



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN**

INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA

***“IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA
PARA CARGAS CRÍTICAS Y COMUNICACIONES”***

T E S I S

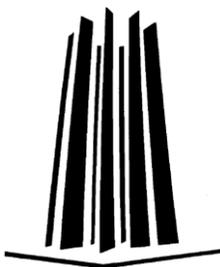
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
ÁREA: ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA

PRESENTADA POR:
OSCAR MONTES DE OCA GERÓNIMO

ASESOR:
ING. RAÚL BARRÓN VERA

ESTADO DE MÉXICO

2009





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Aragón

DIRECCIÓN

OSCAR MONTES DE OCA GERONIMO

Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Facultad, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:

"IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA
PARA CARGAS CRÍTICAS Y COMUNICACIONES"

ASESOR: Ing. RAÚL BARRÓN VERA

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 9 de septiembre de 2009.

EL DIRECTOR

M. en I. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ



Handwritten initials

C p Secretaria Académica
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica
C p Asesor de Tesis

GGSG/AIR/v

Handwritten signature

Agradecimientos

A mi madre:

Que con su apoyo y su cariño me supo guiar, siempre te preocupaste por darnos consejos y tu apoyo aunque ya no esta con nosotros nunca te olvidare, gracias los momentos inolvidables que me regalaste, te quiero mucho mamá.

A mi padre:

Gracias a tus consejos y tus enseñanzas aprendí a valorar la vida, a tu apoyo, gracias papá.

A mi esposa:

Gracias por tu apoyo incondicional que me has dado, por ser una buena compañera y mi mejor amiga, por el tiempo que me has regalado, y sobre todo porque eres una persona muy especial para mi. Te quiero mucho, Piedad mi chiquita preciosa.

A miguel y Valeria:

Mis queridos hijos, a los que quiere y espero guiar de la mejor manera posible, espero que todo lo que se propongan lo logren, que se realicen en lo personal y en lo profesional, los adoro mi par de chiquitos.

A mi asesor:

Gracias a sus consejos y conocimientos para la realización de este trabajo, Por ser un excelente profesor, y una gran persona.

A la universidad:

Que me brindo la oportunidad de ser parte de una gran institución, y contribuir con los excelentes profesionistas que forma día con día.

IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA CARGAS CRÍTICAS Y COMUNICACIONES

INDICE

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1 CALIDAD DE ENERGÍA Y DISTURBIOS ELECTRICOS

1.1	Generalidades de la calidad de energía	10
1.2	Categoría del problema	11
1.2.1	Transitorios	11
	a. Características y orígenes de los transitorios	11
	b. Clasificación de transitorios de acuerdo a su origen	11
	▪ Transitorios por conmutación	12
	▪ Transitorios por descarga atmosféricas	12
	▪ Transitorios por descarga electrostática	12
	b. Protección contra transitorios	12
1.2.2	Variación de tensión	13
	a. Baja tensión (sags)	13
	b. Sobre tensión (swells)	14
	c. Interrupciones	15
1.2.3	Desbalance de tensión	16
1.2.4	Fluctuaciones de tensión Flicker	17
1.2.5	Variaciones de frecuencia	18
1.2.6	Distorsiones de la forma de onda	18
	a. Inserción de corriente continua	18
	b. Armónica	19
	c. Inter-armónica	19
	d. Notching	19
	e. Ruido eléctrico	20
1.3	Fuentes de armónicas	21
	a. Balastros fluorescentes	21
	b. Variadores electrónicos de velocidad	21
	c. UPS´s estáticos	21
	d. Rectificadores	22
	e. Filtros	22
1.4	Efectos de las armónicas sobre las cargas eléctricas	22
	a. Sobre transformadores y generadores	22
	b. Sobre motores	23
	c. Sobre conductores	23
	d. Sobre la barra de neutro	23
	e. Sobre tableros de distribución	24

f.	Sobre tableros de distribución	24
g.	Sobre capacitares empleados para corregir el factor de potencia	24
h.	Sobre dispositivos de protección contra sobre corriente	24
i.	Sobre dispositivos de protección	25
j.	Sobre los instrumentos de medición	25
k.	Sobre los equipos electrónicos	25
l.	Sobre los reguladores de tensión	25
m.	Sobre los sistemas de comunicación	25
1.5	Las armónicas y el factor de potencia	25
1.5.1	Resonancia armónica	26
1.5.2	Problemas del conductor neutro recalentado	27
1.5.3	Métodos para reducir la presencia de armónicas	29
a.	Reactores de línea	29
b.	Filtros de armónicos	29
c.	Acondicionadores de potencia	31

CAPITULO 2 SISTEMA DE TIERRA FÍSICA PARA SITIOS SENSIBLES

2.1	Propósito de tipos de sistemas de puesta a tierra	32
2.1.1	Puesta a tierra de los sistemas eléctricos	33
2.1.2	Puesta a tierra de los equipos eléctricos	34
2.1.3	Puesta a tierra de señales electrónicas	36
2.1.4	Puesta a tierra de equipos electrónicos	38
2.1.5	Puesta a tierra de protecciones atmosféricas	40
a.	Descargas atmosféricas	40
b.	Sistema pararrayos	40
c.	Protección de estructuras de edificios	41
d.	Protección de torres de comunicación	42
2.1.6	Puesta a tierra de protecciones electrostáticas	42
2.2	Mediciones de resistividad para diseño	43
2.2.1	La tierra y la resistividad	43
2.2.2	Sales solubles	43
2.2.3	Composición del terreno	44
2.2.4	Estratigrafía	44
2.2.5	Granulometría	44
2.2.6	Estado hidrométrico	44
2.2.7	Temperatura	44
2.2.8	Compactación	44
2.3	Medición de la resistividad del suelo	45
2.3.1	Método de wenner	45

