se pierde la potencia en la entrada y la velocidad de la flecha empieza a caer, el espaciado entre los polos se reduce y su número se incrementa de tal suerte que la frecuencia permanezca constante. Con este método se logran tiempos lo suficientemente amplios como para sobrepasar disturbios que son bastante más largos que en otros dispositivos con la misma energía rotacional.

Otra forma de grupo M-G se le conoce como transformador rotatorio. Estas unidades tienen un rotor común con dos estatores. Uno es el estator del motor y el otro es el estator del generador. Estas son unidades compactas que han demostrado excelente eficiencia. Una desventaja de este diseño es que no proporcionan el mismo nivel de aislamiento contra el ruido y las ondas de sobrevoltaje entre la entrada y la salida como lo hacen los grupos M-G convencionales. El ruido tiene una trayectoria a través de la unidad debido al acoplamiento entre los dos estatores que están generalmente devanados uno arriba del otro.

Los grupos M-G tienden a ser más caros que otros tipos de equipos acondicionadores. Generalmente son físicamente más grandes y pesados. Dependiendo del diseño, la eficiencia del grupo M-G puede ser relativamente baja de tal suerte que los costos de la energía eléctrica sobre su vida útil pueden llegar a ser importantes. Los tipos de transformador rotatorio, así como algunas de las unidades estándar más grandes, presentan mejor comportamiento en esta área. Los grupos M-G tienden a ser ruidosos y requieren entornos a prueba para hacerlos adecuados en instalaciones en salas de cómputo. Los grupos M-G no introducen distorsión medible en la corriente de su fuente de entrada y tienen la ventaja adicional de bajar el nivel total de distorsión por el hecho de aislar la compañía suministradora de los requerimientos de corriente armónica de las cargas alimentadas por el generador.

6.6.3 Centros de Potencia para Cómputo.

Un centro de potencia para cómputo es un dispositivo que proporciona un método conveniente para la distribución de potencia eléctrica a muchos dispositivos sin la necesidad de un penoso alambrado, y forma una fuente derivada por separado para la conexión local a tierra. Es esencial un gabinete con un cable flexible de entrada, un transformador de aislamiento, interruptores de distribución, y cables flexibles para las cargas. Estos últimos terminan con conectores de apareamiento (hembra/macho) para la conexión directa a los equipos. Algunos fabricantes incluyen acondicionadores de potencia tales como cambiadores de taps, grupos M-G, y sintetizadores internos en el centro de potencia para mejorar aún más, el comportamiento.

El centro de potencia de cómputo reduce enormemente el tiempo requerido para instalar el sistema de cómputo promedio y permite una relativamente fácil reubicación del equipo en comparación con los métodos de alambrado. Esto se puede traducir en un ahorro importante en costo y en tiempo. El aislamiento proporcionado por el transformador (o grupo M-G) en el centro de potencia permite la creación de una tierra local para mejorar mucho la confiabilidad del sistema.

Las unidades con acondicionadores de potencia internos se pueden utilizar para reducir los efectos de líneas de distribución largas desde el equipo acondicionador de potencia central y de la fuente ininterrumpible de potencia (UPS). El efecto de las corrientes armónicas introducidas en la fuente de potencia es función del tipo de acondicionador usado en el centro de potencia.

6.6.4 Sistemas de Potencia en Standby (Tipo Batería-Inversor).

Los sistemas de potencia en standby son aquellos sistemas de potencia en los cuales la carga es normalmente alimentada por entrada de la compañía suministradora. La Fig. 6-11 muestra una configuración del sistema en standby.

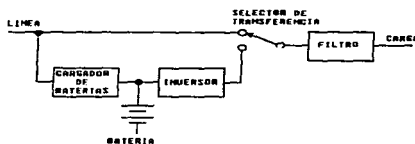


Fig 6-11

El sistema en standby solo suministra la carga cuando no se tiene disponible una fuente satisfactoria de la compañía suministradora. Estos sistemas de potencia están pensados para cargas que pueden tolerar la pérdida momentánea de potencia durante la transferencia. Vienen en diversas configuraciones que utilizan diferentes tecnologías, y se usan para una diversidad de cargas que van desde computadoras personales hasta alumbrado de emergencia. La forma más simple de un sistema en standby tiene, durante su operación normal, la carga conectada a la fuente de la compañía suministradora a través de un switch de transferencia. En el caso de falla de la compañía suministradora, la carga se transfiere a un inversor que genera potencia de CA de una calidad satisfactoria para soportar la carga. El inversor es alimentado desde una batería que se ha mantenido a plena carga desde una unidad rectificadora que se

alimenta de la fuente de la compañía suministradora. El diseño de este tipo de suministro permite varias estrategias económicas :

- Primera, el inversor no soporta la carga en forma continua. Solo tiene que operar durante las fallas en la alimentación de la compañía suministradora o hasta que se agoten las baterías. Este período es generalmente de unos 15 minutos o menos.
- Segunda, la sección rectificadora solo tiene que ser capaz de recargar la batería y no de soportar la plena carga del inversor.

La eficiencia durante la operación normal de este tipo de unidades es alta ya que la carga se suministra desde la compañía suministradora durante la operación normal. Las pérdidas son aquellas asociadas con el elemento acondicionador (si se usa), rectificador, e inversor, si de hecho está operando mientras la línea está fuera. Un importante requisito de este tipo de unidades es que tenga la habilidad para sensar todos los tipos de falla de potencia y transfiera la carga al inversor sin una inaceptablemente larga pérdida de la potencia de entrada a la carga. Estas unidades son generalmente exitosas para alimentar sistemas que tienen fuentes de poder que pueden tolerar interrupciones cortas en su alimentación. Se emplean con frecuencia con cargas que utilizan fuentes de poder del modo switch, que frecuentemente no requieren voltajes regulados a la entrada y que son tolerantes a pérdidas momentáneas de potencia durante la transferencia. Además, se pueden utilizar switches electrónicos (estáticos) rápidos para reducir el tiempo de transición.

El siguiente nivel de sofisticación involucra el uso de acondicionadores de línea en serie con la carga para proporcionar un acondicionamiento del voltaje de la compañía suministradora durante la operación normal. El acondicionador puede ser de cualesquiera de los tipos que ya se discutieron. Algunos fabricantes aprovechan la excesiva capacidad de filtraje de algunos de los acondicionadores, como el transformador ferromagnético, el sintetizador magnético, y el grupo M-G. La capacidad de filtraje les permite usar un circuito inversor muy simple que genera ondas cuadradas en oposición a las ondas senoidales. El acondicionador de línea está en el circuito todo el tiempo y proporciona acondicionamiento a la salida del inversor así como también a la compañía suministradora durante operación normal. Una potencia de salida regulada se puede lograr con este método si el acondicionador tiene suficiente capacidad para sobrelevar la potencia de la carga durante el tiempo de interrupción.

Otra variante de esta topología es una que tiene un cambiador de derivaciones que alimenta a la carga, y un inversor que, durante la operación normal, se usa como rectificador para mantener la carga de la batería. Cuando falla la fuente de poder, el inversor desplaza rápidamente la fase para empezar a tomar potencia de la batería y suministrar la carga a través del transformador cambiador de taps.

6.7 FUENTES ININTERRUMPIBLES DE POTENCIA (UPS'S).

Las UPS's están pensadas para proporcionar a la salida una potencia regulada independientemente de la condición de la fuente de poder a la entrada, incluyendo todas las salidas de la potencia (pérdidas de voltaje). Las UPS's vienen en una diversidad de configuraciones y utilizan varias tecnologías. Las categorías principales son UPS's rotatorias y estáticas.

6.7.1 UPS Rotatoria.

Una UPS rotatoria o M-G, consiste de un acondicionador de línea rotatorio modificado para recibir potencia de una batería cuando la potencia de la compañía suministradora no se encuentra disponible. Se usan tres métodos principales para proporcionar este comportamiento ininterrumpible.

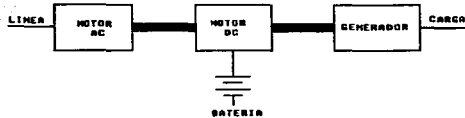


Fig 6-12

Un método involucra la adición de un motor de CA cuando la potencia de la compañía suministradora no puede ya soportar la carga. Estos motores pueden estar en la misma flecha que el resto del M-G o se pueden conectar con bandas. Las baterías se pueden recargar con un cargador de estado sólido o directamente del motor de CD. Esto se lleva a cabo controlando la corriente de campo para cambiar la función del motor de CD a la de un generador. Este método reduce la complejidad del sistema pero el motor de CD generalmente experimenta un desgaste rápido de las escobillas cuando se opera en vacío.

Otro método involucra un M-G con un motor de CD que impulsa un alternador (Fig. 6-13). La CD para el motor se deriva de un rectificador de estado sólido que también carga las baterías del sistema. El diagrama unificar de esta fuente se ve muy similar a la de una UPS de estado sólido, excepto que el inversor de estado sólido ha sido reemplazado con un inversor rotatorio.

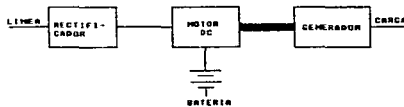


Fig. 6-13

El otro método común involucra el uso de un impulsor inversor - estático / motor para alimentar potencia de CA al motor durante los momentos en que falta la energía de la compañía suministradora (Fig. 6-14). Cuando se pierde la potencia de la compañía suministradora, el inversor convierte la potencia de las baterías en 60 Hz que se le suministran al motor. Esta conmutación se lleva a cabo durante el tiempo que proporciona la inercia del M-G para pasar la interrupción de la compañía suministradora. El inversor se puede usar como cargador de baterías durante el tiempo que la CA de la compañía suministradora este disponible para cargar la batería. También se pueden usar cargadores de baterías separados para realizar esta función.

Generalmente se incluye un switch de transferencia con la UPS rotatoria. Estos switches pueden ser de estado sólido o estrictamente mecánicos. El switch transfiere la carga a la compañía suministradora para mantenimiento de la UPS o durante una falla dentro de la propia UPS. Con grupos M-G sincrónicos, la transferencia se puede hacer en cualquier momento debido a la inherente cercano desplazamiento de las fases de la salida con las de la fuente de la compañía suministradora.

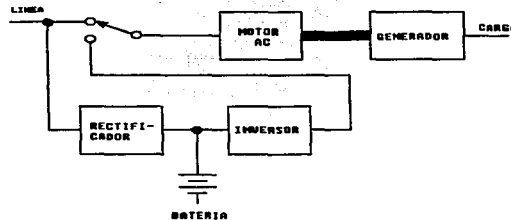


Fig 6-14

La cantidad de distorsión de corriente introducida por la UPS rotatoria es función del diseño. Las unidades sin rectificador de estado sólido no introducen armónicas en la fuente y pueden realmente reducir aquellas que ya están ahí debido a otras cargas no lineales que comparten el mismo servicio de entrada. Las unidades con rectificadores que solo se usan para cargar las baterías introducirán generalmente una importante distorsión en la corriente durante la recarga de la batería y solo una pequeña cantidad después de que las baterías han sido cargadas. Las UPSs rotatorias que tienen un rectificador alimentando un motor de CD introducirán una distorsión en la corriente en base al tipo de rectificador y cantidad de filtraje proporcionado. Estas unidades son equivalentes a las UPSs estáticas que utilizan secciones de rectificación similares.

6.7.2 UPS Estática.

La UPS estática es un dispositivo de estado sólido que proporciona potencia continua a las cargas críticas. Las UPSs estáticas caen en dos diseños básicos: rectificador/cargador, mostrada en la Fig. 6-15(a), e interactiva con la línea, mostrada en la Fig. 6-15(b)

En la UPS con rectificador/cargador (o de doble conversión), primero se convierte la potencia de entrada a CD. La CD se usa para cargar las baterías y para operar constantemente el inversor a plena carga. En la UPS interactiva con la línea (o de una conversión), la potencia de la compañía suministradora no se convierte a CD sino que se alimenta directamente a la carga crítica a través de un inductor o transformador. La regulación y la continua alimentación de la potencia a la carga crítica se logra a través del uso de elementos de conmutación del inversor en combinación con componentes magnéticas del inversor, tales como inductores, transformadores lineales, o transformadores ferromagnéticos.

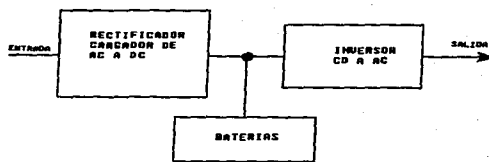


Fig 6-15(a)

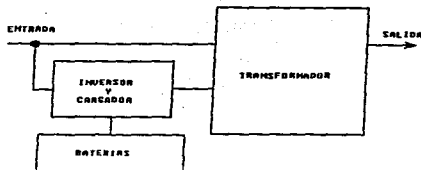


Fig. 6-15(b)

También cabe mencionar que algunos sistemas tienen controles relativamente complicados en el inversor y son capaces de proporcionar una regulación en el voltaje de salida. En este caso el inversor controla su faseo y ciclo de trabajo para cargar la batería y para proporcionar una componente de voltaje que ha de sumarse en el transformador. El término UPS interactiva con la línea viene del hecho que el inversor interactúa con la línea de CA para cargar, aumentar, o reemplazar la potencia de CA de entrada según sea necesario para mantener el control del voltaje.

CAPÍTULO 7
PRÁCTICAS RECOMENDADAS

7.1 SEGURIDAD.

La seguridad eléctrica es una consideración que está por encima de todos los trabajos de diseño, siendo considerados todos los demás aspectos de trabajo como de importancia secundaria al problema de la seguridad. La seguridad está gobernada básicamente por los códigos y estándares eléctricos que sean adoptados por las agencias del gobierno, entidades comerciales, y buen juicio por la parte de la persona que diseña.

En aquellos casos donde exista más de una alternativa de diseño para el comportamiento y/o la seguridad, tal como se describe en los diversos códigos y estándares que se pueden aplicar a una situación dada, se deberá dar preferencia a aquella que haya sido adoptada como optima por las autoridades gubernamentales que tienen jurisdicción sobre el trabajo. La siguiente prioridad la deben tener los requerimientos eléctricos no gubernamentales aplicables (es decir, estándares internos ó corporativos, así como las instrucciones del fabricante). Estos requerimientos son seguidos en prioridad por aquellas prácticas de seguridad eléctrica recomendadas que permanecen y son gobernadas por el buen juicio y experiencia de la ingeniería.

Los malos entendidos que surjan de la interpretación de los requerimientos, códigos, o estándares de seguridad eléctrica impuestos por el gobierno, se deben decidir siempre apelando a la autoridad gubernamental haciendo valer el requerimiento del sujeto, código o estándar. Cuidando de que estos asuntos no se resuelvan por un consenso ad hoc (a propósito), por personas no calificadas, o personas con un conflicto de interés potencial.

En general, el equipo que no se puede hacer operar de una manera satisfactoria cumpliendo con los requerimientos de seguridad eléctricos aplicables, no será adecuado para su uso en aplicaciones normales. Considerando tal inhabilidad como un defecto del equipo considerado, y como tal, el equipo debe ser modificado por el fabricante original del equipo (OEM: Original Equipment Manufacturer), ó por personal de ingeniería autorizado por el OEM de tal forma que se garantice la realización del trabajo de manera segura.

Por otro lado ningún equipo debe ser puesto en servicio si está alambreado de manera insegura o si está instalado de alguna otra forma que no sea segura.

El usar exclusivamente equipo eléctrico y electrónico que está cubierto por una prueba o listado de seguridad del producto es, generalmente, la primera línea de defensa contra problemas de seguridad eléctrica. Con muy pocas excepciones, también se requiere usar equipo listado por los códigos eléctricos, tales como el NEC. La agencia que elabora la lista requiere que el equipo anotado sea compatible con los códigos eléctricos aplicables. El equipo en la lista debe ser utilizado únicamente para la aplicación específica para la cual se mencionó en la lista.

7.2 COMPORTAMIENTO.

El comportamiento de equipo electrónico está con frecuencia asociado muy de cerca con el método de instalación del equipo, siendo de particular interés a este respecto los requerimientos para la alimentación externa y la conexión a tierra del equipo conectado. Las incompatibilidades entre el equipo y la tierra del sistema de CA son los problemas de alambreado eléctrico más comunes que se han encontrado, además de que existen grandes variantes entre los requerimientos de los fabricantes, para éstos parámetros de instalación. Tanto es así que en ciertos casos, los requerimientos de un fabricante entran en conflicto con los requerimientos de seguridad aplicables para la instalación. Pero debemos recordar que cuando se presenta esta situación, los requerimientos de seguridad deben tener prioridad sobre el comportamiento del equipo.

7.3 SELECCIÓN DEL VOLTAJE.

La selección del voltaje de suministro de CA empieza, por lo general, con el voltaje en la entrada de servicio (SE) de la instalación. Generalmente es deseable escoger un voltaje a la entrada del servicio y en la distribución interior que sea más alto que el nivel de utilización del

equipo de 208 o 120 V de CA, ya que voltajes más grandes (por ej. 408 VCA) son menos susceptibles, en principio, a los disturbios generados, y son generalmente más estables que los sistemas de voltajes más bajos cuando están derivados del mismo alimentador de distribución de la compañía suministradora.

Entre más alto sea el voltaje del sistema de suministro mayor será, generalmente, el nivel de corto circuito como resultado de una menor (y más baja) impedancia en serie entre el suministro de la compañía suministradora y las cargas alimentadas. Un voltaje más alto también beneficia al usuario en términos de menos A/KVA y más kVA/\$. Las eficiencias totales mejoran en los sistemas de alambrado de voltaje más alto, debido a que las caídas IZ son menores y a que otras consideraciones relacionadas con las pérdidas también son menores, son por estas razones que se hace deseable que los voltajes de distribución sean más altos.