2.4	Materiales de puesta a tierra	46
2.4.1	Electrodos de puesta a tierra	46
2.4.2	Electrodos de puesta a tierra específicamente constituidos	47
	a. Electrodo de varilla	47
	b. Electrodo de placa	48
	c. Estructuras metálicas enterradas	48
2.4.3	Mallas	48
2.5	Aspectos que se deben de tomar para mejorar la puesta a tierra	49
2.5.1	Mejoramiento de la resistencia a tierra	49
	a. Varillas de mayor diámetro	49
	b. Varillas más larga	50
	c. Varillas en paralelo	50
2.6	Mejoramiento del terreno	50
2.6.1	Conectores	52
2.6.2	Registros	53
2.6.3	Conductores del electrodo de puesta a tierra	53

CAPITULO 3 TECNOLOGÍA DE PROTECCIÓN, ACONDICIONAMIENTO DE LINEAS

3.1	Sobredimensionar la instalación	54
3.2	Técnicas de cableado	55
3.3	Agregando dispositivos	55
3.3.1	Regulador de tensión	55
3.3.2	Filtros de armónicos	56
3.3.3	Supresores de transitorios	57
	a. Dispositivos de descarga	58
	b. Dispositivos de enclavamiento de tensión	58
	c. Dispositivos de atenuación	59
	d. Dispositivos híbridos	60
3.3.4	Transformador de aislamiento	60
	a. Transformador estrella-delta	61
	b. Transformador de doble secundario	61
3.3.5	Fuentes de energía ininterrumpibles (UPS)	61
	a. UPS online	62
	b. UPS offline	63
	c. UPS de línea interactiva	63
3.3.6	Conmutadores de estado sólido	64
3.3.7	Acondicionadores de línea	64
3.4	Criterio de evaluación y selección	65

CAPITULO 4 UPS UNIDADES DE ENERGÍA ININTERRUMPLIBLES

4.1 ¿Qué es un UPS?	67
4.2 Clasificación de los UPS	67
a. UPS de corriente continúa	67
b. UPS de corriente alterna	67
4.3 UPS estáticos	68
a. Interactivo o stand by	68
b. Online	68
4.4 UPS Interactivo	69
4.4.1 Análisis de bloque de un UPS interactivo	70
4.5 UPS Online	72
a. Rectificador	72
b. Inversor	73
c. Modulación por ancho de pulso (PWM)	74
d. Switch estático o bypass	79
e. Filtro de salida	79
4.6 UPS de alta potencia, configuraciones especiales	80
4.6.1 UPS Online en paralelo	82
4.6.2 Redundancia secuencial	84
4.6.3 Sistema paralelo redundante, con doble juego de barras	85
4.6.4 Sistema con multi bypass	85
4.6.5 Sistema de redundancia total	86
4.6.6 Power Tie	87
4.6.7 Switch de transferencia estático (STS)	88

CAPITULO 5 PLANTAS GENERADORAS DE EMERGENCIA

5.1 ¿Que es una planta generadora de emergencia?	92
5.2 Plantas eléctricas de combustión internas	92
5.3 Clasificación de las plantas eléctricas	92
5.3.1 Por su operación	93
a. Los grupos electrógenos manuales	93
b. Los grupos electrógenos semiautomáticos	93
c. Los grupos electrógenos aut. (ATS) Aut. Transfer Switch	94
d. Los grupos electrógenos Aut. para sincronía (Peak Shaving)	94
5.4 Componentes principales de una planta eléctrica	95
5.4.1 Motor de combustión interna	96
a. Sistema de combustible	96
b. Tanque de combustible	97
c. Filtro de combustible	97
d. Bomba de inyección	97

- Gobernador hidráulico	98
- Gobernador mecánico eléctrico	98
- Gobernador mecánico	98
e. Bomba de transmisión de diesel	98
f. Sistema de calentamiento y enfriamiento del motor	98
- Precalentador de Agua	99
g. Sistema de protección del motor	99
- Falla de temperatura del agua (critica)	100
- Falla de presión de aceite	100
5.4.2 Sistema eléctrico del motor de combustión interna	100
a. Sistema de arranque del motor	100
b. Sistema eléctrico de carga del motor	101
c. Acumulador	102
d. Alternador	103
e. Regulador de voltaje del alternador	103
5.4.3 Generador sincrónico	103
a. principio de operación del generador sincrónico	104
b. Regulador de voltaje del generador	104
5.4.4 Sistema de transferencia	105
a. Circuito de control de transferencia	105
b. Sistema de transferencia automática	106
c. Interruptor de transferencia	106
5.4.5 Introducción a los controles	106
a. Sistema de control de maquinas manuales (sistema básico)	106
b. Control GENCON II	107
5.4.6 Sincronía	108
a. Sistema básico	108
b. Sistema de sincronía con red	108
CONCLUSIÓN	109
ANEXO 1 Guía rápida para diagnóstico de instalaciones	112
Guía rápida de los principales dispositivos	113
ANEXO 2 NORMA oficial mexicana NOM-001-SEDE-2005	115
Normas utilizadas en el capítulo 2, tierra físicas	
ANEXO 3	124
BIBLIOGRAFÍA	139

Introducción

El suministro de energía eléctrica es uno de los principales servicios en la sociedad moderna para soporte de la vida cotidiana. Los consumidores de electricidad poco a poco han tomado conciencia de la necesidad de contar con un servicio de alto nivel en términos de alta tensión proporcionada por las compañías suministradoras conocidas como calidad de energía. Ya que la calidad del servicios de suministro de energía eléctrica soporta y apuntala la vida comercial y social de los países.

Actualmente en México solo cuenta con algunas recomendaciones para algunos factores de calidad de energía, sin embargo opiniones de las compañías suministradoras indican que es indispensable disponer de regulaciones en material de calida de energía tal como es en cuestión de corriente de armónicos y fluctuaciones de tensión.

Capitulo 1 Calidad de energía y disturbios eléctricos

En este capitulo se hablara de la necesidad de obtener una calidad de energía eficiente, Para iniciar el tratamiento del tema es necesario entender cuales son las perturbaciones de la calidad de energía que pueden ocasionar problemas en las cargas sensibles, este tipo de perturbaciones son:

- Transitorios
 - Transitorios de Impulso
 - Transitorios oscilatorios
- Variaciones de Tensión
 - Baja-tensiones (sags)
 - Sobre-tensiones (swells)
 - Interrupciones (interruptions)
- Desbalance de tensiones (Voltage unbalance)
- Fluctuaciones de Tensión (Flicker)
- Variaciones en la frecuencia de la red
- Distorsiones de la Forma de onda (waveform distortion):
- Inserción de Corriente Continua (DC Offset)
- Armónicas (Harmonics)
- Ínter - Armónicas (Interharmonics)
- Notching
- Ruido eléctrico (Noise)

La presencia de *Armónicas* constituye una de las problemáticas más frecuentes: de la Calidad de la Energía, lo que justifica una comprensión integral del problema.

Se hablara de las fuentes de armónicos, efectos que tienen en las cargas eléctricas, instalaciones y sobre el neutro.

Capítulo 2 Sistemas de tierras físicas para sitios sensibles

El tema de tierras físicas es sumamente importante en la calidad de energía, la correcta aplicación de los términos de tierras físicas puede ahorrarnos muchos problemas que se reflejan en la carga principal de nuestro sistema.

La tierra física es un conexión de seguridad que se diseña en los equipos eléctricos y electrónicos para protegerlos de los disturbios o transitorios imponderables, por lo cual pudieran resultar dañados, dichas descargas surgen imprevistas tales como los fenómenos artificiales o naturales, descargas electrostáticas, interferencia electromagnéticas, descargas atmosféricas y errores humanos.

Los sistemas de tierra debe cerrar únicamente el circuito eléctrico que le corresponde

En este capítulo se menciona consideraciones que se deben de tomar encuentra para la puesta a tierra de sistemas eléctricos, señales electrónicas, protecciones atmosféricas y protecciones electrostática.

La importancia de la resistividad del terreno para el diseño y los diferentes puntos que se consideran: las sales solubles, composición del terreno, estratigrafía, granulometría, temperatura y compactación. El método de Wenner para obtener la resistividad del terreno.

Existen varios electrodos de puesta a tierra, los cuales son: electrodo de varilla, electrodo de placa, estructuras metálicas enterradas, y mallas.

En la práctica, cuando la resistencia del electrodo único mencionado, excede del valor buscado, esa resistencia se puede reducir de las siguientes maneras: implementación de varillas de mayor diámetro, varillas más largas, varillas en paralelo. Cuando lo anterior ya no es posible, se tiene que mejorar el terreno mismo mediante productos químicos. Pero, tiene el inconveniente de ser una solución costosa y que bajo ciertas circunstancias se requiere de mantenimiento. El relleno ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y a la vez buen conductor eléctrico.

Capítulo 3 Tecnología de protección, acondicionamiento de líneas

Actualmente, se dispone de una amplia variedad de dispositivos para obtener una correcta calidad de la energía en todos los equipos atendidos. La selección de los equipos necesarios requiere analizar previamente si el equipo a proteger es crítico y, en ese caso, los tiempos que puede tolerar.

Las técnicas de acondicionamiento se han incrementado, tanto en su variedad como en su complejidad; las más comunes que se suelen emplear son:

- Sobredimensionar la instalación.
- Técnicas de Cableado:
 - a) Aumento en la sección del neutro
 - b) Separación de Fases

La implementación de dispositivos:

- a) Reguladores de tensión
- b) Supresores de Transitorios
- c) Transformadores con blindaje de aislamiento
- d) Sintetizadores magnéticos
- e) UPS estáticas

- d) UPS rotativas
- f) Conmutadores de estado sólido
- g) Acondicionadores de línea

Una sola tecnología no es suficiente para solucionar problemas de calidad de energía, se debe de hacer un análisis considerando la carga a proteger. Posteriormente se considera la efectividad de cada tipo de acondicionador de potencia para resolver los problemas examinados y, finalmente se analiza el costo y la efectividad de cada tecnología disponible.

Los requerimientos de los equipos electrónicos sensibles, en términos de alimentación de energía limpia, se pueden obtener de los fabricantes de dichos equipos.

Capítulo 4 UPS Unidades de energía ininterrumpibles

Un UPS es un sistema que provee de energía eléctrica ininterrumpible a una carga determinada, para lograr esto se requiere de una fuente de energía que alimente a nuestro equipo, esta energía es tomada de una banco de baterías que alimenta directamente al inversor que se encarga de suministrar energía a la carga crítica.