7.4 FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE.

Los equipos electrónicos modernos tienden a ser cargas no lineales, y requieren corrientes con picos altos con su correspondiente factor de cresta grande en los circuitos que les suministran CA. Estas cargas son capaces de crear una importante distorsión en la forma de la onda del voltaje, y cuando se combinan, pueden afectar las premisas de integridad del sistema de distribución eléctrico. Y en algunos casos, puede haber un efecto local considerable en el sistema de distribución de la compañía suministradora.

En ciertas situaciones, los sistemas de cargas electrónicas pueden no ser la causa real de los problemas de distorsión del voltaje, sino más bien, pueden ser la víctima. Esta situación ocurre generalmente cuando un equipo grande no lineal, distorsiona la forma de onda del voltaje de un circuito de alimentación a un edificio y provocando que todas las otras cargas de los edificios vecinos se ven afectadas.

7.5 ALAMBRADO TIERRAS DE LAS SALAS DE CÓMPUTO.

Actualmente con la creación de salas de cómputo que cumplan con los requerimientos del NEC, Artículo 645, permite a la persona encargada de diseñar, el utilizar métodos de alambrado flexible dentro del cuarto que de otra manera no serían permitidos. Para más información relacionada con el diseño se puede consultar la norma ANSI/NFPA 780-1992. La cual a grandes rasgos podemos decir que proporciona definiciones específicas de cables de interconexión y otros conceptos usados en conjunto con el NEC, y numerosos referencias también importantes del NFPA. El estándar ANSI/NFPA 75-1992 no se aplica en otras áreas que no sean salas diseñadas para cómputo y sus áreas de soporte directamente relacionadas. Es una práctica recomendada que una sala de cómputo, sea creada y mantenida (de acuerdo con las descripciones en el NEC Artículo 645, y ANSI/NFPA 75-1992) en lugares donde se vayan a instalar grandes sistemas electrónicos sensibles o sistemas de procesamiento de datos. Del mismo modo otro estándar importante a mencionar es el UL 1959-1989 el cual nos proporciona listas de equipos: acondicionadores de potencia, distribución y control, los cuales están:

- (1) Conectados a los ramales (no alimentadores) de menos de 600 VCA nominales.
- (2) No instalados como una parte de las premisas de los sistemas mecánicos o eléctricos
- (3) Instalados solo como una parte listada en UL 1950-1989: computadoras electrónicas y/o sistemas de procesamiento de información, los cuales están formados por un sólo o varios proveedores de equipos eléctricos o electrónicos.

La UL 1950-1989 contiene también una lista de requerimientos para todos los cables de interconexión de las unidades en la lista de computadoras electrónicas y sistemas de procesamiento de información. Se establece que los ensambles de alambres y los cables de interconexión listados en este estándar sean específicamente adecuados para su instalación

dentro del espacio bajo un piso falso, con o sin el espacio utilizado para calefacción, ventilación, acondicionamiento de aire, ó flujo de aire para enfriamiento del proceso .

7.6 CIRCUITOS DEDICADOS Y CIRCUITOS COMPARTIDOS.

Cuando se suministra potencia eléctrica, es práctica común tener cargas de una variedad ilimitada que comparten el circuito alimentador o el ramal. Este método se basa en la economía como razón principal, y normalmente existe poco temor de que las cargas sean incompatibles en el circuito compartido. Sin embargo, este no es el caso con una carga de equipos electrónicos donde las interacciones indeseables pueden causar problemas de comportamiento y de confiabilidad. El compartir una línea común, el neutro, o las trayectorias del conductor de tierra por múltiples cargas electrónicas, puede producir interacciones indeseables.

7.6.1 Formas Típicas de Interacciones Indeseables en Circuitos Compartidos.

Una forma de interacción indeseable es cuando una carga falla y causa la operación del dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito de suministro de la CA, dejando sin alimentación a todas las cargas que comparten el circuito. Otras formas de interacción indeseable pueden ser complejas y difíciles de diagnosticar. Dichas situaciones incluyen con frecuencia, sensibilidad de posición, en la que las cargas se pueden mover de sitio en un circuito compartido para encontrar posiciones compatibles ó incompatibles. Voltajes y corrientes transitorios indeseables pueden aparecer en los puntos de derivación en ensambles de multi-receptáculo en respuesta a efectos de $L \frac{di}{dt}$. Tales eventos se inician frecuentemente con una operación de conmutación en el sistema de suministro de CA y por los efectos de corrientes de descargas atmosféricas.

7.6.2 Circuitos Dedicados para Carga.

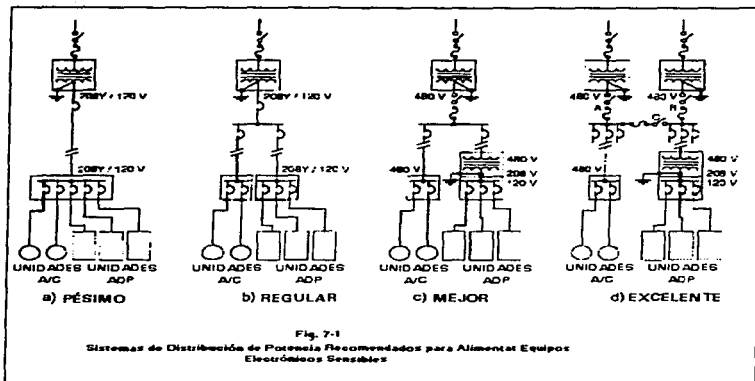
La práctica recomendada para el diseño del sistema de alambrado para cargas electrónicas sensibles, consiste en separar clases de cargas no similares y colocarlas en alimentadores y ramales dedicados (exclusivos), y no combinarlos excepto cuando sean compatibles. El equipo de soporte (por ej. Calefacción, ventilación, aire acondicionado, y equipo de enfriamiento de proceso) se debe alimentar vía un circuito separado y un sistema ramal que venga de un tablero (Fig. 7-1).

7.7 ALIMENTADORES.

Los alimentadores no se usan para conectar directamente equipo de carga, pero se usan para brindar una trayectoria para la potencia entre una fuente y un punto de distribución ó transformación. Los alimentadores también se usan entre puntos de distribución, como tableros, o paneles y desconectores. Los alimentadores pueden ser bastante grandes, y son capaces generalmente de entregar corrientes de falla grandes en condiciones de corto circuito que involucran tierra. Por lo tanto se debe poner mucha atención al control de las caídas de voltaje en estos circuitos y de una conexión apropiada a tierra.

7.7.1 Caídas de voltaje en los Alimentadores.

Las caídas de voltaje en los alimentadores que energizan cargas electrónicas sensibles (o equipo asociado de acondicionamiento de potencia) no deben pasar del 2% bajo las condiciones reales de la carga conectada.



7.7.2 Valores Nominales de las Corrientes en los Alimentadores.

El equipo electrónico típico generalmente está operando en forma continua, no lineal, y regulando el voltaje en forma automática. Por lo tanto, los alimentadores que sirven este tipo de cargas deben tener valores nominales para las corrientes más altas asociadas (debido a la característica de carga inversa voltaje-corriente) y a las corrientes de neutro (debidas a las características no lineales).

7.7.3 Configuraciones en Busway.

Un busway dedicado (sin taps) y completamente encerrado, es la práctica recomendada. Este diseño evita los problemas que frecuentemente resultan de la múltiple conexión de cargas al mismo alimentador a lo largo de su longitud y que pueden interactuar vía las impedancias del alambrado comúnmente compartido. Si se usa un busway compartido (con taps), entonces también se debe configurar por separado una fuente derivada en cada tap que alimenta equipo sensible.

7.8 RAMALES.

Se denomina como ramal de un sistema de distribución ala interfaz final entre el límite del sistema de alambrado y el equipo (la carga).

Ahora bien en lo referente a las *caídas de voltaje en los circuitos ramales* que sirven cargas sensibles no deben exceder al 1% del voltaje de línea.

Además de que para tener un comportamiento aceptable es recomendable el proporcionar un *Blindaje en los Circuitos Ramales*; esto es, se recomienda que los ramales sean instalados en conduits y charolas (raceways) metálicos continuamente blindados.

7.9 CONTROL DE ARMÓNICAS.

La práctica recomendada es que todo el sistema de distribución que se quiere usar con equipo electrónico sensible sea diseñado de acuerdo a las guías del IEEE 519-1992: cuyo propósito es de recomendar los límites sobre distorsión armónica, de acuerdo con dos criterios:

- Existe una limitación en la cantidad de corriente armónica que un consumidor puede inyectar a la red de la compañía suministradora.
- Existe una limitación en el nivel de voltaje armónico que una compañía suministradora puede entregar a un consumidor.

7.9.1 Límites de Corriente.

Los límites de corriente se basan en el tamaño de la planta del consumidor en relación al tamaño de la red de suministro.

Este tamaño relativo se define como la relación de cortocircuito (SCR / Short Circuit Rate), en el punto de acoplamiento común (PCC / Point Coupling Common), el cual es sitio donde la carga del consumidor se conecta con otras cargas en el sistema de potencia. El tamaño de la planta del consumidor se define como la corriente a frecuencia fundamental en la Carga I_L , que incluye todas las cargas ya sean lineales o no. El tamaño del sistema de suministro se define por el nivel de la corriente de cortocircuito, I_{sc} , en el PCC. Esto es:

$$SCR = I_{sc} / I_L$$

Una relación alta significa que la carga es relativamente pequeña y esos límites de corriente no serán tan estrictos como los pertenecientes a una relación baja. Esto se demuestra en la tabla 7.9.1, la cual enumera los niveles de distorsión de corriente máximos recomendados como una función de la SCR y el orden de la armónica. La tabla también identifica los niveles de distorsión armónica total (THD). Observe que los valores mostrados son para sistemas cuyos voltajes están entre 2.4 y 69 kV

SCR	Orden de las armónicas (armónicas impares)						THD
	≤ 11	$11 < h \leq 17$	$17 < h \leq 23$	$23 < h \leq 35$	$35 < n$		
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0	
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0	
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0	
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0	
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0	

Tabla 7.9.1

La norma, mostrada en la tabla anterior fija los límites de corriente para las componentes armónicas individuales también como para distorsión armónica total. Por ejemplo un consumidor con una SCR entre 50 y 100 tiene un límite recomendado de 12% para THD mientras que para componente armónicas impares individuales con órdenes de menores de 11, el límite sobre cada una es de 10%. Es importante notar que las componentes de corriente armónica individual no se suman directamente. Esto significa que todas las armónicas características no pueden estar en su límite máximo individual sin exceder el THD.

También es importante mencionar que las armónicas pares dan como resultado una onda de corriente asimétrica (Formas de onda positiva y negativa distintas) la cual puede contener una componente de CD que saturará los núcleos magnéticos. Para equipo de generación de potencia eléctrica, la norma no reconoce tamaño relativo, los límites son más estrictos y se limitan a los niveles más bajos mostrados en la tabla. Esto es que toda la generación de potencia tiene un SCR de 20 o menos. La tabla anterior indica límites recomendados para voltajes clase 69kV y menores. De 69kV hasta 138kV los límites son 50% de los mostrados en la tabla. Esto significa que un PCC en 138kV tiene un límite de 10% en THD, independientemente de la potencia de la fuente de 138kV. Arriba de 138kV se requiere de una evaluación por caso.

7.9.2 Límites de Voltaje.

El segundo conjunto de criterios establecidos por la norma, es para límites de distorsión de voltaje. Estos gobiernan el monto de distorsión de voltaje que es aceptable en el voltaje de suministro de servicio en el PCC con un consumidor. Los límites de voltaje armónico recomendados se basan en los niveles que son suficientemente bajos para asegurar que los equipos de los consumidores operen satisfactoriamente. La tabla 7.9.2 en lista los límites de distorsión de voltaje de la norma.

	Voltaje de Distorsión Armónica en % en el PCC		
	23 x 69 kV	69 x 138 kV	x 138 kV
Máximo para Armónicas Individuales	3.0	1.5	1.0
Distorsión Armónica Total	5.0	2.5	1.5

Tabla 7.9.2

Así como para la corriente, en este caso los límites se imponen para componentes individuales y sobre distorsión total de todos los voltajes armónicos combinados (THD). Lo que es diferente en esta tabla es que se muestran tres clases de voltaje, hasta 69 kV, de 69 kV hasta 138 kV e igual o mayor a 138 kV. Nótese que los límites disminuyen al parejo que los voltajes aumentan, lo mismo que sucede para los límites de corriente. De nuevo en la tabla solo se muestran los límites para armónicas impares. La generación de armónicas pares se restringe más, ya que el offset de CD resultante puede causar saturación en motores y transformadores. De igual modo que la corriente de secuencia negativa puede causar calentamiento en generadores. El voltaje armónico par individual se limita a 25% de los límites de las armónicas impares, el mismo límite para las corrientes. Frecuentemente los alimentadores dan servicio a más de un consumidor; por lo tanto los límites de distorsión mostrados en la tabla no deben excederse mientras todos los consumidores estén dentro de los límites de inyección de corriente. Cualquier consumidor que degrade el voltaje en el PCC deberá tomar medidas pertinentes para corregir el problema. Sin embargo el problema de distorsión de voltaje resulta ser el mismo para la comunidad entera tanto para consumidores como para la compañía suministradora. Entonces los consumidores muy grandes pueden llegar a un acuerdo con la compañía suministradora, sobre la resolución de un problema específico y ambos contribuir con su propia solución.

7.10 MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA.

Dependiendo de las diferentes combinaciones de la naturaleza de las cargas (resistivas, inductivas y capacitivas), el ángulo de defasamiento podría ser mayor o menor de 45° adelantado o atrasado según el tipo de carga que prevaleciera, sin embargo, generalmente es atrasado y

cercano su valor a 0° pues no es permitido tener un factor de potencias menor de 0.85 ya que, de acuerdo con el artículo 5° del Reglamento para el Suministro de Energía Eléctrica, el consumidor está obligado a mantener un factor de potencia tan aproximado a 1 como sea práctico so pena de pagar un recargo por cada KVA, extra que se le suministra para una demanda dada, en caso de que el factor de potencia sea menor de 0.85.

Por lo expuesto anteriormente y haciendo notar que normalmente se tiene una carga resistiva inductiva dando origen la segunda a un ángulo de defasamiento, corregir el factor potencia, consiste en calcular la potencia de un Banco de Capacitores para reducir dicho ángulo hasta un valor recomendable para así, poder aprovechar al máximo la potencia aparente que es proporcionada por la compañía suministradora de energía eléctrica y con ello disminuir las pérdidas por efecto Joule y el pago de energía.

Por lo tanto puede ser necesario corregir los factores de potencia bajos producidos por la utilización general y por el equipo electrónico. La corrección del factor de potencia debe ser aplicada directamente en o cerca de la entrada del servicio de la instalación debido a la economía y facilidad de diseño. Esta recomendación se aplica particularmente en sitios donde las cargas no lineales se tienen en grandes proporciones y producen una considerable cantidad de armónicas. Ahora bien el punto en donde la compañía suministradora factura al sistema industrial, el impacto de los capacitores es reducir el consumo de energía, mejorar el factor de potencia y reducir los picos de demanda. Los capacitores dentro de una red industrial también reducen la caída de voltaje a través de los alimentadores y transformadores de suministro y liberan la capacidad desde el capacitor hasta la fuente. La economía dicta por lo regular el uso de capacitores de corrección del factor de potencia independientemente del uso de convertidores estáticos de potencia. Una reducción en pérdidas de energía debidas a que el flujo de potencia reactiva baja y un incremento en el voltaje puede justificar el uso de capacitores, aún donde no hay penalización por bajo factor de potencia.

Para determinar el total de los capacitores a instalar y que proporción debe ser switchado, se necesitan datos sobre el perfil de cargas reactivas y las tarifas por parte de la compañía suministradora. Para las instalaciones que están siendo planeadas, las necesidades reactivas se pueden estimar de una demanda reactiva de las cargas individuales propuestas y un perfil de su utilización. Para plantas ya construidas, se pueden utilizar datos de registradores de VAR's.

Si el costo de los capacitores instalados fuera independiente del tamaño del banco y del voltaje, los capacitores podrían ser diseminados por toda la red cerca de las cargas que consumen VAR's. Por ejemplo un capacitor puede ser instalado en cada motor de inducción y conmutado junto con el motor. Sin embargo, el costo instalado de bancos de capacitores, en pesos por KVAR's es una función del tamaño del banco y del voltaje.

El costo por KVAR generalmente disminuye proporcionalmente conforme aumentan el voltaje y tamaño del banco. Mas aún hay un costo asociado con los dispositivos interruptores, consecuentemente. Por lo general, los capacitores solo se aplican en puntos seleccionados del sistema.

En sistemas industriales con convertidores estáticos de potencia, los procedimientos de aplicación normal se deberán usar para determinar el tamaño y localización de los capacitores. Esto incluye consideración del factor de potencia, caída de voltaje, capacidad liberada, tanfas, estructuras, etc. Además se debe llevar a cabo un estudio de armónicas para determinar si habrá problemas de resonancia o de sobrecarga de capacitores debido a las corrientes armónicas inyectadas. Para sistemas sencillos, es útil aplicar las reglas ya mencionadas. Para sistemas más complejos puede ser necesario ejecutar un estudio detallado utilizando un programa de flujo de carga armónica o algunos otros programas de análisis.

7.11 CONEXIÓN A TIERRA EN GENERAL.

Todos los objetos metálicos en las premisas que encierren conductores eléctricos o que probablemente sean afectados por corrientes eléctricas (tales como: fallas en los circuitos, descargas electrostáticas, y descargas atmosféricas) deben ser conectados efectivamente a tierra por razones de: seguridad del personal, reducción del riesgo de fuego, protección propia y

comportamiento del equipo. Al conectar sólidamente a tierra estos objetos metálicos, se facilitará la operación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente (falla a tierra), y permitirá el retorno de las corrientes en una forma apropiada provenientes de los filtros de EMI y supresores de ondas, conectados entre fase y tierra ó línea y chasis.

7.11.1 Hacer Anotaciones en Planos Mecánicos y Eléctricos.

Se recomienda que todas las conexiones y uniones a tierra para los sistemas de tuberías metálicas sean anotadas en los planos mecánicos y eléctricos correspondientes. Los planos de los edificios existentes también se deben revisar buscando que los puntos de conexiones y uniones a tierra estén apropiadamente anotados.

7.11.2 Sistemas de Alimentación de CA Conectados Sólidamente a Tierra.

La práctica recomendada es utilizar siempre sistemas de alimentación de CA sólidamente aterizados que soporten cargas de equipos electrónicos sensibles. Todas las partes metálicas de los equipos tales como: gabinetes, cubiertas, conduits, charolas (raceways), conductores de puesta a tierra del equipo (EGCs: Equipment Grounding Conductor) y todos los electrodos de tierra se deben conectar sólidamente entre ellos para formar un sistema conductor eléctricamente continuo.

Todos los sistemas metálicos se deben interconectar sólidamente al sistema de tierras de la instalación eléctrica proporcionada a la entrada del servicio y de igual forma para cada sistema de CA derivado y conectado separadamente a tierra (SDS: Separately Derived CA System) que aparezca en la instalación. Los sistemas metálicos específicos mencionados anteriormente están compuestos por los sistemas de tuberías de agua fría principal e interior, el sistema de estructuras de acero del edificio, y otros electrodos de tierra que puedan estar presentes.

7.11.3 Conexión a Tierra de la Estructura de Acero de un Edificio.

En lugares donde esté accesible el acero estructural, éste debe ser conectado o unido a tierra para formar una masa única eléctricamente conductiva. La conexión a tierra y la unión pueden hacerse con medios, tales como soldadura, unión, remachado, o por medio de puentes a tierra o uniones a presión. También se recomienda conectar dicha estructura de acero al conductor de tierra del sistema de alimentación de CA en la entrada del servicio así como también al sistema conductor de tierras de los equipos y al sistema principal de tuberías (metálicas) de agua fría. El acero de la estructura del edificio debe ser conectado a tierra por uno o más de los medios siguientes:

- (1) Por un sistema de electrodo de tierra y puentes de tierra o de unión.
- (2) Por enterramiento directo o por el electrodo del acero de la estructura del edificio surgenido en concreto en los postes de los cimientos.
- (3) Por sistemas de electrodo con anillo enterrado y puentes de conexión a tierra o bien uniones a presión.

7.11.4 Sistema de Tierra con Electrodo y Anillo Enterrado.

Se recomienda que la instalación de cargas electrónicas sensibles sea proporcionada con un anillo de tierra enterrado. Este anillo de tierra debe ser comúnmente unido al sistema de la estructura de acero del edificio, a cualquier sistema de tuberías y el sistema de tierras que lo cruce. Tal unión debe ocurrir siempre en el punto más inmediato a la intersección entre el anillo de tierra y el elemento que se conecta a tierra, para limitar la inductancia de la conexión. El anillo de tierra enterrado también debe ser unido a los conductores inferiores de los apartarrayos y a cualquier electrodo de tierra o de pararrayos que pueda estar presente.

7.11.5 Unión a través de la Línea de Demarcación Interior/Exterior del Edificio y un Anillo de Acero Enterrado.

Los seis lados de un edificio (paredes, pisos y techos) generalmente forman la línea de demarcación para la conexión o unión a tierra de todos los elementos metálicos que se encuentran dentro o fuera de la estructura principal del edificio. Con frecuencia es conveniente hacer conexiones de baja inductancia a nivel de tierra, desde el anillo de tierra a los elementos metálicos anteriormente mencionados.

7.11.6 Conexión a Tierra de Equipo Mecánico en Áreas Electrónicas.

Todos los equipos mecánicos en las áreas de equipos electrónicos deben ser conectados a tierra en forma efectiva por seguridad eléctrica, para protección contra descargas atmosféricas, y para el control de ruido. Tal equipo (incluyendo la estructura, chasis, tuberías, ductos, conduits/charolas eléctricas) deben ser conectados a tierra o unidos a la estructura de acero del edificio usando medios de conexión de baja inductancia a tierra para alta frecuencia (HF).

Cuando se localizan en la misma área que el equipo electrónico sensible, el equipo mecánico debe ser unido a la misma referencia de tierra de HF que el equipo electrónico sensible. Se recomienda que los equipos de calefacción, ventilación, acondicionamiento de aire, equipo de enfriamiento del proceso, tuberías de metal y conductores eléctricos relacionados, sean unidos a la estructura de acero local de referencia de señal (SRS: Signal Reference Structure) donde está instalado el equipo electrónico.

7.11.7 Conduits, Charolas (Raceways), y Gabinetes (Enclosures) Eléctricos Asociados.

Para el propósito de blindaje, todos los conduits y charolas metálicos en aquellas áreas que contienen equipo electrónico sensible se deben unir para formar un conductor continuo, aunque se tenga o no, un conductor de tierra de los equipos por separado en el circuito.

También se recomienda colocar puentes de unión a través de las juntas de expansión bajo todas las condiciones posibles.

7.11.8 Conexión a Tierra de Servicios y Sistemas de CA.

Los servicios y sistemas de CA se conectan a tierra tanto por razones de seguridad eléctrica y seguridad ante incendios como también por razones de comportamiento en relación al control de ruido en modo común y de las corrientes de descargas atmosféricas. Ahora bien desde un punto de vista del comportamiento, cuando un sistema de CA está soportando equipo electrónico sensible, la práctica recomendada es conectar sólidamente a tierra el sistema de CA para asegurar la existencia de una trayectoria conductiva para la corriente de retorno de los filtros LC y de los supresores de ondas conectados entre línea y tierra o entre línea y chasis. También se recomienda diseñar una trayectoria para la más pequeña y razonable impedancia entre el equipo que contiene el filtro LC o TVSS y la fuente de suministro de CA asociada.

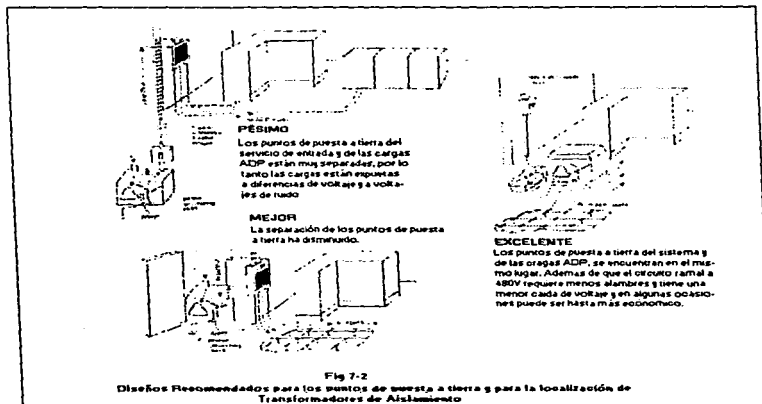
7.11.9 Conexión a Tierra de Fuentes de CA Derivadas en Forma Separada.

Si se va a instalar un transformador del tipo seco, o una fuente de CA similar (por ej. devanado inversor, alternador), su SDS (Sistema Derivado por Separado /Separately Derived System) se debe conectar a tierra a través del conductor de tierra del equipo y al acero estructural efectivamente aterrizado más cercano. Si no se tiene disponible acero estructural del edificio que esté efectivamente conectado a tierra, entonces el sistema de CA debe ser conectado al punto de conexión a tierra a la entrada del servicio.

7.11.10 Conexión a Tierra de un Sistema de CA Sólidamente Interconectado.

Quando dos sistemas de CA alimentan una salida común a través de arreglo de switch de transferencia, se deben utilizar formas de conexión a tierra sólidamente interconectadas de los sistemas de CA.

Además la interfaz recomendada para el arreglo de un sistema de CA sólidamente interconectado (con carga del tipo electrónica sensible) consiste de un transformador de aislamiento (IT / Isolation Transformer) localmente instalado y referido (Fig. 7-2). El IT es la forma de interfaz recomendada cuando dos sistemas de CA no están referenciados a la misma señal de tierra de HF como la que alimenta el equipo electrónico sensible.



7.11.11 Método de Conexión con Tierra Aislada (IG / Isolated Ground).

Esta forma IG de conexión a tierra solo se utiliza como un medio posible para obtener reducción de ruido eléctrico del modo común en un circuito determinado; y no tiene otro propósito, aunque sus efectos pueden ser variables. Los resultados del uso del método de IG van desde efectos no observables, efectos deseables, o condiciones de ruido peores a las que se tenían cuando se usaba la forma de conexión sólida a tierra (SG, Solid Ground) en el circuito con el equipo sensible.

El método de IG solo se aplica a sistemas de alambrado cubiertos metálicamente; no tiene un propósito especial en sistemas de alambrado no metálicos. Los sistemas de alambrado no metálicos están inherentemente contruidos como si ellos estuvieran aislados de tierra (IG), ya

que no involucren conduits o charolas en la trayectoria de alambrado para ser interconectado al EGC (Earth Grounding Conductor) del circuito.

Todos los sistemas de alambrado no metálicos (por ej. aquellos construidos con alambrado tipo "NM" (No Metálico) o conduits y/o charolas de plástico) y cajas de montaje no metálicas constituyen un diseño IG cuando se combina con la forma SG del receptáculo al final del circuito ramal. Una excepción es cuando el receptáculo del circuito está unido a tierra localmente a través de una trayectoria metálica que también es parte de la estructura de puesta a tierra del sitio.

El uso de cualquier forma no apropiada de electrodos de tierra, por ej. separada, aislada, dedicada, limpia, silenciosa, computadora, electrónica, u otras, como un punto de conexión del EGC no es recomendado. Estos esquemas de conexión a tierra IG no son apropiados, ya que no satisfacen los requerimientos del código para una tierra efectiva. La necesidad, generalmente percibida de un esquema de electrodo de tierra *aislado* en relación con el método de IG no se basa en una buena práctica de ingeniería, ya que los diseños con un electrodo de tierra con tierra aislada, no tienen medios para limitar el potencial desarrollado entre la impedancia que interviene en el medio de conexión a tierra comúnmente compartido, cuando se provoca la circulación de corriente a través de ella.

Como resultado, una descarga atmosférica puede crear condiciones de varios miles a decenas de miles de volts entre dos (o más) de esos electrodos de tierra. Las fallas a tierra en el sistema de CA pueden crear problemas similares en relación al voltaje nominal de fase a tierra del sistema y la magnitud de la corriente de falla.

Todos los conductores IG, deben ser instalados dentro del mismo conduit o charola como sus conductores de circuito asociados por toda la longitud del circuito involucrado. Las terminaciones de los conductores IG deben permanecer, en forma similar, dentro de la cubierta del equipo asociado. Se debe tener cuidado en esta recomendación ya que cualquier falla incrementará en forma importante la impedancia efectiva del EGC durante condiciones de falla.

Los receptáculos de los circuitos ramales en sistemas de alambrado metálicos pueden ser configurados en forma de circuitos IG. Esto requiere el uso de receptáculos IG en los cuales la punta de EGC es aislado del yugo de montaje de los dispositivos metálicos.

Se permite al diseñador elegir el punto entre la fuente de CA y el receptáculo IG relacionado, en el cual la punta de EGC y la charola /conduito metálico, se unen (Ver Fig7.3), se debe cuidar de que esta conexión sea hecha de acuerdo con las normas establecidas. En general las opciones para atornzar un receptáculo, están asociadas con el alambrado de circuitos ramales y alimentadores y son directamente asociadas con tableros de control, interruptores o sistemas fuente de CA para circuitos IG. Entonces un arregio puede ser continuado desde el receptáculo hasta un punto mas alejado de la fuente de CA del receptáculo original.

7.11.11.1 Procedimiento de Diseño Recomendado para Circuitos IG.

A continuación se establece una práctica recomendada para el diseño típico de las formas encontradas para circuitos ramales IG.

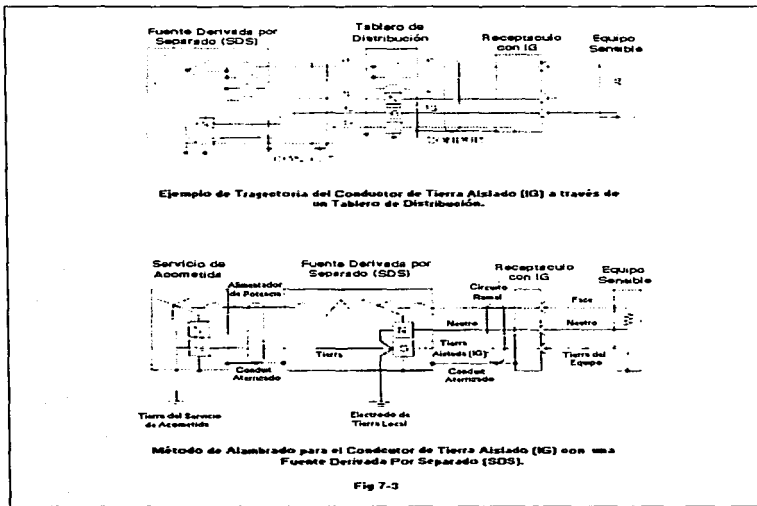
Los conductores IG de puesta a tierra del equipo deben ser de color verde con una línea longitudinal de color amarillo. Los conductores IG de color negro (típicamente de calibre superior al #6 AWG) deben ser marcados con una combinación de cintas de color verde y amarillo, colocadas una junto a la otra, en ambos extremos del conductor. Estas marcas en el conductor deben ser colocadas en todos los lugares visibles a lo largo del conductor.

Los circuitos de conexión directa que emplean conductores IG deben tener su charola o conduit metálico prominentemente y permanentemente identificado con un IG. Esta identificación puede ser hecha etiquetando con triángulo naranja o pintando ambos extremos del circuito con un color naranja. Los receptáculos IG en los circuitos ramales de salida también deben ser etiquetados con un triángulo naranja permanentemente estampado en la cara visible del receptáculo IG o bien puede ser pintado de color naranja.

Por otro lado interruptores y tableros de control pueden llegar a requerir terminaciones tanto IG como SG. Lógicamente la misma barra conductora no puede ser usada por ambos en

todas las condiciones (por ejem. donde los circuitos IG son continuados hacia fuera a través del tablero de control). Sin embargo si el panel de control es realmente el punto de terminación para el conductor IG, entonces es posible utilizar la misma barra para ambos conductores de IG y de SG (Solid Ground).

Una situación común se presenta donde los circuitos ramales son de estilos con IG y con SG, y ellos terminan dentro del mismo tablero de control, que contiene las protecciones contra sobrecorrientes para estos circuitos. En este caso, se pueden proporcionar, dentro del mismo tablero de control, las barras de tierra comunes o separadas para el conductor de IG y el de SG. El hecho de separar las barras facilita el hacer una conveniente medición de la corriente total del conductor de IG que va hacia el gabinete metálico vía un puente de a tierra (de baja inductancia) entre las barras.



7.11.12 Sistemas de Referencia a Tierra para Alta Frecuencia (HF).

Una SRS (Signal Reference Structure / Estructura de Referencia de Señal) debe ser empleado con la finalidad de proporcionar una buena referencia a tierra a Alta frecuencia (HF) para todos los equipos que se encuentran en zonas contiguas. También el SRS puede ser construido en forma de una rejilla (Grid) de referencia de señal (SRG / Signal Reference Grid / Rejilla de Referencia de Señal). El uso de un plano de referencia de señales (SRP / Signal Reference Plane) es recomendado para algunas aplicaciones donde el sistema objeto opera a Altas Frecuencias superiores a la frecuencia de corte del diseño típico SRG.

También son usuales ciertas formas híbridas de circuitos SRS que utilizan mezclas de SRG y SRP para cumplir con los requisitos de desempeño a Alta frecuencia (HF). Ellas son usadas donde se requiere de los beneficios de cada tipo, los cuales son necesarios para brindar soporte colectivo a las cargas electrónicas sensibles, las cuales son susceptibles a problemas relacionados con corrientes de ruido de modo común.

El aterrizamiento a Alta frecuencia (HF) de cables para señales de datos entre áreas (no contiguas) puede ser realizado a través de la utilización de conduits, soportes sólidos eléctricamente conductivos, charolas metálicas para cables (MCT / Metal Cable Tray) o formas similares de construcción, dichos artículos deben ser utilizados en complemento con trayectorias conductoras a tierra (p. ejem. uniéndolos a la estructura metálica del edificio o a la estructura metálica del piso falso).