Los UPS se clasifican en: de corriente directa, de corriente alterna, estáticos, interactivos, y UPS online, estos últimos son a los que nos vamos a enfocar en este capítulo.

Los UPS online o de doble conversión: estos UPS alimentan constantemente a la carga. En estos UPS, la carga no conoce de donde proviene la energía que la esta alimentando, sin presentar interrupciones a su salida, salvo los equipos que dispongan de un bypass estático a línea. Aquí la energía de línea ingresa y es acondicionada por el filtro de línea, luego el rectificador transforma en corriente continua y la divide, una parte la destina a sostener la carga de las baterías y la otra al inversor, el inversor genera la onda de salida que alimentara la carga.

Los UPS online de alta potencia manejan distintas configuraciones las cuales permite aumentar la potencia o aplicar redundancias

Cuando hablamos de alta potencia nos referimos a equipos de potencias superiores a los 40/60KVA, como mención en la marca de UPS, hay equipos individuales hasta los 800KVA y luego mediante la conexión en paralelo se puede llegar hasta los 4.800KVA. Algunas características son:

- Se trata siempre de equipos trifásicos-trifásico, es decir la entrada es alimentada por un sistema Trifásico, y la salida es un sistema Trifásico.
- Admiten diferentes configuraciones de Neutro.
- Tienen integrado en si mismo el By-pass manual para mantenimiento. Que permite desconectar la unidad totalmente, para efectuarle mantenimiento.
- Admiten una configuración de By-pass estático separado, es decir físicamente fuera de la UPS. A veces se suelen conectar varias UPS en paralelo (para redundancia) con un único bypass.
- Alimentación separada del by-pass estático y del rectificador, esto permite elegir entre dos fuentes de energía.
- Capacidad de sincronismo entre dos UPS, distantes que no estén conectadas en paralelo, configuración muy utilizada en el caso de los STS (Switch de transferencia estático).

Capítulo 5 Planta generadora de emergencia

Para obtener continuidad de la energía eléctrica, es necesario la implementación de sistemas de respaldo, como son UPS'S y plantas de emergencia, estas últimas tienen la finalidad de suministrar la energía eléctrica necesaria para sostener la carga en casos de fallas de energía, por algún tipo de contingencia en las compañías encargadas del suministro eléctrico.

Las plantas generadoras para servicio continuo, se aplican en aquellos lugares en donde no hay energía eléctrica por parte de la compañía suministradora de éste tipo, o bien en donde es indispensable una continuidad estricta, tales como: en una radio transmisora, un centro de cómputo, etc.

Los grupos electrógenos para servicio de emergencia, se utilizan en los sistemas de distribución modernos que usan frecuentemente dos o más fuentes de alimentación.

Su aplicación es por razones de seguridad y/o economía de las instalaciones en donde es esencial la continuidad del servicio eléctrico, por ejemplo:

- Instalación en hospitales, en áreas de cirugía, recuperación, terapia y cuidado intensivo, laboratorios, salas de tratamiento, etc.
- Para la operación de servicios de importancia crítica como son los elevadores públicos, bombeo de aguas residenciales, etc.
- Instalaciones de alumbrado de locales a los cuales un gran número de personas acuda a ellas como son: estadios, deportivos, aeropuertos, transporte colectivo (metro), hoteles, cines, teatros, centros comerciales, salas de espectáculos, etc.
- En instalaciones de computadoras, bancos de memoria, el equipo de procesamiento de datos, radares, etc.

En la actualidad existen diferentes sistemas de plantas generadoras de emergencias las cuales se clasifican por sus aplicación:

- Los grupos electrógenos manuales
- Los grupos electrógenos semiautomáticos
- Los grupos electrógenos Automáticos (ATS): Automatic Transfer Switch
- Los grupos electrógenos Automáticos para Sincronía (Peak shaving)

En este capítulo se tratará de explicar los componentes principales de las plantas de emergencia:

- El motor de combustión interna.
- El sistema eléctrico de control (tablero de control y/o transferencia)
- El generador sincrónico

Capítulo 1

Calidad de energía y disturbios eléctricos

1.1 GENERALIDADES SOBRE CALIDAD DE LA ENERGIA

El término *Calidad de la Energía (Power Quality)* se aplica a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos en sistemas de potencia.

La creciente aplicación de equipos electrónicos acrecentó el interés en la calidad de la energía y ello fue acompañado por el desarrollo de una terminología especial para describir estos fenómenos.

Desafortunadamente, esta terminología no se emplea de la misma forma en los diferentes segmentos de la industria, lo que ocasiona una gran confusión entre proveedores y usuarios acerca de porqué los equipos no funcionan adecuadamente, tal como se esperaba de ellos.

Las definiciones adoptadas se basan en la [IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality \(1159-1995\)](#) y en una serie de publicaciones de empresas especializadas.

El incremento en la productividad de las empresas se basa actualmente en los procesos continuos y en la producción just-in-time, que depende de una alimentación confiable, ininterrumpida y totalmente libre de perturbaciones. Ello explica porque la calidad de la energía tiene un impacto directo en la industria.

Cualquier incidente resulta en una detención temporaria de los procesos y puede representar pérdidas significativas de producción y descartes de materiales debido a la necesidad de limpiar las máquinas, reiniciar el proceso en la secuencia que se encontraba y recalibrar las líneas de producción de acuerdo a las especificaciones de proceso requeridas.