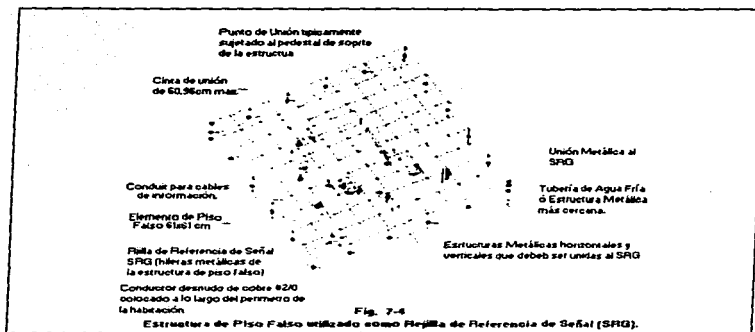
La práctica recomendada de referencia a Alta frecuencia (HF) para cargas electrónicas sensibles no involucra ningún sistema de electrodo o electrodos atenuados físicamente, excepto para seguridad contra sobrevoltajes y descargas atmosféricas.

El uso de una adecuada pantalla o una hoja sólida de metal es una forma ideal de un SRG, pero esto resulta demasiado caro. Sin embargo una forma más práctica consiste en el SRG, el cual es una práctica recomendada para grandes instalaciones de cargas electrónicas sensibles.

El SRG es típicamente configurado a través de la estructuras metálicas que se encuentran sosteniendo los pisos falsos (si es que se ha instalado dicho tipo de piso) o mediante una rejilla de alambres o cintas metálicas.

7.11.12.1 SRG construidos en estructuras de piso falso.

Un simple y efectivo SRG puede ser sujetando y acordonando (bolted-stringer) la estructura subterránea de los sistemas de pisos falsos (Fig 7.4). Este SRG puede ser efectivo para un amplio rango de frecuencias. Los cordones son centrados y separados a 60,96 cm (2 ft). Obteniendo así que la reactancia inductiva del arreglo resulte usualmente baja. La distancia de separación entre los elementos de la rejilla así como la baja reactancia inductiva se debe conservar de un lado al otro del SRG. Los tornillos que conectan los alambres deben de mantenerse apretados y libres de corrosión. La resistencia típica de junta de 500 mΩ puede ser obtenida mediante un torque apropiado de dichos tornillos de sujeción. Los pisos falsos que no tengan sistemas atomilados no son recomendados como un SRG. Todas las conexiones para esta forma SRG deben ser hechas sólidamente evitando así los problemas las resistencias inestables provocados por falsos conductos debido a la utilización de elementos aislantes, tales como las rondanas de plástico para tornillos en los pedestales. Una ventaja significativa de este tipo de SRG es la corta longitud de los cordones de sujeción para proteger el equipo y objetos metálicos relacionados.



7.11.12.2 SRS en una Tira Plana.

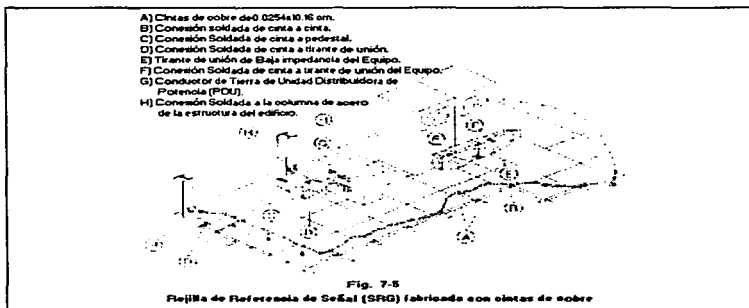
Algunos fabricantes proporcionan un SRG basado en tiras planas de cobre soldadas o sujetadas firmemente en sus uniones (Fig 7-5). Estos SRG's pueden ser prefabricados o ensamblados en el lugar y cuando las uniones son sujetadas o soldadas no se requiere de ningún mantenimiento de rutina. La rejilla cae directamente sobre el piso firme que soporta al piso falso, a su vez los cables de potencia y de datos caen sobre la rejilla. La ventaja de esta distribución geométrica es que la influencia de la energía radiada sobre los cables resulta mínima cuando estos están muy cerca del plano de tierra. Por otro lado entre más alta sea la capacitancia entre los cables y el SRG se incrementará la inmunidad al ruido de los cables protegidos ante campos eléctricos. Al igual que el mínimo espacio entre SRG's y cables también reduce la susceptibilidad a campos magnéticos. Una desventaja de esta forma de SRG es que se requieren largos tirantes de sujeción en comparación con el SRG basado en el piso falso. Además dos tiras de sujeción (de diferentes longitudes) por cada pieza del equipo en cuestión reducen substancialmente la impedancia de dicho tirante.

7.11.12.3 Conexión a Tierra del SRG

Los requerimientos de seguridad establecen que el SRG debe tener una conexión apropiada a tierra física. La conexión a tierra no tiene ninguna relación con el mejoramiento del comportamiento del sistema. Este es un punto importante que ha causado mucha confusión y ha traído como consecuencia prácticas de diseño deficientes.

La práctica recomendada por la mayoría de las industrias establece una tierra multipunto en el SRG la cual requiere que todos los objetos metálicos que cruzan el SRG sean conectados a ella. Esta recomendación incluye todo el fierro del edificio y otras trayectorias metálicas conductoras que se encuentren a 1.8288 m (6 ft) del SRG. Para el acero recubierto de concreto se requiere de una separación de 1.8288 m (6 ft), ya que por sus tiene características resulta inaccesible. En el caso de construcciones nuevas, estas vanillas recubiertas de concreto deben ser

conectadas al SRG. Haciendo notar que con esta forma de aterrizamiento sólo se requiere de un mínimo mantenimiento.



No obstante cabe la posibilidad de utilizar una forma de aterrizamiento en un punto único, aunque ésta no es una práctica muy recomendable, sin embargo es amplia y exitosamente utilizada por las compañías telefónicas para sus operaciones de switcheo digital, no obstante su mantenimiento es una preocupación real. La peor posibilidad de un sistema de aterrizamiento es tener un punto único para una área y conectarlo a un punto remoto ya que de esta manera se tendrá una trayectoria bien definida para una corriente de falla, por lo tanto el área requerirá un alto grado de protección.

Otra razón para no usar este sistema es la necesidad de alimentar áreas muy extensas con grandes fuentes de potencia teniendo cada una de ellas sus propias conexiones a tierra; las cuales al ser finalmente unidas, forman grandes e indeseables lazos de tierra que son otra fuente de ruido eléctrico.

7.11.12.4 Cintas de Unión de los Equipos al SRG.

El equipo electrónico sensible debe ser conectado al SRG con conductores de baja inductancia. Cintas lisas y delgadas son la práctica recomendada. Son importantes las conexiones tanto a la estructura del equipo, como a la tercer terminal de alimentación recomendada por el fabricante (Original Equipment Manufacturer). La pintura o cualquier otro inhibidor de contacto con la superficie debe ser removido antes de que las cintas de unión sean sujetadas, dichas cintas o tirantes deben ser tan cortas como sea posible con el fin de minimizar la inductancia reactiva. El uso de dos cintas es recomendado para reducir futuras reactivancias, dichas cintas no deben ser tan poco dobladas o enrolladas en un radio menor a 20.32 cm (8 in) para un mejor desempeño.

7.11.12.5 Resumen de las Prácticas Recomendadas para SRG's y su Instalación.

- 1) Seguir los códigos y estándares aplicables para un aterrizamiento con seguridad. Lo cual no debe ser razón de excusa entre un aterrizamiento de seguridad para el personal y un aterrizamiento efectivo para Alta Frecuencia (HF) para equipo electrónico sensible.
- 2) Seleccionar convenientemente el SRG, asegurándose de que sea instalado correctamente y que reciba el mantenimiento adecuado.
- 3) Conectar de manera permanente el SRG a todas las estructuras metálicas del edificio a las que se tenga acceso y también a cada trayectoria metálica que cruce el plano, o esté a una distancia de 1.8288 m. (6ft) del SRG.
- 4) Si existe un punto a la entrada del suministro de potencia eléctrica, a la cual llegan los cables de tierra entonces es aceptable el punto único de tierra para el área y la estructura metálica del edificio siempre y cuando este sistema de tierra sea verificado periódicamente por personal capacitado. El equipo sensible debe ser aterrizado en diversos puntos del SRG.
- 5) Unir cada uno de los Equipos Electrónicos Sensibles al SRG.
- 6) Las conexiones de unión al SRG deben ser lo más cortas posibles evitando los pliegues afilados o dobles.
- 7) Si más de un conductor de unión es usado, ellos deben ser conectados a partes separadas del equipo y a puntos separados del SRG.
- 8) Las conexiones del equipo electrónico sensible al SRG no deben ser hechas en la parte más exterior del conductor de la rejilla. No obstante el equipo de aire acondicionado, ventilación y calefacción, así como los paneles de control deben ser conectados a la parte más exterior del conductor de rejilla. El equipo importante debe ser localizado y conectado a una distancia mayor a 1.8288m. (6 ft) de la estructura metálica.
- 9) Todos los equipos de sistemas de servicios derivados localizados encima del SRG deben tener su propio punto de aterrizamiento (por ejemplo, conexión neutro-tierra) conectado al SRG.
- 10) Todos los equipos de enfriamiento, calefacción, ventilación y aire acondicionado, así como tuberías, tapas metálicas, tableros, interruptores, transformadores y equipo similar dentro del área protegida, deben estar conectados al SRG.
- 11) No se deben hacer conexiones a puntos de tierra física remotos o exclusivos a tierra física ni a cualquier otro trayectoria similar que divida las trayectorias a tierra física.
- 12) Todos los cables de datos y de potencia deben caer encima o lo más cerca posible del SRG.
- 13) La documentación debe ser completa en todos los detalles incluyendo el adecuado conexionamiento a tierra de los equipos de aire acondicionado, calefacción, ventilación, tuberías, charolas y artículos similares. El ingeniero responsable no debe encargar a los instaladores el completar el diseño.

7.11.12.6 SRS para Áreas No Contiguas.

El SRG resulta apropiado para áreas que son contiguas sin embargo si las áreas se encuentran muy distantes una de la otra el SRG resulta no práctico y en algunos casos hasta inefectivo. Por otro lado las charolas metálicas o conduits (que atraviesan zonas donde se utilizan equipos sensibles) que transportan los cables de potencia o de señal, deben ser aterrizados en ambos extremos y también en aquellos puntos considerados como críticos y localizados a lo largo de la trayectoria de las charolas o conduits. También la práctica recomendada consiste en equipar estas formas de SRS con dispositivos Supresores de Transitorios de Voltaje (TVSS/Transient Voltage Surge Suppressor). Sin embargo otros métodos (por ejemplo aisladores ópticos o transformadores balun) también pueden incrementar el ruido y las ondas inhibitorias para los circuitos de datos interconectados.

7.11.13 Resistencia e Impedancia del Electrodo de Tierra.

La práctica recomendada establece el valor de 25 Ω o menos para la conexión del electrodo de tierra, no obstante por otro lado resulta imposible el proporcionar los valores tan

pequeños como es el caso de 1Ω . La condición de 25Ω es únicamente para consideraciones de seguridad y no es adecuada para sus uso en HF.

El uso de electrodos de tierra y su significado con la conducción de corrientes de HF y es efectivamente catalogado como un descuido en el diseño; esto al revisar la relación de la impedancia de tierra con respecto al incremento de la frecuencia, ya que a frecuencias de algunas decenas de kHz, la impedancia del electrodo a tierra se vuelve considerablemente mayor con respecto a la frecuencia de 60 Hz.

Siendo característicos los valores de $1\text{ ó }5\Omega$ para bajas frecuencias. De cualquier modo estas no son consideradas como impedancias de HF y éstos valores ohmicos asociados a éstas frecuencias pueden ser consideradas como frecuencias de ruido en relación a los sistemas digitales electrónicos los cuales requieren una resistencia efectiva para frecuencia desde DC hasta $25\text{ ó }30\text{ MHz}$ y en algunos casos todavía a frecuencias mayores

Por otro lado la impedancia típica del conductor de electrodo a tierra se incrementa linealmente en función de la frecuencia razón por la cual se ven frustrados los esfuerzos del diseñador para encontrar valores de baja impedancia para el conductor de electrodo a tierra a altas frecuencias

7.11.14 Conexión a Tierra Recomendada para Sistemas de comunicación.

Es importante señalar que las conexiones a tierra y las conexiones de unión existentes entre telefonía, equipos para manejo de información, sistemas electrónicos de potencia, sistemas de seguridad y sistemas de tierras del edificio deben presentar una baja impedancia ya que de lo contrario cualquier falla que se presente podría provocar potenciales peligrosos entre el equipo de telefonía (o transmisión de datos) y demás artículos aterrizados con los cuales el personal podría estar cerca o en contacto con ellos.

Para cumplir con estas necesidades de aterrizamiento, los equipos de telefonía deben ser aterrizados lo más cerca posible de la estructura metálica del edificio o bien de la tubería de agua fría. Cabe mencionar que la fuente de alimentación para el equipo de telefonía debe ser localmente aterrizada a través de un seleccionador (jumper) a tierra de baja inductancia. Esta recomendación es también para el conductor a tierra del equipo del circuito ramal asociado, y para los cables de alimentación la fuente de CA/CD del equipo de telefonía.

Si el cable troncal de la oficina central (COTC/ Central Office Trunk Cable) termina en el área donde se encuentra el equipo electrónico sensible, entonces su malla (shield) exterior y su TVSS deben ser unidas a través de una conexión de baja impedancia. De igual forma las terminaciones de los sistemas de televisión accedada por Cable (CATV / Cable Accessed Television) colocados en el exterior de la planta, deben ser aterrizados de manera similar.

Si el COTC de telefonía termina sobre una plataforma vertical de madera, que este equipada con una hoja de acero galvanizado, entonces la práctica recomendada es adaptarla para que en ella se conecten todos los puntos de aterrizamiento de las cargas circundantes. Lo anterior puede ser aplicado para cada piso de la planta, donde todo el sistema de telefonía (o información) es colocada en estantes, y las terminales de cables están disponibles para conectarse a los instrumentos de tal piso desde los tableros telefónicos (risers).

7.11.15 Conexión a tierra de Terminales Aéreas (Varillas Pararrayos).

La práctica recomendada establece que las varillas pararrayos sean tratadas de igual forma que los sistemas de conexión a tierra física (anillos y electrodos enterrados). De igual forma las varillas enterradas deben cumplir con los requerimientos establecidos para la interconexión de sistemas de tierra física; con el fin de:

- a) Minimizar las diferencias de potencial, los arcos eléctricos y
- b) Minimizar los problemas asociados con corrientes de ruido de modo común

7.11.16 Canal de Construcción Galvanizado como -Barra ó Bus de Tierra.

Este canal de construcción galvanizado como barra ó bus de tierra es generalmente recomendado como un soporte mecánico para asegurar los dispositivos en su lugar. Si este canal es instalado adecuadamente nos proporcionará una buena barra de tierra para Alta Frecuencia (HF) y, además un punto de conexión para conduits, tuberías ó dispositivos similares que requieran ser unidos a tierra. En esta aplicación el canal de construcción es un conductor efectivo a tierra para frecuencias de hasta el orden de las decenas de MHz.

7.11.17 Conductores de Tierra No Aislados.

El uso de conductores de tierra no aislados (desnudos) de ninguna manera es recomendable excepto cuando es usado para puentes a tierra, puentes de unión ó conexiones similares que no se encuentren dentro de algún conduit ó charola. El alambre aislado es el que se recomienda para todas las formas de circuitos aterrizados ó no aterrizados que se encuentren dentro de un equipo, conduit ó charolas.

El uso del alambre no aislado (desnudo) para el EGC dentro de un conduit / charola no es recomendado ya que el uso de estos conductores no aislados en éstas condiciones puede provocar dos condiciones no deseadas:

1. Arqueos destructivos entre el conductor no aislado y los conduits/charolas metálicos, esto durante una falla a tierra ó condiciones de arqueo provocadas en los otros conductores no aislados, ó
2. La generación de niveles bajos de corriente de HF (ruido eléctrico) debido al contacto intermitente con los conduits/charolas metálicos.

7.12 PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS Y OTRAS ONDAS DE SOBREVOLTAJE

Las normas ANSI / NFPA780-992 proporcionan tanto un mapa (isokeraunico) de pronóstico de días de tormenta, como un procedimiento para calcular el índice de riesgo, siendo éstos procedimientos las bases para tomar decisiones frente a posibles riesgos utilizando protecciones contra descargas atmosféricas y otras ondas de sobrevoltaje. Basados en la estructura del equipo sensible, su alto costo de reparación y el valor total del proyecto a realizar.

En general, solamente se deben de usar las protecciones y sus accesos contra descargas atmosféricas que contengan el sello UL (Underwriters Laboratories). La práctica recomendada establece que los sistemas de protección contra descargas atmosféricas y otras ondas de sobrevoltaje deben ser diseñados, construidos e instalados de acuerdo con la norma UL 96A-1982. La cual nos proporciona la guía para el reconocimiento de las instalaciones, así como la avengudación de cuales de ellas cumplen con los estándares establecidos. Por lo tanto se recomienda que éste procedimiento sea seguido para mantenernos informados del estado en que se encuentra la instalación.

Además de las protecciones mencionadas se recomienda la instalación de un apartarrayos secundario contra descargas atmosféricas colocado en la acometida de todas las instalaciones importantes con equipos electrónicos sensibles, y también se instalen dispositivos Supresores de Voltaje de Voltaje (TVSS / Transient Voltage Surge Suppressor), los cuales deben de ser conectados a cada grupo de conductores (alimentación, voz, datos, etc.).