1.2 CATEGORIAS DEL PROBLEMA

Para iniciar el tratamiento del tema es necesario comprender cuales son las perturbaciones de Calidad de la Energía que pueden ocasionar problemas a las cargas sensibles.

A estas categorías de perturbaciones se les ha dado nombres y definiciones diversos, según el país o el área de la industria de que se trate. Un grupo de trabajo de la IEEE desarrolló un conjunto consistente de definiciones que son las que habitualmente se emplean para la coordinación de las mediciones. Sobre la base de estas definiciones las principales perturbaciones son:

- **Transitorios** (transients)
 - Transitorios de Impulso
 - Transitorios oscilatorios
- **Variaciones de Tensión**

- Baja-tensiones (sags)
- Sobre-tensiones (swells)
- Interrupciones (interruptions)
- **Desbalance de tensiones** (Voltage unbalance)
- **Fluctuaciones de Tensión (Flicker)**
- **Variaciones en la frecuencia de la red**
- **Distorsiones de la Forma de onda** (waveform distortion):
- **Inserción de Corriente Continua** (DC Offset)
- **Armónicas** (Harmonics)
- **Ínter - Armónicas** (Interharmonics)
- **Notching**
- **Ruido eléctrico** (Noise)

1.2.1 Transitorios

a) Características y Origen de los Transitorios

El término **Transitorio** es ampliamente utilizado en el análisis de las variaciones en los sistemas de potencia para denotar un evento que aparece momentáneamente.

Otra definición de uso corriente se refiere a los cambios de estado, y establece que un transitorio es "la parte del cambio en una variable que desaparece durante la transición de un estado instantáneo en la condición de operación a otro". Desafortunadamente, esta definición puede ser usada para describir cualquier situación inusual que ocurra en un sistema de potencia. Otro término de uso común, que se considera sinónimo de transitorio, es la palabra "*surge*", que se emplea en las distribuidoras de energía para describir el transitorio resultante de las descargas atmosféricas; de allí surgió el término "*surge arrester*" para describir a los supresores de transitorios.

No obstante, debido a que existen muchas ambigüedades potenciales con este término es conveniente evitar su empleo, a menos que se aclare específicamente a que nos estamos refiriendo. Un estudio de la General Electric determinó que un 20% de los transitorios se genera fuera de las instalaciones, mientras que el 80% se origina dentro de las mismas.

Los transitorios que se generan dentro de la instalación son consecuencia de la operación diaria de equipos, incluyendo desde las cargas inductivas, controles automatizados y las fuentes de alimentación no lineales, hasta la máquina copiadora, la impresora láser y el horno de microondas. Otra fuente interna es debida a la apertura de interruptores en circuitos de grandes corrientes.

b) Clasificación de Transitorios de acuerdo a su Origen

En un sentido amplio, podemos decir que existen tres tipos básicos de Transitorios:

- Transitorios por Conmutación.
- Transitorios por Descargas Atmosféricas.
- Transitorios por Descargas electrostáticas.

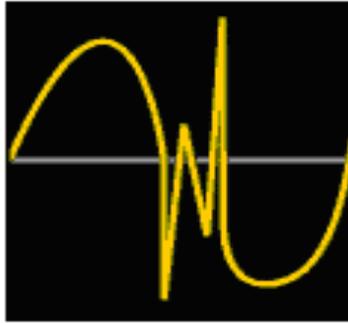


Fig. 1 Transitorio. Impulso o spike

Transitorios por conmutación:

Generalmente son debidos a la desconexión de una inductancia. Como el campo magnético del inductor colapsa, la energía almacenada es liberada, causando un pico de tensión que intenta mantener el flujo de corriente. Esto generalmente ocasiona que se peguen los contactos de relés resultando un transitorio explosivo. Tal suceso ocurre en el sistema de distribución de potencia cuando se desconecta la carga, se maniobra el banco de capacitores o sale de servicio una línea.

Transitorios por descargas atmosféricas:

Un rayo cercano a objetos sobre tierra o entre nubes produce campos electromagnéticos que pueden inducir tensiones en los conductores de circuitos primarios y secundarios. La caída directa de rayos sobre cables de alta tensión inyecta corrientes en circuitos primarios induciendo Sobre Tensiones.

Transitorios por descargas electrostáticas:

Son los que se producen cuando un elemento esta electrostáticamente mas cargado que otro, y ambos se pone en contacto. En este momento se produce una descarga que puede dañar o degradar los microchips. El cuerpo humano puede llegar a cargarse hasta 15KV electrostáticamente, y puede darse el caso de cargas menores en tiempo considerablemente mayores.

c) Protección contra Transitorios

El primer paso para proteger contra transitorios a computadoras y otras cargas sensitivas es ejecutar una buena instalación. Se requiere una puesta a tierra cuidadosa, con tierra equipotencial para la sala de computadoras. Con tierras pobres, la acción de supresores de transitorios puede no ser efectiva. La entrada a los edificios de las líneas de potencia y las de datos debe ser protegidas mediante descargadores. Las líneas de datos telefónicas, en cambio, son protegidas por la concesionaria telefónica.