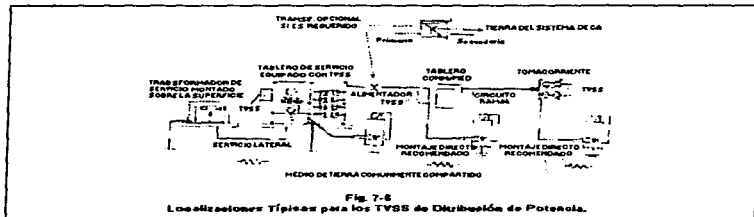
7.12.1 Protección Contra Descargas Atmosféricas y Otras Ondas de Sobrevoltaje a la Entrada.

Dentro de algunas industrias es común que existan grandes cantidades de sistemas de cómputo para procesamiento de información ó bien grandes cantidades de equipo electrónico sensible, los cuales deben de ser equipados en su servicio de acometida de entrada con una protección efectiva contra descargas atmosféricas en forma de apartarrayos. Se debe tener

mucho cuidado para asegurar que el método utilizado para la instalación de los equipos TVSS, no cause una degradación de sus características para desviar la corriente y recortar el voltaje.

También se recomienda que si supresores de onda de tipo gas (gas tube) son utilizadas, deben tener una instalación en paralelo con los capacitores modificadores de frente de onda, con el propósito de reducir las componentes de HF en la cresta de la forma de onda de la corriente producida por la descarga atmosférica, y también para actuar como un capacitor de desvío (bypass) para las corrientes de HF, cuyos potenciales están por debajo de los umbrales de operación del supresor de onda.

Además de las protecciones contra descargas atmosféricas colocadas en forma secundaria, a la entrada del suministro de energía eléctrica, se recomienda utilizar un TVSS adicional colocado en derivación de los interruptores y paneles de control si es que estos alimentan cargas electrónicas sensibles (Ver Fig. 7-6). Los requerimientos de instalación y dimensión de los dispositivos TVSS para su correcta coordinación están establecidos por la norma IEEE STD C62.45-1987.



Generalmente se recomienda que los TVSS usados para la protección de CA, se conecten en todo tipo de combinaciones, ya sea entre fases, de fase a tierra, de fase a neutro o bien de neutro a tierra.

La práctica recomendada para la instalación de los TVSS se aplica a las diferentes longitudes de conductores eléctricos que sean cortos y de una forma tal que minimicen las dimensiones de lazo (loop), además de que todos los conductores se deben de juntar y torcer evitando cualquier doblez forzado entre los conductores. Las normas mencionadas anteriormente de la IEEE y de la UL deben ser seguidas con el fin de verificar el desempeño de los dispositivos TVSS.

Sin embargo, esto no garantiza el adecuado funcionamiento en condiciones de campo a menos hayan sido instalados en forma correcta.

7.12.2 Protección de los UPS (Uninterruptible Power Supply / Fuentes Ininterrumpibles de Voltaje). Contra Sobrevoltajes Transitorios.

Los fenómenos de descargas atmosféricas y algunos otros transitorios de voltaje producen graves daños a muchos de los equipos, tanto UPS's como a los equipos electrónicos sensibles. Por lo tanto la práctica recomendada establece que tanto los circuitos de entrada al rectificador del cargador de la UPS como los circuitos de desvío (bypass) de los UPS's (incluyendo el circuito de desvío para mantenimiento manual), deben estar equipados con una protección efectiva de un TVSS categoría B.

La protección debe ser instalada en los modos de: línea-línea y línea-tierra. También se deben emplear conexiones de baja inductancia para esta protección. A su vez es importante mencionar que los dispositivos TVSS deben ser conectados a los conductores de tierra del equipo disponibles, no a los conductores de tierra aislados.

7.12.3 Protección Contra Descargas Atmosféricas y Otras Ondas de Sobrevoltaje en los Cables y Equipos (Comunicaciones y Control).

Típicamente los cables para sistemas de transmisión y control de información son instalados por todo el inmueble. Quedando conectados equipos sensibles en ambos extremos del cableado y además quedando conectados a los circuitos de alimentación local de CA. Los equipos más comunes son monitores de video (VDT's / Video Display Terminals) y computadoras personales (PC's / Personal Computers). Los cables recorren diferentes distancias dependiendo de su ubicación dentro del sistema, estableciéndose de esta manera condiciones propicias para que las corrientes de las descargas atmosféricas puedan introducirse a los equipos a través de los cables de alimentación de CA o bien a través de los cables de transmisión de información. Además tanto la trayectoria de ruido conducido, como la de ruido acoplado son generalmente posibles.

Como muchas formas de interferencia eléctrica pueden ser introducidas por acoplamiento dentro de los cables de transmisión de información, por lo tanto la práctica recomendada es que los cables de transmisión de datos tengan un mínimo de áreas de lazo abierto. Tales trayectorias a menudo crean áreas de lazo abierto y por lo tanto establecen un acoplamiento máximo entre la fuente de interferencia y los cables afectados. También se recomienda como una alternativa más para minimizar la interferencia eléctrica, el introducir todos los cables dentro de conduit's (tuberías) metálicos completamente cerradas, y que de alguna forma las rutas que sigan sean a lo largo de las superficies estructurales que están conectadas a tierra.

También se recomienda que cada conexión de alimentación de CA para los equipos, tales como monitores de video (VDT's / Video Display Terminals), deben ser equipados con TVSS instalados localmente en el tomacorriente del circuito ramal de donde la fuente de CA es tomada para alimentar al equipo. Los dispositivos TVSS deben proporcionar protección de categoría A, además de que tales dispositivos TVSS deben estar referidos a las condiciones de aplicación y prueba, con un voltaje máximo de paso definido por las formas de ondas y los niveles de corriente específicos.

En lo referente a los cables de información (p. ej., control, E/S de datos, y otros de comunicación o señalización) metálicos (no de fibra óptica), también es conveniente que sean equipados con dispositivos TVSS; los cuales deberán ser específicamente adaptados al tipo de señal usadas sobre el cable (por ejemplo el RS - 232C o el RS - 422). Del mismo modo para obtener un efecto óptimo, los TVSS deberían ponerse sobre los extremos finales del cable de datos. Sin embargo, los componentes electrónicos que se encuentran al extremo de un cable pueden ser protegidos con un mínimo de precaución, si es que el otro extremo final no es conectado a otros componentes electrónicos, pero si a otros elementos pasivos tales como bobinas, lámparas indicadoras, o contactos secos..

Los TVSS que exhiben grandes capacitancias no son, en general recomendables para la conexión a través de los circuitos de datos, ya que la capacitancia del protector de línea puede deformar demasiado la señal. La recomendación general para circuitos de datos es el uso de una forma híbrida de protector de línea, que generalmente consiste de un tubo de gas colocado sobre el lado desprotegido de la línea, seguido por una impedancia en serie, y un diodo de silicio de conmutación rápida, como un elemento paralelo. Ambos TVSS's balanceados y desbalanceados híbridos están disponibles. Ellos se pueden usar sobre una amplia gama de voltajes y velocidades de transmisión de datos.

La instalación de dispositivos TVSS (circuito de potencia) y de protectores contra sobrevoltajes transitorios (circuitos de señalización) se hace, en forma típica, directamente a la estructura o cubierta metálica del equipo para una operación más efectiva.

7.12.4 Protección Contra Descargas Atmosféricas y Otras Ondas de Sobrevoltaje en el Sistema de Telecomunicaciones.

La mayoría de las instalaciones poseen sistemas de telecomunicación que manejan la transmisión tanto de voz como de datos. Para ambos sistemas de alambrado tanto separados como combinados es necesario brindarles una protección contra descargas atmosféricas. Este esfuerzo debe ser entendido para asegurar que los sistemas de telecomunicaciones queden apropiadamente aterrizados y protegidos contra ondas de sobrevoltaje. Dentro de la terminología de la industria telefónica se definen a los TVSS's como dispositivos *protectores contra ondas de sobrevoltaje*. Dichos protectores que se utilizan en las entradas de los edificios se definen como *protectores de telecomunicaciones* o *protectores de estación*, y los protectores contra ondas de sobrevoltaje empleados ya sea dentro del edificio o junto al equipo terminal, se les llama *protectores secundarios*.

Los TVSS para los circuitos de telecomunicación deberán seleccionarse de acuerdo con las normas UL correspondientes y además el dispositivo elegido deberá diseñarse y probarse para el tipo de circuito de telecomunicación destinado.

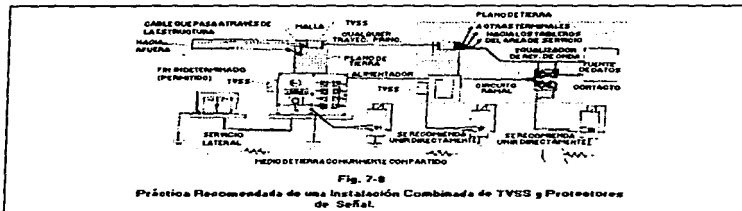
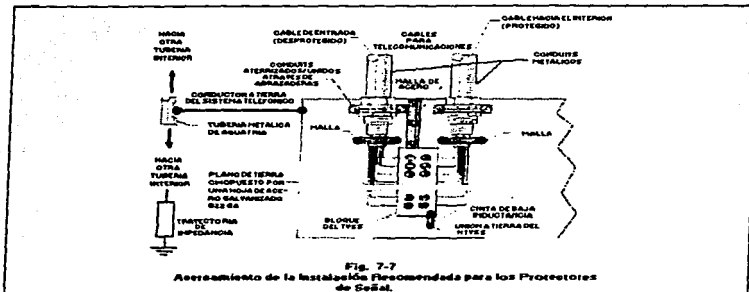
Aunque es importante señalar que, no todas las ondas de corrientes perjudiciales entran en los equipos sensibles por medio de el COTC, si existe un modo alterno de entrada que es por medio del cableado del sistema de telecomunicaciones; el cual puede unir varios edificios, así como también puede unir una multitud de sitios dentro de cada edificio. El sistema de alambrado de las telecomunicaciones está a menudo lo suficientemente distribuido por todo el edificio como para desarrollar grandes potenciales en modo común desde sus origen hasta sus puntos de terminación. Es por eso que, los cables para telecomunicaciones frecuentemente necesitan una protección suplementaria en puntos intermedios y en las terminaciones de los cables donde están los instrumentos. Estos protectores contra sobrevoltajes transitorios deberán instalarse entre cada conductor (en un par) y entre una tierra local (de baja inductancia) y una principal.

7.12.5 La Conexión a Referencia de los Dispositivos TVSS de Telecomunicaciones

El soporte posterior utilizado para montar las tabillas terminales para los cables de señales, los protectores de línea secundarios, y los dispositivos TVSS para los circuitos conexos de poder, deberán colocarse sobre una hoja de acero galvanizado del # 22 Ga. para formar un SRP (Signal Reference Plane / Plano de Referencia de Señal) como el mostrado en la figura 7-7.

De igual forma los dispositivos protectores deberán de colocarse dentro de un gabinete metálico que tendrá una función similar a un SRP. Todas las tierras de los cables para telecomunicaciones y los TVSS asociados deberán referenciarse directamente a dicho SRP. Lo anterior contrasta con el uso típico de soporte posterior no metálico que forzaba al uso de extensos conductores (los cuales formaban un efecto altamente inductivo), para conectar los dispositivos TVSS a tierra. Dichos conductores de extensa longitud incrementaban el voltaje de corte, debido a los efectos clásicos de las corrientes que cambian rápidamente a través de una inductancia.

Los dispositivos TVSS que protegen a fuentes de alimentación (CA/DC), o dispositivos similares que son la parte de un sistema de telecomunicación, deben equiparse con dispositivos TVSS apropiados, los cuales deben de referenciarse al mismo SRP, tal y como el circuito TVSS de telecomunicación fue referenciado y que se muestra en la figura 7-8.



7.12.6 Equalizadores de Referencia contra Ondas de Sobrevoltaje.

Actualmente con el continuo uso más difundido de los dispositivos electrónicos que tienen un puerto para la conexión de potencia y un puerto de comunicaciones (contestadoras telefónicas, faxes, computadores personales, controles de procesos industriales, terminales remotas, etc.), ha surgido un nuevo riesgo de daño. Por lo tanto, se debe proporcionar protección contra ondas de sobrevoltaje tanto en la línea de alimentación, como en la línea de comunicaciones, ya que el equipo puede ser dañado por una diferencia entre los voltajes de referencia desarrollados durante un evento con sobrevoltajes transitorios. Un escenario involucra la diferencia de voltaje entre dos gabinetes (y por lo tanto la señal de referencia) de las subunidades energizadas desde diferentes circuitos ramales. Cuando la operación de un dispositivo de protección contra ondas de sobrevoltaje cambia la referencia de voltaje con respecto al conductor de tierra del equipo de una subunidad, lo cual se puede apreciar gráficamente en la fig 7-9.

El Equalizador de Referencia de Onda se instala tan cerca como sea posible del equipo a proteger, y combina la función de protección de ambos sistemas en el mismo contenedor. El dispositivo se conecta en un receptáculo de potencia cerca del equipo a proteger, con los cables del sistema de comunicaciones (telefonía o enlace de datos) o el cable coaxial (de TV) pasando a través del contenedor. Una sola conexión a tierra común, iguala los voltajes de los dos conductores a tierra, mediante la punta de tierra física del contacto de tres puntas de la línea de alimentación.

Regresando un poco a las enormes ondas de sobrevoltaje originadas en el sistema eléctrico fuera de las instalaciones del usuario, asociadas con descargas atmosféricas u otros eventos importantes en el sistema de potencia, es mejor que sean detenidos en la entrada de servicio del usuario. Si bien esa protección no es oficialmente obligatoria, las tendencias indican que un número creciente de aplicaciones documentadas recomiendan esa protección. Las ondas de sobrevoltaje producidas dentro estas premisas pueden ser desviadas por los protectores localizados cerca de las fuentes internas o cerca del equipo sensible, tales como los equalizadores de referencia. Esta posibilidad de una doble protección trae el problema de la coordinación de dispositivos en cascada, lo cual es una preocupación que esta emergiendo en la aplicación de dispositivos de protección contra ondas de sobrevoltaje en las terminales del usuario final. Finalmente cabe mencionar que esta posibilidad de una doble protección va de acuerdo con el concepto de coordinación de dispositivos en cascada, lo cual coincide con la aplicación de dispositivos protectores contra ondas de sobrevoltaje en los usuarios finales conectadas al sistema de potencia.

7.12.7 Protección Contra Descargas Atmosféricas y Otras Ondas de Sobrevoltaje en Sistemas Exteriores del Edificio y Tuberías.

Todos los sistemas mecánicos en el exterior (como p.e., ventiladores, bombas, compresores, motores, torres de enfriamiento, etc.), que se encuentren en un área no protegida efectivamente por un sistema contra descargas atmosféricas, pueden ser considerados como posibles blancos para descargas atmosféricas. Por lo tanto, se recomienda brindar una protección individual para cada elemento mediante la utilización de dispositivos TVSS, tanto del lado de la acometida como en el lado en el que se encuentran los componentes. Los TVSS deben ser de categoría B o C dependiendo de la localización del edificio y de los requerimientos de confiabilidad del sistema.

Los canales construidos con acero galvanizado son generalmente recomendados para soportar las tuberías y los conduits. Debido a su geometría, este material proporciona una barra de tierra de baja inductancia para la interconexión de tuberías y conduits ya sea entre ellos o bien a las estructuras de acero de los edificios, o equivalentes. Estos canales también son buenos como soporte estructural, y como tierras físicas para conectar los gabinetes y las carcasas de los equipos eléctricos. Sin embargo, los alambres conductores usados para conectar el canal a los otros artículos pueden crear una unión de alta inductancia. Por lo tanto, el canal es mejor usado por sí mismo tal como un bus montado directamente.

Cualquier conduit o tubo de metal (conductor expuesto) que recorre externamente al edificio y que también se introduce dentro del edificio (especialmente si dichas tuberías llegan a las áreas donde se tienen equipos electrónicos sensibles, tuberías tales como las de calefacción, ventilación y las de aire acondicionado) tiene la posibilidad de que en una porción de la tubería se reciba el impacto de una descarga atmosférica, por lo tanto es factible que en ese punto se transmita el voltaje y la corriente del rayo hacia adentro del edificio y provoque arcos, es decir, descargas laterales entre el artículo energizado y otros artículos aterrizados. Esta preocupación es real desde el punto de vista de riesgos, y es por esta razón, que todos los artículos metálicos se deben unir al acero estructural del edificio cuando ellos entran o salen del edificio. La unión de todas esas tuberías, conduits eléctricos, y artículos similares en una sola masa eléctricamente conductiva es muy importante. Si el acero estructural cercano no esta disponible, todos los artículos deben conectarse al sistema eléctrico local y al anillo de tierra contra descargas vía un sistema de bajada con conductores.

7.13 TABLEROS.

Todos los tableros de conmutación con alimentadores que soportan equipo electrónico sensible y otras cargas sensibles relacionadas, siempre deben contar con un sistema de barras de tierra completo EGC (Equipment Ground Conductor). La necesidad de un juego de barras para que terminen los EGC's esta bien establecida, ya que casi todos los alimentadores que soportan equipo electrónico sensible requieren un EGC. La terminación de estos alambres EGC sin un bus apropiado degrada la confiabilidad de la trayectoria de tierra, especialmente para corrientes de HF.