La elección de los dispositivos supresores se realizará sobre la base de estas categorías. Las principales ventajas de instalar un dispositivo Supresor de Transitorios son:

- Los interruptores no se disparan sin causa aparente.
- Se evitan fallas en el funcionamiento de los microprocesadores.
- No se arruinarán los circuitos electrónicos sin explicación.
- Los motores no perderán velocidad durante su funcionamiento.
- Mejorará la expectativa de vida de los equipos.
- Disminuirán los problemas de arranques de tubos fluorescentes.
- Se evitará el problema de pérdida de memoria en computadoras o PLC durante su funcionamiento.
- Los relés de tiempo y medidores no darán lecturas incorrectas.
- Disminuirá el recambio de contactores, tubos fluorescentes, balastos, etc.
- Disminuirán los tiempos muertos y lucros cesantes por equipos fuera de servicio.

1.2.2 Variaciones de Tensión

Esta categoría comprende a las denominadas:

- a) Disminuciones de Tensión o Baja Tensión (*sags*)
- b) Incrementos de Tensión o Sobre Tensión (*swells*)
- c) Pérdidas Completa de Tensión o interrupciones (*interruptions*)

A su vez, y de acuerdo a la duración de las mismas, estas variaciones pueden ser:

Micro cortes o *Instantáneas*.

De *Corta Duración* o *Momentáneas*, si no exceden de 1 minuto.

De *Larga Duración* o *Temporarias*, cuando exceden de 1 minuto.

Las más comunes son las variaciones de tensión de corta duración, que están causadas por condiciones de falla, por la energización de cargas que requieran corrientes de arranque importantes o por pérdidas intermitentes de conexiónado en el cableado. En este caso, el impacto es de corta duración ya que es el período que transcurre desde que se verifican las condiciones de falla hasta que actúan los dispositivos de protección.

Estos problemas suelen ser corregidos o compensados con procedimientos comunes, como ser acondicionadores de línea o alimentadores de energía ininterrumpibles (UPS).

En los casos donde se debe garantizar la continuidad del suministro puede ser necesario el empleo de generadores de reserva.

a) Baja-tensiones (sag)

Se define como *Baja-tensión (sag)* a una disminución de entre el 10 y el 90% en los valores de tensión o corriente RMS, a la frecuencia de la red. Tal como se mencionó precedentemente, pueden ser *Instantáneas*, *Momentáneas* o *Temporarias*.

Cuando no se especifica otra cosa, una Baja-tensión de 20% debe considerarse como un evento durante el cual la tensión RMS decrece en un 20%, llegando a 0.8 del valor nominal. Para ser totalmente claros se debe especificar el valor base ó nomina

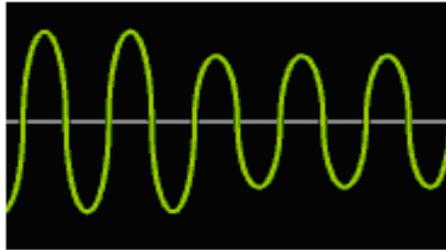


Fig. 2 Sag o bajo voltaje

Las consecuencias de las Baja Tensiones dependen de las cargas a las que alimentan pudiendo ocasionar en causar perdidas de memoria y / o de datos en las computadoras y daños físicos en los motores. Esto último ocurre debido a que no tienen control sobre sus cargas (los motores deben proporcionar el troqué y la velocidad requeridas por la carga que tienen conectada).

La gran mayoría de las perturbaciones tipo Baja-tensión se pueden asociar con fallas del sistema, pero también se pueden originar por la energización de cargas importantes o por el arranque de grandes motores.

b) Sobre-tensiones (swell)

Se define como **Sobre-tensión (swell)** a incrementos de entre el 10 y el 80% en la tensión o en la corriente RMS, a la frecuencia de la red. También en este caso podemos clasificarlas en: *Instantáneas, Momentáneas o Temporarias*.

Las Sobre-tensiones, generalmente están asociadas con fallas en las condiciones del sistema, como ser la falta de una fase en una falla de línea a tierra, aunque también se pueden producir por la salida de servicio de cargas importantes o por la energización de bancos de capacitores.

Los dispositivos de estado sólido y los controles computarizados son los más sensibles a tensiones superiores a la normal. Esto puede ser particularmente serio en procesos que requieran tiempos considerables para reiniciarse, o donde el trabajo en proceso se deteriore.

Los motores, como todos los dispositivos inductivos, tienen una gran capacidad para absorber Sobre-tensiones. Por esta razón, son bastante resistentes a daños físicos por valles, picos y Sobre-tensiones moderadas.

Las Sobre-tensiones se caracterizan por su valor eficaz (RMS) y su duración. La severidad de la sobre-tensión durante una condición de falla es función de la localización de la falla, de la impedancia del sistema y de la puesta a tierra.

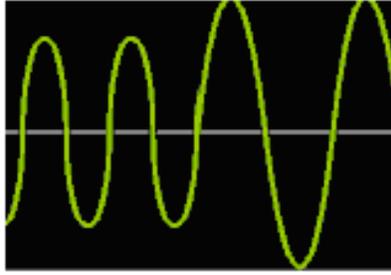


Fig. 3 Swell o sobre voltaje

c) Interrupciones

Una *interrupción* acontece cuando la tensión de suministro o las corrientes de carga disminuyen a menos de 10% de la nominal. Si esa Interrupción tiene una duración que no excede de 1 minuto se denominan de *Corta Duración* o *momentáneas*, si excede de dicho lapso estamos en presencia de una Interrupción de *Larga Duración* o *Temporaria*.



Fig. 4 interrupción momentánea

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema de alimentación, fallas de equipos, o un mal funcionamiento de los sistemas de control.