Por otro lado en lo referente al bus de neutro se sugiere que sus dimensiones sean menores a las del bus de fase debido a los factores de diversidad de la carga; con relaciones que van desde un 80% hasta un 50 %, siendo este último el más comúnmente empleado; sin embargo tal consideración puede ser un problema si es que el tablero de conmutación alimenta directamente a cargas conectadas de línea a tierra, como se explica a continuación.

En los tableros que emplean barras de neutro para las tres fases, 208Y/120 VCA, en configuración de cuatro hilos más tierra física, se pueden encontrar corrientes armónicas grandes en el bus debido a las múltiples cargas no lineales que se conectan de línea a neutro (por ej., circuitos rectificadores con capacitores en la entrada. Esta condición esta principalmente relacionada con las corrientes de tercer armónica y generalmente es la causa del sobredimensionamiento del bus de neutro del tablero.

Las corrientes armónicas son una preocupación en tableros solamente cuando los alimentadores que salen están conectados directamente a cargas emisoras de corrientes armónicas en forma de línea a neutro. Estos tableros a menudo alimentan cargas conectadas entre líneas o transformadores de aislamiento conectados en delta / estrella. La conexión delta / estrella en los transformadores de aislamiento tiene la habilidad de reducir la corriente de tercera armónica en su devanado primario vía la acción del devanado conectado en delta. Por lo tanto la práctica recomendada es el uso de transformadores de aislamiento en configuración delta estrella para alimentar a cargas emisoras de corrientes armónicas.

Por otro lado los ensambles de barras de neutro deben de ser especificadas por el fabricante (OEM/Original Equipment Manufacturer) del tablero con una alta capacidad de trabajo (heavy duty) sin afectar las cuestiones de seguridad del equipo. Este enfoque permite colocar unas barras de neutro de valor nominal igual a 2x dentro de un tablero de conmutación con barras de 1.25x del valor nominal, de tal manera que pueda soportar condiciones con alto contenido de tercera armónica, sin requerir unas barras de fase de 2x el valor nominal para tener unas barras de neutro de 2x. Por ejemplo no se requiere un tablero de 1200 A, para obtener el valor nominal de 1200 A de las barras de neutro ya que un tablero especial, de 600 A de lista se puede obtener con unas barras de neutro de 1200 A. Este método es la práctica recomendada donde se prevee que se tendrá una corriente de neutro excesiva.

7.13.1 Tableros de control y medición.

Dado que este tipo de tableros se encuentran directamente relacionados con equipos electrónicos sensibles, se debe de tener cuidado en la selección de los estilos del tipo industrial para aplicaciones en potencia o alumbrado, y no deben de ser del tipo de baja capacidad (lighter duty).

La ampacidad mínima recomendada para las barras de fase se deben calcular en base a la corriente rms verdadera actual y futura, a plena carga y nominal.

También podemos agregar que cuando se incluye el ensamble de la barra del neutro dentro de un tablero infásico y se espera que el tablero alimente cargas electrónicas sensibles con alto contenido de corrientes de tercera armónica resultado de la conexión de cargas no lineales de línea a neutro, entonces el ensamble de la barra de neutro debe ser sobredimensionado en relación a las barras de las corrientes de fase por un factor no menor a 1.73.

Los tableros en las listas con un factor de sobredimensionamiento de 2 para el ensamble de la barra de neutro son los recomendados.

La capacidad del alumbrado de las barras de neutro es importante cuando los tableros van a alimentar equipo electrónico sensible y dado que muchas de estas cargas están conectadas entre

fase y neutro. Entonces se deben utilizar conductores de neutro individuales (dedicados), y se deben tener disponibles puntos de terminación individuales en la barra de neutro para cada una de las cargas posibles que usan una conexión de fase a neutro.

Ahora bien las barras de neutro y de tierra del equipo deben de ir separadas y solo se deben conectar donde sea apropiado, por ej., cuando se usan en la entrada del servicio (acometida) o algunas veces después de una fuente derivada. Por otro lado no se requiere que la barra de los conductores de tierra de los equipos (EGC's) del tablero tenga una amperacidad incrementada para soportar cargas electrónicas sensibles. Las corrientes armónicas tales como las que se podrían encontrar en la barra del neutro no representan un problema en este aspecto. Además de que el ensamble de la barra de tierra debe estar en las listas para su inclusión en el tablero de interés.

En cuanto a la capacidad de la barra de tierra es importante en tableros que alimentan cargas sensibles ya que todas ellas normalmente requieren un conductor de tierra del equipo (EGC) individual y dedicado. Debe haber un punto de terminación disponible en la barra de los conductores de tierra de los equipos (EGC) para cada posible carga. Puede haber requerimientos adicionales para las terminaciones de los EGC's si se emplean I.G.'s en los circuitos alimentados. Tales requerimientos adicionales pueden ser el duplicar el número de conductores de tierra de los equipos (EGC's) que terminan en la barra de conductores de tierra de los equipos (EGC) del tablero.

7.13.2 Montaje y conexión a tierra de los tableros

Los tableros deben ser directamente montados sobre cualquier parte de la estructura de acero local (aterrizada) del edificio. Aunque es importante mencionar que el aislar un tablero de una estructura metálica, a través de un material eléctricamente aislante no es una práctica recomendada, ya que una corriente considerable de HF se puede acoplar entre dos objetos metálicos cercanos. La norma ANSI/NFPA 780-1992 requiere una tierra bien establecida así como buenas uniones entre objetos tales como acero estructural del edificio y el tablero si éste se encuentra dentro de una distancia corta (aproximadamente 1.8288 m horizontalmente). Los materiales aislantes comúnmente usados para separar un tablero de la estructura de acero, rara vez son capaces de soportar condiciones de arco inducidas por una descarga atmosférica.

Nota:

La conexión de un tablero a una estructura de acero bien aterrizada es considerada, generalmente como causa de problemas con la tierra física que involucren ruido de HF en modo común. Una excepción puede ser en el caso de que se presenten otras condiciones no deseadas en las uniones y en la puesta a tierra de la instalación, lo cual resulte ser la causa principal de los problemas de ruido.

7.13.3 Localización del tableros.

Los tableros que alimentan equipos electrónicos sensibles deben de ser colocados en la misma área que se encuentran dichas cargas, además de que deben de ser conectadas a la misma Estructura de Referencia de Señal (SRS/Signal Reference Structure) de sus cargas conectadas. Se recomienda esta filosofía de ubicación para cualquier tablero que alimente cargas en la misma área con equipos electrónicos sensibles, tales como iluminación, calefacción, ventilación, aire acondicionado, y equipos de enfriamiento de procesos. Otros tableros anexos que se encuentren localizados en áreas que también contengan equipo electrónico sensible, deben ser conectadas a su respectivo SRS de dichas cargas alimentadas.

7.13.4 Unidades de Distribución de Potencia (PDU / Power Distribution Unit) como interfaz Potencia-Carga.

Las Unidades de Distribución de Potencia (PDU) son recomendadas como los medios principales para suministrar tanto potencia de CA como para ser la interfaz de tierra entre el sistema eléctrico principal y la carga conectada compuesta por equipos electrónicos sensibles. Generalmente, este método es superior a casi todas las técnicas disponibles de alambrado para edificios. Las PDU's que aparecen en las listas son esencialmente sistemas prefabricados de

alimentación de potencia de CA y sistema de tierra, que incluyen los cables de salida flexibles, para alimentar los equipos electrónicos sensibles. Las PDU's también son conocidas como Centro de potencia de Computo (CPC).

Dichas unidades PDU pueden contener un Transformador Regulador Automático de Voltaje de Línea (ALVRT), un grupo motor-generador/alternador (M-G), o aún tener la plena capacidad de una UPS, en lugar de solo contener un simple Transformador de Aislamientos (IT). Las combinaciones de estas características también son posibles; tan es así que otras formas de PDU usadas en aplicaciones especiales pueden ser construidas sin medios internos de aislamiento o transformación. Estas PDU's deben estar externamente equipadas con un Transformador de Aislamiento (IT), con un grupo M-G, o una UPS que es parte de las premisas de un sistema de alambrado para una apropiada operación.

Ahora bien cuando el suministro de voltaje nominal no es estable, entonces la aplicación de un Transformador Regulador de Voltaje de Línea Automático (ALVRT/Automatic Line Voltage Regulator Transformer) cuidadoso y adecuadamente seleccionado podría proporcionar la corrección de voltaje necesaria. Se recomienda colocar el ALVRT cerca del equipo que va a alimentar, y generalmente se debe configurar como un sistema de CA derivado por separado SDS. Generalmente el uso de un ALVRT como filtro de ruido no es recomendado.

7.14 TRANSFORMADORES DE TIPO SECO.

Los transformadores de aislamiento tipo seco encapsulado, son recomendados para ser instalados cerca de las cargas que van a alimentar, ya que tales transformadores nos proporcionan el voltaje adecuado y crean físicamente un Sistema de CA Derivado por Separado (SDS / Separately Derived CA System) cerca de su carga de equipos electrónicos sensibles.

En lo que respecta al blindaje electrostático en el transformador, es importante mencionar que los IT usados para alimentar equipo electrónico sensible deben de estar equipados con al menos una capa simple de blindaje electrostático entre los devanados primario y secundario. El blindaje debe de ser aterrizado o unido al gabinete metálico del transformador usando elementos de baja inductancia. También se recomienda un segundo blindaje electrostático, referenciado al voltaje de línea primario. Esta construcción debe ser usada en la mayoría de los casos para reducir las comentes de HF en modo común (ruido eléctrico) via conversión del ruido eléctrico a modo normal.

7.14.1 Impacto de la carga no-lineal en los transformadores.

Las cargas no lineales pueden causar sobrecalentamiento tanto a los transformadores sumergidos en aceite como a los de tipo seco. En tales casos la práctica recomendada es derratear los transformadores convencionales, y donde sea práctico, especificar transformadores con un factor K nominal, diseñados específicamente para cargas no lineales.

Los transformadores de potencia convencionales requieren, generalmente, ser derrateados cuando alimentan cargas no lineales, típicamente electrónicas. Para obtener el comportamiento nominal del transformador se requiere un voltaje y una corriente aproximadamente senoidal y balanceada. Cuando la corriente está distorsionada se puede calcular un derrateo apropiado usando determinadas fórmulas. Existen dos métodos posibles: uno en base a una medición detallada y el otro mediante una medición simplificada y otros cálculos.

Otro método de derrateo algunas veces sugiendo en la industria de cómputo compara solo el factor de cresta de la corriente de carga con el factor de cresta de una onda senoidal. El derrateo del transformador debe ser igual al factor de cresta de la onda senoidal dividido entre el factor de cresta real o pronosticado de la corriente de carga. En el caso de que se tenga un contenido alto de tercera armónica (que es el caso de las fuentes de CD con capacitor de entrada), este método puede ser razonable Albeit la impresión de la regla de dedo. Este método puede subestimar las pérdidas en presencia de armónicas de orden más alto, y no toma en consideración la diferencia de pérdidas asociadas con las comentes de Eddy nominales en el transformador

El sello UL (Underwriters Laboratories) así como los fabricantes de transformadores han establecido un factor k nominal para los transformadores de potencia de tipo seco, para indicar la confiabilidad frente a corrientes de carga no senoidales. Dicho factor K relaciona la capacidad del transformador para alimentar ciertos grados de carga no lineal sin exceder los límites de elevación de temperatura.

Para nuevas instalaciones o renovaciones, se recomiendan los transformadores de tipo seco con un factor k nominal. Se espera que en un futuro tanto el número de fabricantes como la capacidades de estos transformadores aumenten a medida que las cargas electrónicas no lineales se incrementen también.

Los valores nominales estándar para el factor k son: 4,9,13,20,30,40 y 50. Siendo 1 el factor k para una carga lineal. Para cualquier carga no lineal dada, si se concen las componentes de las corrientes armónicas, se puede calcular el factor K y compararlo con el dato de placa que aparece en el transformador. En tanto que el factor K de la carga sea igual o menor que el del transformador, éste no necesita ser derrateado. Se prefiere un transformador con un factor K nominal a un transformador convencional sobredimensionado (derrateado) por varias razones. el transformador con un factor K esta equipado con una barra de neutro nominal del 200% y es probable que sea más pequeño y menos caro, además un transformador sobredimensionado puede requerir una capacidad de corto circuito mayor en los interruptores y puede tener una corriente de arranque (Inrush) mas grande

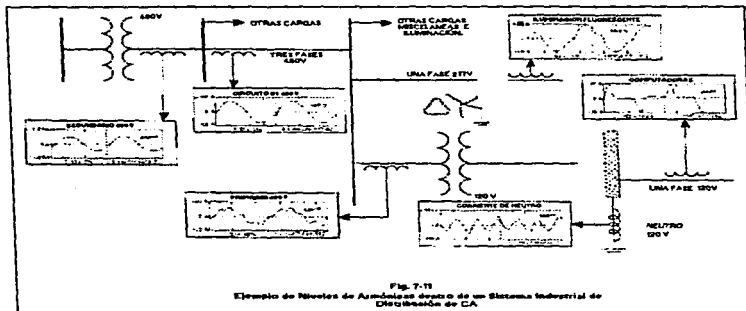
7.14.2 Cálculo de corrientes armónicas.

La selección del factor de derrateo de un transformador o bien de un factor K , requiere la caracterización de la distorsión de la corriente de carga. Cuando no se dispone de información sobre el contenido armónico de la carga, por medición, entonces debe ser calculado. Existe la tendencia a calcular un factor K superior al necesario cuando se consideran las corrientes de carga en forma individual. Debido a la cancelación, la distorsión combinada de todas las cargas, es siempre menor que la suma de las cargas individuales. Esta reducción puede ser substancial cuando existe un gran número de cargas, y una gran diversidad de tipos de cargas no lineales (Ver fig. 7-11). Sin embargo, cuando las cargas se desconectan por alguna razón, entonces el sistema de distribución se ve beneficiado. En muchos casos, esto no será un problema para un transformador plenamente cargado, pero si puede serlo si la carga nominal es marginal. La cancelación se produce cuando las armónicas producidas por las diversas cargas tienen un desplazamiento angular entre ellas. La impedancia de los cables en los circuitos ramales, así como en los transformadores de aislamiento o en los inductores sene que pueden ser incorporados a las cargas, desplazan angularmente las corrientes armónicas. Una conexión delta / estrella en un transformador que alimenta cargas monofásicas no lineales atrapará las armónicas triples balanceadas y puede reducir substancialmente la distorsión en el lado de alta.

Es difícil de predecir este factor de diversidad armónica sin conocer la cantidad de cargas no lineales y la distribución de potencia. Aunque existen programas de cómputo y métodos que permiten la modelación y simulación. Se espera que a medida que se tenga más experiencia en la utilización de estas herramientas de cómputo, se obtendrán entonces, factores de diversidad para cargas típicas en sistemas de potencia industriales y comerciales. Si tales factores no están disponibles, es una practica recomendada monitorear la distorsión de la corriente de carga y la diversidad relativa de la mezcla de cargas en una instalación comparable. Es importante recordar que al seleccionar un factor K considere que $K = 1$ indica una carga lineal. Los factores de carga K típicos en una empresa que tiene un gran número de equipo electrónicos se encuentra en rango de 4 a 9. El factor K en transformadores reductores que alimentan casi en forma exclusiva cargas no lineales, como por ejemplo computadoras personales, presentan factores K que andan entre 9 y 20.

Ahora bien los transformadores de tipo seco usados en aplicaciones infásicas (típicamente circuitos de 208Y/120), donde se proporciona un conductor neutro secundario para un grupo de cargas (de línea - neutro) no lineales, deben tener una trayectoria de neutro dentro de ellas, siendo

protegida contra los efectos de sobrecalentamiento provocado por la " I^2R ", debido a las corrientes de tercer armónica que circulan por la trayectoria del neutro. Por lo tanto los transformadores de este tipo deben tener conexiones de neutro nominales de un 200%.



En lo referente a los transformadores trifásicos, estos siempre deben ser seleccionados de tal manera que posean un núcleo común y nunca deben estar compuestos por un banco transformadores monofásicos; ya que los núcleos de los transformadores monofásicos se saturan rápidamente y se sobrecalientan cuando se les sujeta a armónicas de tercer orden y a DC en su trayectoria de neutro.

7.14.3 Impedancia en por ciento del transformador.

La práctica recomendada para el uso de transformadores de aislamiento tipo seco que alimentan equipo sensible, establece que deben tener un rango de impedancia entre 3% y 5% calculada a frecuencia nominal, y que en ningún caso debe exceder al 6%. Una fuente que no varía (con bajo valor de impedancia) es una ventaja en casos donde a las cargas pueden demandar un alto pico de corriente, o bien pueden tener grandes factores de cresta, las cuales son características típicas de los equipos electrónicos sensibles. Un bajo valor de impedancia también puede prevenir los achatamientos de la onda de voltaje de CA y reducir el problema general de la distorsión de la onda de voltaje en el secundario del transformador. Finalmente en lo que respecta a la impedancia de transferencia hacia adelante de un IT debe ser generalmente seleccionada de tal manera que sea tan baja como sea posible dentro de un rango de frecuencia que va desde la nominal hasta cerca de los 5 KHz. Esta característica nos ayuda a reducir distorsión armónica de la forma de onda de voltaje a la salida del IT cuando este alimenta cargas no lineales. El tener una impedancia de transferencia hacia adelante muy baja, puede no ser benéfico ya que puede ayudar a la propagación de corrientes no deseadas, como por ejemplo el ruido eléctrico, entre los devanados del IT.

7.1.4.4 Las conexiones desde conduits y charolas metálicas a Transformadores.

Los gabinetes típicos de los transformadores de tipo seco están diseñados y presentados para la conexión de conduits y charolas metálicas solamente en puntos designados para ello. Esto puntos están, generalmente, por abajo de un punto dado en el contenedor donde se ha medido la temperatura ambiente y se ha demostrado que ésta no se eleva por encima del rango de temperatura establecido. El hacer orificios en la tapa, costados, frente, o en la pantalla de ventilación en la base o cualquier parte del gabinete del transformador para conectar los conduits o charolas, no es recomendado. Cuando se tengan secciones cortas de conduit de metal flexibles (FMC) usadas para realizar conexiones entre el transformador y los conduits o charolas de metal no flexibles, se recomienda que esas secciones sean unidas a través de una unión de baja impedancia.

Finalmente es importante mencionar que dado que la función típica de los IT es la de reducir el ruido eléctrico de HF, entonces se recomienda que el alambrado del primario (entrada) no sea colocado en el mismo conduit /charola en el cual haya sido colocado el alambrado del secundario (salida). También se recomienda que los alambrados de entrada y salida dentro del gabinete estén tan separados como sea práctico.

CONCLUSIONES

Ante una mayor apertura económica muchas industrias en nuestro país están modernizando sus procesos por medio de la electrónica, con ello crece una serie de medidas las cuales se resumen en una "Calidad de la Potencia Eléctrica" que en el pasado no se tenía contemplada.

Ahora bien la "Calidad de la Potencia Eléctrica" no solo involucra a la industria sino también a la compañía suministradora que en el pasado no tenía la obligación de cumplir una serie de medidas que ahora le exige la nueva industria.

Al aumento de quejas por parte de los usuarios en cuanto al suministro de potencia eléctrica nos hace estar conscientes de que estamos enfrentándonos a problemas que anteriormente no se presentaban, los cuales se manifiestan en una mala operación de los equipos o la interrupción de procesos industriales

Al involucrar a la compañía suministradora nos lleva a una modernización de esta, la cual tendrá que tomar una serie de medidas como son:

- Adaptar nuevas tecnologías
- Estudiar algunas soluciones internacionales
- Capacitar a su personal

Para que exista una "Calidad de la Potencia Eléctrica" en una industria se tendrá que hacer un estudio previo de la situación que prevalece y así llevar a cabo una serie de recomendaciones que ayuden a solucionar los problemas.

Pero al llevar a cabo este estudio se tendrá forzosamente que tener las bases teóricas bien fundamentadas así como los diferentes tipos de falla que influyen en la operación del equipo.

También se tendrá que tener en cuenta que aunque existe una gran variedad de instrumentación se debe tener cuidado en utilizar el instrumento adecuado para el análisis de un determinado problema.

Ahora bien para el análisis de la información recabada en el estudio se tendrá que tomar en cuenta dos cosas que la gente encargada del estudio pueda interpretar correctamente la información y por otro lado que gracias a los modernos sistemas de computo se puede llegar a establecer un sistema experto que procese mas rápidamente la información.

Finalmente el estudio nos dará la pauta a seguir para seleccionar los equipos que nos ayudaran a mejorar la "Calidad de la Potencia Eléctrica" ya que no todos los equipos son estrictamente necesarios aplicarse.

También se tendrá que hacer un análisis de económico el cual se involucre por un lado la inversión inicial del equipo y el periodo de recuperación los cuales nos dirán si de be llevar a cabo o no la implementación del equipo especificado en el estudio.

El objetivo de este trabajo se logro, ya que era revisar los conceptos técnicos de la calidad y estudiar la posibilidad de aplicar soluciones internacionales en nuestro país y estamos seguros que estas soluciones se pueden llevar a cabo en nuestro país con mucho éxito.

Y por último una "Calidad de la Potencia Eléctrica" nos llevará necesariamente a una mejor productividad, pero también a una seguridad en el trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARRILLAGA J. BRADLEY & BOGGER P.S. "Power Systems Harmonics". New York, E.U.A. Editado por Wiley & Sons, 1985.
2. BECERRIL L. DIEGO O. "Instalaciones Eléctricas Prácticas". E.S.I.A., I.P.N. México, 1990.
3. C.F.E. "Control de Armónicas en Sistemas Eléctricos Industriales". México. Unidad de Ingeniería Especializada, Subjefatura de Ingeniería Electromecánica, C.F.E. 1992
4. DUFF JOHN R. "Fundamentos de Corriente Alterna". México. Editorial Diana, 1972
5. DUGAN ROGER C. "Electrical Power Systems Quality". New York U.S.A. Editorial McGraw Hill, 1996.
6. ESPINOSA Y LARA ROBERTO. "Sistemas de Distribución". México. Editorial Limusa, 1990.
7. I.E.E.E. "Recommended Practices for Electric Power Distribution and Industrial Plants". Standar IEEE 141-1993. Editado por The Institute of Electrical and Electronics Engineers. Piscataway, N. J. E.U.A., 1994 (RED BOOK).
8. I.E.E.E. "Recommended Practices for Power Systems Analysis". Standar IEEE 399-1992. Editado por The Institute of Electrical and Electronics Engineers. Piscataway, N. J. E.U.A., 1994 (BROWN BOOK).
9. I.E.E.E. "Recommended Practices for Supply and Grounding Sensitive Electronic Equipment". Standar IEEE 1100-1992. Editado por The Institute of Electrical and Electronics Engineers. Piscataway, N. J. E.U.A., 1994 (ESMERALD BOOK).
10. I.E.E.E. "Memorias de la IX Reunión de Verano de Potencia". México. 1996.
11. KURT GIECK. "Manual de Fórmulas Técnicas". México. Editorial Alfaomega, 1981.
12. MILLER NYRON A. "Power Quality Solutions / Alternative Energy". Ventura Ca, E.U.A. Editado por Intertec International Inc, 1996.

13. MONROY LOPEZ GUILLERMO. "Sistemas de Tierras". F.I., U.N.A.M. México. 1989.
14. STANLEY WOLF. "Guía para Mediciones Electrónicas y Prácticas de Laboratorio". México. Editorial Prentice Hall, 1980.
15. VARIOS. "The Power Supply Handbook". U.S.A. Editorial TAB Books, 1979.
16. VIQUEIRA LANDA JACINTO. "Redes Eléctricas I". México. Editorial Alfaomega. 1993.

ANEXO I
VOCABULARIO

A

Acoplamiento (coupling). Elemento o elementos de un circuito o red, que puede ser considerada común a la entrada y salida de una malla y a través de la cual la energía puede ser transferida de un lado al otro.

AFD. Controlador de Frecuencia Ajustable.

Aislamiento. Separación de una sección de un sistema para evitar influencias indeseadas de las otras secciones.

Aislar. Separar una sección de un sistema para eliminar influencias de otras secciones.

ALVRT. Transformador Regulador Automático de Voltaje de Línea.

Amperímetro de lectura directa. Son amperímetros empleados para conectarse en serie y conducir parte de la corriente de línea a través de ellos con propósito de medición. Son parte de los circuitos de medición utilizados.

Analizador de impedancia de tierra. Un instrumento multifuncional diseñado para detectar problemas en ciertos tipos de alambrado y conexión a tierra de sistemas de distribución de potencia para bajo voltaje.

Analizador de receptáculos de circuito (receptacle). Dispositivo que a través de un patrón de luces, indica si existen errores de alambrado en los contactos (receptáculos). Estos dispositivos tienen ciertas limitaciones. Pueden indicar un error de alambrado pero no indican como corregirlo.

Armónica (componente). Una componente de mayor orden a uno de la serie de Fourier en un periodo cuantificado.

ASAI . Índice Promedio de Disponibilidad del Servicio.

Atenuación (dropout). Un desperfecto en la operación del equipo (señales discretas de datos) debido a ruido, conexiones incorrectas (flojas) o interrupciones.

B

Bajas Sobreteniones (low-side surges). Un terminado asignado para designar las sobrecorrientes que aparecen al ser inyectados dentro del secundario del transformador sobre un relampagueo en los conductores a tierras próximos.

Bajo voltaje. Se describe un tipo especial de voltaje de variación larga, teniendo un valor menor a 10% que el voltaje nominal por un periodo de tiempo mayor a 1 min.

Blindaje (shielding). El blindaje se usa como una barrera conductora entre los disturbios de ruido producidos por la fuente y los circuitos sensibles. Campos son usados para proteger cables (de datos y de potencia) y circuitos electrónicos. Ellos puede ser en forma de barreras metálicas, encapsulados o sobrecubiertas alrededor de circuitos fuente y circuitos receptores.

C

Caída de voltaje. Decremento en el voltaje RMS de CA, a la frecuencia de potencia, durante poco más de algunos segundos.

CATV . Televisión Accesada por cable.

Calidad de potencia. Concepto de sensibilidad a la potencia y tierra de los equipos electrónicos de tal manera que dichos equipos operen de manera óptima.

Cambio de fase. El desplazamiento en el tiempo de una onda de voltaje respecto a otra onda de voltaje.

Cambio de voltaje. Una variación de el RMS o valor pico o un voltaje entre dos consecutivos niveles sostenidos por una duración definida pero no especificada.

Campo. Se aplica normalmente a cables de instrumentación, en cubiertas conductoras (usualmente metálicas) colocadas sobre el aislamiento de uno o varios conductores, con la finalidad de reducir el riesgo de contacto entre los conductores cubiertos y los conductores que son susceptibles o bien que pueden generar cargas electrostáticas indeseadas o campos electromagnéticos (ruido).

Carga Crítica. Son equipos, dispositivos los cuales al fallar durante su operación, ponen en peligro la salud o equilibrio del personal o resultan en pérdidas de tipo financiero, o daño a la propiedad del usuario.

Carga lineal. Un dispositivo o carga eléctrica que en estado estable de operación presenta esencialmente una impedancia de carga constante hacia la fuente de potencia durante todo el ciclo de voltaje aplicado.

Carga no lineal. Carga eléctrica que presenta una discontinuidad de corriente o aquella cuya impedancia varía durante el ciclo de entrada de la onda de voltaje de CA.

CBEMA curva. Consiste en un conjunto de curvas que representan el grado de disturbio del voltaje. Desarrolladas por la Computer Business Equipment Manufacturers Association, ha venido ha ser un factor estándar para la medición del desempeño de todos los tipos de equipo y sistemas de potencia. Y se le conoce por este nombre.

Compatibilidad Electromagnética. La capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar satisfactoriamente en su medio electromagnético sin introducir algún disturbio electromagnético en ese medio.

Compensador de ondas de referencia. Dispositivo compensador de ondas utilizado para sistemas externos donde todos los conductores conectados a la carga protegida tienen un camino físico y eléctrico, a través de un simple encapsulado con un punto de referencia entre los puertos de entrada y salida de cada sistema.

Conductor a tierra del equipo. El conductor usado para conectar partes no conductoras de los conductos (conduits), charolas y equipo adjunto, al electrodo de tierra del equipo de servicio (tablero principal) o del secundario de un sistema derivado y separado (p.e. del transformador de aislamiento). (Este término se define con más detalle en el NEC [2], sección 100).

Conexión de circuitos en estrella. Un circuito de varias fases en el cual todas las trayectorias de corriente del circuito van desde una terminal de entrada hacia una terminal o conductor común (el cual se puede denominar como conductor neutro).

NOTA: En sistemas trifásicos esta conexión se denomina conexión Estrella o conexión Delta.

Conexión, unión, nodo (bonding). (1) La interconexión eléctrica de dos partes conductoras, diseñada para mantener un potencial eléctrico común [2]. (2) La unión permanente de dos partes metálicas para formar una trayectoria eléctricamente conductiva que asegure la continuidad eléctrica y la capacidad de conducir de manera segura cualquier corriente que haya sido impuesta

Contenido de armónicas. La cantidad obtenida por sustracción de la componente fundamental de una magnitud alterna.

Corriente de carga no lineal. Corriente de carga que es discontinua o no proporcional al voltaje de CA.

Corrimiento de fase. Desplazamiento en tiempo de una onda periódica con respecto a otra(s) forma (s) de onda.

Corte, Ranura (notch). Una perturbación durante el switcheo en la forma de onda normal del voltaje de alimentación, durante menos de medio ciclo, cuando inicialmente se encuentra en polaridad opuesta a la forma de onda, y entonces se resta de la forma de onda normal en términos de valor pico o voltaje de disturbio. Esto incluye pérdida de voltaje por más de medio ciclo. (Ver transitorio. Ver Fig. 2-4).

COTC . Cable Troncal de la Oficina Central.

Coupling. Elemento circuito o elementos, o red, que puede ser considerada común a la malla de entrada y a la malla de salida y que el cual puede ser energizado tanto por uno como por otro.

CPC . Centro de Potencia Computarizado.

CPU . Unidad Central de Proceso.

CRT . Tubo de Rayos Catódicos.

CVT . Transformador a Voltaje Constante.

D

Demanda repentina (inrush). La cantidad de corriente que la carga toma cuando es conectada por primera vez.

Desplazamiento del factor de potencia. Desplazamiento de una componente del factor potencia, la relación entre la potencia real de la onda fundamental en watts y la potencia aparente de la onda fundamental en volt-amperes [4].

Desviación de frecuencia. Un incremento o decremento en frecuencia de la potencia. La duración de esta desviación de frecuencia puede ir desde unos cuantos ciclos hasta algunas horas.

Distorsión. Alguna distorsión de la forma normal del seno de una magnitud en ac.

Distorsión armónica. La representación matemática de la distorsión de la onda senoidal pura. Ver factor de distorsión. (Ver gráfica 2-1).

Distorsión de corriente. La distorsión de la corriente ac. (vea distorsión)

Distorsión de voltaje. Cualquier desviación de la onda senoidal nominal de la línea de voltaje de CA.

Distorsión total de armónica (THD) . La proporción del RMS del contenido de armónicas al RMS valor de la cantidad fundamental, expresada en porciento de la fundamental.

Distorsión total de la demanda. Es la proporción del valor RMS de la armónica de corriente al valor RMS de la demanda máxima expresada en por ciento.

Disturbio de potencia. Cualquier desviación del valor nominal (o desde algunos umbrales seleccionados para ciertas tolerancias de carga) de las características de potencia de CA de entrada.

Dip. Ver Sag.

Dropout. Una interrupción en la operación del equipo debido al ruido, abatimientos(Sag) o interrupción.

Dropout voltaje. El voltaje con el cual un dispositivo puede realizar su desenergización (el voltaje con el cual un dispositivo cesa su operación).

E

Eficiencia (de un sistema de potencia). La relación entre la potencia de entrada que un sistema de potencia proporciona y la correspondiente potencia que esta disponible para alimentar a la carga (kilowatts salida /kilowatts entrada).

EGC. Conductor a Tierra del Equipo.

Electrodo de tierra. Un conductor o grupo de conductores en firme contacto con la tierra física, con el propósito de proveer una conexión a tierra.

Electrodo de tierra encapsulado en concreto. Un electrodo de tierra completamente revestido de concreto, que se localiza cerca de la parte inferior de los cimientos de concreto, de una base o pared, que esta en contacto directo con la tierra (Este término se define específicamente en el artículo 250 del NEC

EMC. Compatibilidad Electromagnética.

EMI. Interferencia Electromagnética.

Equipo de conducción a tierra. El conductor usado para conectar la parte que no conduce corriente del conductor, la que sí conduce y el equipo adjunto al conductor a tierra (neutro) y el electrodo a tierra al equipo en servicio o secundario de un sistema derivado.

ESD. Descarga Electroestática.

Estructura de referencia de señal. Sistema de trayectorias conductoras que pueden conectarse al equipo para reducir los ruidos de voltajes inducidos, a niveles que minimicen el riesgo de una operación incorrecta. Configuraciones comunes incluyen redes y planos.

F

FMC. Conduit de Metal Flexible.

Factor de cresta. Relación entre el valor pico (cresta) y el valor RMS de una onda periódica.. Un valor reportado por muchos instrumentos los cuales lo cuantifican, representando la proporción del valor de cresta de la medición del valor RMS de la forma de onda. Por ejemplo, el factor de cresta de una onda senoidal.

Factor de distorsión. La relación entre la raíz cuadrática media de la onda armónica y la raíz cuadrática media de la onda fundamental, expresada en por ciento de la fundamental [4]. También referido a la distorsión armónica total.

Factor de forma (en una función periódica). La relación entre el valor raíz media cuadrática y el valor absoluto promedio, obtenida durante un periodo completo de la función [4].

Factor de potencia desplazado. Ver **factor de potencia, desplazamiento.**

Factor potencia de entrada (de un sistema). Especifica la relación entre los kilowatts de entrada y los kilovoltamperes de entrada determinados para un voltaje y carga especificados.

Factor potencia total. La relación entre la potencia total de entrada en watts y el total de potencia aparente de entrada en volt-ampères

Falla. Generalmente, se refiere a un corto circuito en el sistema de potencia.

Falla, degradación. Falla que es tanto parcial como progresiva.

Nota: El tiempo tal que una falla puede ser considerada como una falla completa.

Falla de degradación. Ver **falla, degradación.**

Falla transitoria. Es un C.C. en el sistema de potencia usualmente inducido por un rayo, ramas de arboles, o animales los cuales pueden eliminar la corriente momentáneamente

Fast Tripping. Referente a la utilización común de protección en la cual los circuitos breaker o recierres de línea operan tan rápido como un fusible puede hacerlo. También llamado fusible de salvamento y resulta efectivo en la eliminación de transitorios sin una interrupción prolongada, pero resulta controversial porque las cargas industriales están sometidas a interrupciones momentáneas o temporales.