La duración de una interrupción debida a una falla en el sistema de la distribuidora está determinada por el tiempo de operación de los dispositivos de protección. Los reenganches instantáneos generalmente limitan las interrupciones causadas por fallas no permanentes a menos de 30 ciclos.

La demora en el reenganche de las protecciones puede causar una interrupción momentánea o temporaria. La duración de las interrupciones debidas a mal funcionamientos o malas conexiones suele ser bastante irregular.

Algunas interrupciones suelen ser precedidas por disminuciones temporarias de tensión.

Las *Interrupciones de Larga Duración*, conocidos también como "*blackout*" por su nombre en inglés, suelen estar causadas por tormentas, por accidentes o por fallas en los

equipos de las distribuidoras o de los usuarios. En general, estos cortes totales en la tensión requieren de la intervención humana para la reparación y restablecimiento del sistema.

Si los equipos de nuestra instalación deben permanecer en funcionamiento durante los cortes, se deben prever alimentaciones de soporte mediante Generadores de Emergencia, Baterías, o Fuentes de Energía Ininterrompible



Fig. 5 Interrupción de energía

1.2.3 Desbalance de Tensiones

El *Desbalance de Tensiones* es una condición en que la tensión en las tres fases difiere en amplitud y/o no tienen la separación normal entre fases de 120 grados. Se define como el máximo desvío del promedio de tensión de las tres fases, dividido por el promedio mencionado, expresado en %, esto es:

$$\text{Desbalance} = (\text{Max. desvío del prom.} / \text{prom. de tensión de las tres fases}) \times 100$$

Por ejemplo, las tensiones fase a fase son 370, 379 y 382, promediando 377. El desvío máximo del promedio es la fase de 370 volt. El desvío entre 370 y 377 es 7 volt. El porcentaje de desbalance es:

$$\text{Desbalance} = (7 / 377) \times 100 = 1,86\%$$

Cualquier sistema de potencia, aunque esté bien balanceado, siempre tiene en sus estados instantáneos un desbalance de tensiones del 1 al 1.5 % de su tensión nominal. Esto es causado por la asimetría en la geometría de las líneas de distribución sobrecalentadas, así como por cargas desbalanceadas, tanto en clientes con grandes cargas como por varios clientes monofásicos conectados al sistema de distribución. Los reguladores de tensión de una sola fase, con control de tensión de fase a tierra, pueden agravar el problema de desbalance de tensiones a los clientes aguas abajo.

La fuente principal de Desbalance de Tensiones (en general menor que el 2%) lo constituyen las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos. El Desbalance de Tensiones puede originarse también por fusibles fundidos en una fase de un circuito trifásico. Desbalance severos de tensión (superior al 5%) pueden originarse cuando el sistema queda con una única fase en operación.

Un Desbalance de Tensiones del 5 por ciento es el límite máximo aceptable; valores superiores no son admisibles debido al riesgo de sobrecalentamiento de las líneas.

Las empresas de energía suelen controlar constantemente este parámetro debido a su importancia, tanto en lo que se refiere a sus propios generadores como en las cargas de sus clientes.

1.2.4 Fluctuaciones de Tensión – Flicker

Las **Fluctuaciones de Tensión** son variaciones sistemáticas de tensión o series de cambios de tensión al azar, con una magnitud que normalmente no excede el 10% (en más o en menos) de la tensión especificada. Muchas veces las Fluctuaciones de Tensión suelen denominarse Flicker, y aún en las normas estos conceptos suelen estar vinculados. En realidad, el término **Flicker** o parpadeo es la impresión subjetiva del ojo humano respecto de la fluctuación de la luminancia, ocasionada por una serie de variaciones rápidas de tensión.

Desde un punto de vista técnico, las **Fluctuaciones de Tensión** son fenómenos electromagnéticos mientras que el *Flicker* es el resultado indeseable de las fluctuaciones de tensión en algunas cargas.

Los Flicker constituyen problemas difíciles de cuantificar y resolver; pero para que se constituyan en una molestia se debe dar la combinación de dos factores:

- 1) la fluctuación en la tensión de alimentación de los circuitos de alimentación
- 2) la presencia de una persona que observe el cambio en la intensidad de la luz originado en la fluctuación mencionada.

El factor humano complica el tema significativamente, por lo que históricamente los Flicker se trataron como un "problema de percepción". Los Flicker son siempre función de la sensibilidad del ojo humano; normalmente variaciones por debajo del 0.5% en los valores de Tensión ocasionan parpadeos imperceptibles de las lámparas.

Dado que las desviaciones pueden o no ser estrictamente periódicas las variaciones generalmente se expresan como un cambio en el valor RMS (su relación DV/V).

También existe una interpretación similar para las variaciones de la intensidad de la luz. Es decir que la señal de un *flicker* se define por su magnitud RMS expresada como un % de la fundamental.

Las Variaciones de Tensión son fácilmente medidas con los instrumentos tradicionales; ello dio lugar a las "curvas de Flicker", que están derivadas de experimentos controlados y determinan umbrales de percepción y / o de irritabilidad.

Como se trata de una impresión subjetiva, se consideró una muestra específica de la población, y se denominó "Umbral de Irritabilidad" a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada por el 50% de la muestra sin molestias. El intervalo de observación se limita a 10 minutos. A ese umbral de irritabilidad se lo valora como índice 1. Este índice se denomina "Índice de Severidad del Flicker de corta duración", abreviado PST.