Filtro Activo. Es aquel, el cual se encuentra compuesto por un número de dispositivos electrónicos, los cuales tienen por objeto la eliminación de la distorsión armónica.

Filtro de armónicas. En sistema de potencia. Un dispositivo para filtrar una o más armónicas de el sistema de potencia. Están elaborados por una combinación de elementos pasivos inductancias capacitores y resistencia. Otras tecnologías incluyen filtros activos que pueden también direccionar las necesidades de potencia reactiva.

Filtro pasivo. Una combinación de inductores, capacitores y resistencias que sirven para eliminar una o mas armónicas. La variedad más común es un simple inductor en serie con un capacitor en paralelo.

Flicker (oscilación). Impresión visual de inestabilidad inducida por una luz estimulada de la cual emanan o disturbios espectrales fluctuantes con el tiempo

Fluctuación de voltaje. Una serie de cambios de voltaje o una variación crítica de la envolvente del voltaje.

Forma de onda distorsión. Una desviación del estado estable de una forma de seno ideal o la frecuencia caracterizada por el contenido espectral de la desviación.

Fundamental (componente). La componente de orden 1 (50 a 60 Hz) de la serie de Fourier de un periodo cuantificado.

H**HF.** Alta Frecuencia.**I****IEC.** Comisión Electrotécnica Internacional.**IG.** Tierra Aislada .**IMC.** Conduit Metálico Intermedio.

Impedancia de salida (de una fuente de potencia) (transferencia hacia atrás). Similar a la impedancia de transferencia hacia adelante, pero describe las características de la impedancia de una fuente de potencia vista desde la carga, mirando hacia atrás de la fuente. Ver impedancia de transferencia hacia adelante.

Impedancia de transferencia hacia adelante. Un atributo similar a la impedancia interna pero a frecuencias diferentes de la nominal (p.e. 60 Hz frecuencia de potencia). El conocimiento de esta impedancia de transferencia hacia adelante permite al diseñador conocer la capacidad de la fuente de potencia de suministrar la corriente de carga (a frecuencias de las armónicas) necesaria para mantener una buena onda de voltaje de salida. Generalmente, el rango de frecuencias de interés va de 60 Hz a 3 kHz, para sistemas de potencia de 5 a 60 Hz, y de 20 a 25 kHz para sistemas de potencia de 380 a 480 Hz.

impulso. Ver transitorio

Impulso. Un pulso que, para una aplicación dada, próximo a un pulso unitario o función Dirac. Cuando se usa en relación al monitoreo de calidad de potencia es preferible el uso del término impulso trascendente en lugar de impulso.

Impulso Trascendente. Un cambio imprevisto en la frecuencia en estado estable de voltaje o comente el cual es unidireccional en polaridad (positivo o negativo).

Instantáneos. Cuando se usa como un modificador para cuantificar la duración de una variación corta, referido al tiempo rango de 0.5 a 30 ciclos en la frecuencia.

Interarmónicas (componente). La componente de frecuencia de un periodo cuantificado que no es un múltiplo entero de la frecuencia a la cual opera el sistema.

Interrupción. La pérdida completa de voltaje durante un periodo de tiempo. (Ver Fig. 2-2)

Interrupción de voltaje. Desaparición de el suministro de voltaje en una o más fases, usualmente calificado por un término adicional indicando la duración de la interrupción (ejem. momentáneo, temporal o sostenido).

Interrupción Momentánea. Una interrupción de duración limitada al periodo requerido para restaurar el servicio ya sea automáticamente o manual. Como se recomienda el tiempo en el cual se switchea no debe exceder 5 min.

Interrupción sostenida. Una interrupción no clasificada como momentánea.

Interrupción sostenida (power quality). Una variación de larga duración. La pérdida completa de voltaje (menor a 0.1 pu) en un o más conductores por fase por un tiempo superior a 1 min.

Interrupción temporal. Una eo por capacitores de un oscilatorio trascendente de voltaje en el lado primario por capacitores o el secundario de un transformador.

IT. Transformador de aislamiento.

M

M-G. Grupo motor - generador/ alternador.

MCT. Bandeja Metálica para Cables.

Modo de falla. El efecto producido al presentarse una falla [4]

Modo de corte. El efecto por medio del cual es observada la falla.

Momentáneo. Se usa como un modificador para cuantificar la duración de una variación corta, referida a un rango de tiempo de la frecuencia de 30 ciclos a 3 seg.

Monitor de disturbio de potencia. Instrumentos desarrollados específicamente para analizar mediciones de voltaje y corriente.

MTBF. Tiempo Medio entre Fallas.

N

NEMP. Pulso Nuclear Electromagnético.

NEC. Código Eléctrico Nacional (E.U.A.).

Nivel de disturbio total. El nivel de disturbio electromagnético dado por la superposición de la emisión de todas las partes del equipo en un sistema dado.

NIST. Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (E.U.A.).

Notch (corte). Una interrupción u otro disturbio de la onda normal de voltaje de menor duración que un medio ciclo. El cual es iniciado por una polaridad opuesta a la forma de onda en términos de el máximo valor (pico) de el disturbio del voltaje. Esto incluye perdidas completas de voltaje de medio ciclo en adelante.

Número de armónicas. El número integral viene dado por una proporción de la frecuencia de la armónica a la frecuencia fundamental.

O

OEM. Fabricante Original del Equipo.

Onda. Ver transitorio.

Oscilación (swell). Incremento en el voltaje RMS de CA, a la frecuencia de potencia, para intervalos que van desde medio ciclo hasta algunos segundos. Ver sobrevoltaje y ondas. Ver Fig. 2-6.

Outage. Ver interrupción

Oscillatory transient. Un imprevisto, no cambia en la frecuencia en el estado estable del voltaje o corriente que incluye otro valor de polaridad positivo o negativo.

P

Parpadeo (Flicker). Variación del voltaje de entrada con una duración suficiente para ser percibida visualmente como un cambio en la intensidad en la fuente de luz eléctrica.

PC. Computadora Personal.

PDU. Unidad Distribuidora de Potencia.

PLC. Acondicionador de Potencia de Línea .

Potencia comercial. Potencia eléctrica proporcionada por la compañía suministradora.

Pulso. Una abrupta variación de duración corta de una magnitud física, seguida por un rápido retorno al valor inicial.

PWM. Modulación por Ancho de Pulso.

R

Rango de voltaje de entrada (de un sistema). Rango de voltaje al cual el sistema puede operar.

Recierre. La compañía comúnmente realiza en líneas elevadas el recierre de breaker en poco tiempo después de eliminada una falla. Tomando ventaja de el factor que mas fallas están trascendiendo o transitorio.

Recierre instantáneo. Un termino aplicado al recierre del breaker de una compañía tan rápido como es posible después de la interrupción. Sus tiempos típicos son de 18 a 30 ciclos.

Recierre sincrónico. Se refiere a un recierre de los tres polos de un switch en sincronía con el sistema para eliminar transitorios.

Recierre temporal. Se usa para modificar la cantidad de duración de una variación corta referida a un rango de tiempo de 3 seg. a un min.

Regulación de carga desbalanceada. Especificación que define la máxima diferencia de voltaje entre C/U de las salidas de las tres fases que ocurre cuando la carga en cada fase tiene diferentes niveles.

Red de tierra. Un sistema interconectado de barras conductoras acomodadas de acuerdo a un patrón especificado para un área sobre la superficie del terreno. (El propósito primario de la red de tierra es proporcionar seguridad a los trabajadores al limitar las diferencias de potencial dentro de un perímetro manteniendo niveles seguros en caso de que elevadas corrientes puedan fluir si el circuito se vuelve a energizar por alguna razón o bien por la operación indebida de un circuito adyacente que vuelve a energizar. Las superficies metálicas y rejillas también se utilizan con el mismo propósito [4]). Este término no deberá ser utilizado cuando se haga referencia a estructuras de referencia de señal.

Regulación de voltaje. Grado de control o estabilidad en el voltaje RMS en la carga. Comúnmente se especifica en relación a otros parámetros tales como cambio en los voltajes de entrada, cambio de las cargas, o cambios de temperatura.

Resonancia armónica. Es una condición en la cual el sistema esta en resonancia cerca de las mayores armónicas producidas por elementos no lineales en el sistema, así exacerbando la distorsión armónica.

Respuesta en frecuencia. En calidad de potencia generalmente se utiliza para la variación de impedancia de el sistema, o un transductor contador, como una función de la frecuencia.

RFI. Interferencia de Radio Frecuencia.

RMC. Conduit Rígido Metálico .

Ruido. El ruido eléctrico es indeseable en señales eléctricas ya que produce efectos indeseables en los circuitos de los sistemas de control en los cuales aparece

Ruido, modo común. Ver ruido en modo común.

Ruido en modo común. Voltaje que aparece en las fases cada vez que hay conducción de corriente a través del conductor a tierra.

Ruido en modo transverso (con referencia a cargar dispositivos alimentados por potencia de CA). Señal de ruido medida entre circuitos conductores alimentadores de la carga en materia, pero no entre el sistema conductor de tierra ni asociado a la estructura de referencia de señal y los circuitos de conductores activos.

S

Sag. Reducción en el voltaje de CA a la frecuencia de potencia, durante intervalos que van desde medio ciclo hasta algunos segundos. Ver corte o sobrevoltaje. Ver Fig. 2-5.
NOTA: En la terminología de la IEC se denomina como dip.

SDS. Sistema de CA Derivado por Separado.

SE. Servicio de Entrada (acometida).

Seguridad de tierra. Ver conductor de equipo a tierra.

Señal referida a la Red(o plano). Un sistema de conductores entre un equipo interconectado, el cual reduce el ruido inducido a niveles de voltaje los cuales minimizan su impropia operación. Comúnmente esta configuración incluye redes y planos.

SG. Sólidamente Aterizado.

Shield (tapa). Normalmente aplicado a la instrumentación de cables, una tapa se refiere a un conductor cerrado (usualmente metálico) sobre la superficie de un conductor o conductores los cuales pueda ser susceptibles o generadores de campos electromagnéticos no deseados(ruido).

Shielding. Es el uso de un conductor y/o barrera ferromagnética entre una fuente de ruido y un circuito sensitivo. Las tapas se utilizan para proteger cables y circuitos electrónicos, pueden ser en forma de barreras metálicas, cercas o envolventes alrededor de las fuentes y circuitos receptores.

Shielding (of utility lines). La construcción de un conductor a tierra o torre sobre las líneas para interceptar rayos en un intento para aportar las corrientes de los rayos del sistema.

SI. Sólidamente Interconectado.

Sistema de tierra aislado (isolated equipment ground). Un sistema o conductor de tierra, aislado, que va en el mismo conducto (conduit) o charola (raceway) como los conductores de fase. Este conductor está aislado de las charolas metálicas y de todos los puntos aterrizados a lo largo de su longitud. Esto origina que exista un tipo de receptáculo aislado de tierra o un bloque de terminales a la entrada de un equipo y que termine en el punto donde el neutro y la tierra se conectan a la fuente de potencia. (Este término se define en forma más específica en el NEC [2], secciones 250-74 y 250-75).

Slew rate. Razón cambio de frecuencia (Voltaje de CA).

Sobrevoltaje. Un incremento en el voltaje RMS de CA a la frecuencia de potencia, con duración de más de alguno segundos. Ver incremento y onda.

Sostenido. Se usa para cuantificar la duración de una interrupción del voltaje, referido a el tiempo determinado asociado con una larga variación (mayor a 1 min.)

SRG. Rejilla de Referencia de Señal.

SRP. Plano de Referencia de Señal.

SRS. Estructura de Referencia de Señal

Standby. Estado en el que los equipos esperan alguna señal para realizar una determinada función.

Swell (aumento). Un incremento temporal en el valor del voltaje RMS de más de 10 % del voltaje nominal a la frecuencia del sistema con duración de 0.5 ciclos a 1 min.

T

THD. Distorsión Armónica Total.

Tiempo de recuperación. El intervalo de tiempo necesario para que el voltaje o corriente de salida regresen a un valor acorde con la especificación de regulación después de un paso de carga o cambio de línea [2]. También puede indicar el intervalo de tiempo requerido para permitir al sistema regresar a su condición de operación después de una interrupción .

Tiempo de transferencia (en una fuente ininterrumpible de potencia). El tiempo que toma una fuente de potencia ininterrumpible para transferir su carga crítica desde la salida del inversor hacia la fuente alterna o de regreso otra vez..

Tierra. Conexión no intencionada, accidental, a través de la cual un equipo es conectado a tierra o algún cuerpo conductor relativamente grande en extensión que puede servir como tierra.

NOTA: Esta es usada para establecer y mantener el potencial a tierra (o del cuerpo considerado como tierra) o bien aproximar dicho potencial en los conductores conectados a ella y para conducir corrientes a tierra (o al cuerpo considerado como tierra) [4].

Tierra, radial. Conexión conductora para dividir circuitos eléctricos o equipo que se conecta a tierra en un punto. Algunas veces se refiere como tierra en estrella.

Tierra, referencia a, de señales de alta frecuencia. Ver estructuras de referencia de señal.

Transitorio. Un subciclo de disturbio en la onda de CA, que es representada por una breve discontinuidad (transitorio) en la forma de onda. Pudiendo ser por cambio de polaridad o por sumar o restar a la onda nominal. Ver oscilación, corte o sobrevoltaje.

Trascendente. Para designar un fenómeno o cantidad la cual varía entre dos estados estables consecutivos durante un intervalo de tiempo de interés. Un trascendente puede ser un pulso unidireccional de una u otra polaridad o una baja oscilación en la onda con la primera punta que ocurra en una polaridad.

Triples armónicas. Un término frecuentemente usado para referirse a extraños múltiplos de la tercera armónica los cuales merecen especial atención porque de su naturaleza tendencia es ser secuencia cero.

TVSS. Supresor de Ondas Transitorias de Voltaje.

U

UL. Underwriters Laboratories. Laboratorios de Certificación de Seguridad en E.U.A.

UPS. Fuente Ininterrumpible de Potencia .

V

Variación de corta duración. Una variación del voltaje RMS del voltaje nominal por un tiempo mayor que un medio ciclo de la frecuencia pero menor o igual a 1 min. Usualmente se describe usando un indicador de magnitud de una variación de voltaje (ejemplo Sag, swell, o interrupción) y posible una modificación indicando la duración de la variación (ejemplo instantáneas, momentáneas o temporales).

Variación prolongada. Una variación del valor RMS del voltaje nominal por un tiempo mayor a 1 min. frecuentemente se indica usando una modificación indicando la magnitud de la variación del voltaje.

VDT. Monitor de Video.

Ventana de tierra. El área a través de la cual todos los conductores a tierra incluyendo las charolas (raceways), entran a una área específica. Este término se usa comúnmente en los sistemas de comunicaciones, para que cada sistema de tierras sea conectado a un área tal que de ninguna otra manera no pueda tener tierra.

Voltaje de desconexión. El voltaje al cual un dispositivo puede permanecer en posición de desenergizado

Voltaje de recuperación. Voltaje que aparece a través de las terminales de un polo de un dispositivo interruptor de circuitos al realizar el corte de la corriente.

Voltaje desequilibrado. Una condición en la cual las tres fases tienen voltaje diferente en amplitud o están desplazadas por su posición normal 120° o arcos. Frecuentemente se expresa como la proporción de la secuencia negativa o cero de voltaje a la secuencia positiva, en porciento.

Voltaje dip. Ver sag.

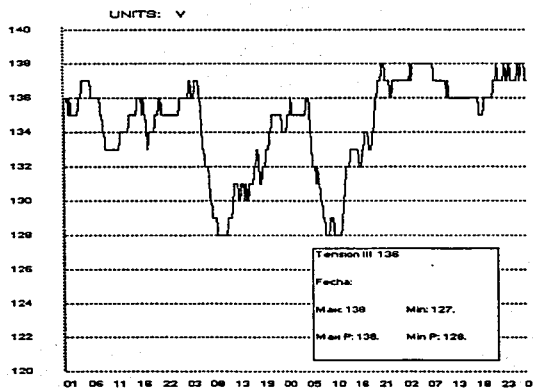
Voltaje en modo común. El ruido de voltaje que aparece igualmente por el conductor que lleva la corriente a tierra.

Voltaje en modo diferencial. El voltaje entre dos sitios específicos de conductores activos.

Voltaje en modo normal. Un voltaje que aparece entre o en medio de los conductores.

Voltaje nominal. Un valor nominal asignado para un circuito o sistema para el propósito de designar convencionalmente su clase de voltaje (tales como 208/120, 480/277 o 600).

ANEXO II
GRÁFICAS DE COMPORTAMIENTO



Inventado III 706
Fecha:
Max: 1210 Min: 315
Max P: 1203 Min P: 315

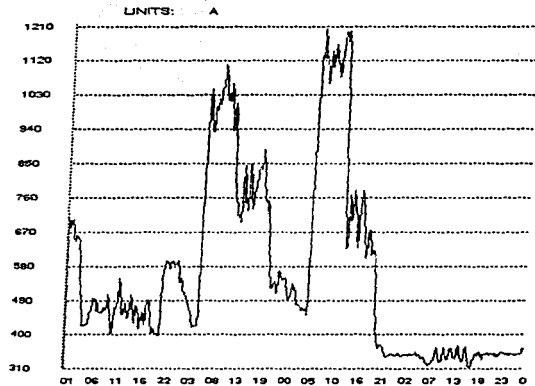


Grafico de barras: UNITS: V A