El "Índice de Severidad del Flicker de Larga Duración" o PLT se calcula como promedio de los índices de corta duración en los doce intervalos de 10 minutos que hay en dos horas. Los equipos que suelen tener importantes variaciones de carga, y pueden provocar fluctuaciones de tensión son:

- máquinas de soldadura por resistencia
- grandes motores con cargas variables

- hornos de arco
- instalaciones de soldadura por arco

1.2.5 Variaciones de Frecuencia

Las *Variaciones en la Frecuencia de la red* se definen como la desviación de la frecuencia fundamental del sistema (valor nominal especificado), en nuestro país de 60 Hz. La frecuencia del sistema de potencia está directamente relacionada a la velocidad de rotación de los generadores de alimentación del sistema. Siempre existen pequeñas variaciones en la frecuencia como resultado de un balance dinámico entre las cargas y los cambios en la generación.

La amplitud de las variaciones de frecuencia y su duración depende de la respuesta a los cambios de cargas de los sistemas de control de la generación.

Las variaciones de frecuencia pueden exceder los límites aceptables para los estados instantáneos en la operación de los sistemas de potencia, pudiendo originar fallas que desconecten gran cantidad de cargas, o sacando de línea grupos importantes de generación.

En los sistemas modernos de interconexión de potencia prácticamente no ocurren variaciones significativas de frecuencia; sin embargo, este fenómeno ocurre más frecuentemente en cargas alimentadas por generadores aislados.

1.2.6 Distorsiones en la Forma de Onda

Uno de los atributos importantes de la Calidad de la Energía consiste en disponer de una alimentación de energía "limpia", que describe un sistema donde la forma de onda de tensión y corriente son sinusoides puras. Una distorsión de la forma de onda se define como una desviación instantánea respecto de la forma de onda de dicha senoide ideal. Existen cinco tipos principales de distorsión en la forma de onda, ellas son:

- a) Inserción de Corriente Continúa.
- b) Armónicas.
- c) Inter - armónicas.
- d) Notching.
- e) Ruido eléctrico.

a) Inserción de Corriente Continua

La presencia de una tensión o corriente continua en un sistema de potencia en corriente alterna se conoce por sus siglas en inglés como *DC offset*; suele ocurrir por el efecto de rectificación de media onda.

Las corrientes continuas en redes de corriente alterna ocasionan un efecto negativo en el núcleo de los transformadores, que se saturan en su operación normal. Ello ocasiona calentamientos adicionales y reducción de su vida útil.

La corriente continua puede causar también la erosión de los electrodos de tierra y otros conectores.

b) Armónicas

La presencia de *Armónicas* constituye una de las problemáticas más frecuentes: de la Calidad de la Energía, lo que justifica una comprensión integral del problema.

Las *Armónicas* son tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la que está diseñada para operar el sistema de alimentación (llamada frecuencia *fundamental*) que en México es de 60 hertz (ciclos por segundo).

La frecuencia de una tensión Armónica es un múltiplo de la frecuencia original. Por ejemplo, en un sistema de 60 hertz, la segunda Armónica será de 120 hertz, la tercera de 180 hertz, y así sucesivamente.

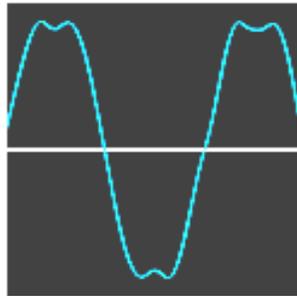


Fig. 6 Armónicas

c) Inter - armónicas

Las tensiones o corrientes con componentes de frecuencias que no son múltiplos enteros de la frecuencia a la que el sistema está diseñado para operar (en México 60 Hz) se llaman *inter - armónicas*. Estas pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro en la banda de frecuencias.

Los efectos de las *inter - armónicas* no están bien conocidos. Ellos pueden afectar tanto a las líneas de potencia, a las de señales o bien pueden inducir efectos visuales (flicker).

d) Notching

El *Notching* es una perturbación periódica de tensión causada por la operación normal de los dispositivos electrónicos cuando la corriente se conmuta de una fase a otra; se denomina por su nombre en inglés dado que no tiene una traducción literal en español. Los componentes de frecuencia asociados con los casos de *notching* pueden ser bastante altos y no pueden ser caracterizados con los dispositivos empleados normalmente para el análisis de Armónicas.

En la Figura 7 se muestra un ejemplo de forma de onda de tensión con presencia de notching, originado cuando se conmuta la corriente de una fase a otra en un convertidor trifásico. Se observa que la duración del fenómeno tiene una duración del orden de mseg. Durante este periodo existe un cortocircuito momentáneo entre dos fases que tiende a llevar la tensión lo mas cercano a cero que la impedancia del sistema lo permite.

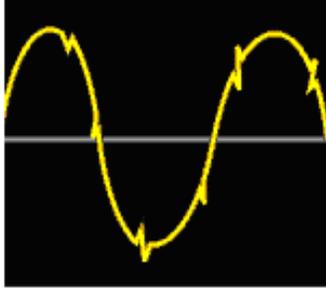


Fig. 7 Notch

e) Ruido eléctrico

El **Ruido Eléctrico** es una descripción genérica de un problema que puede obedecer a múltiples causas que no pueden ser clasificados como distorsiones Armónicas o Transitorios, y que pueden ocasionar problemas a los equipos.

Básicamente, consiste en distorsiones no deseadas de la señal de tensión (como se puede observar en la Figura 8.) con un contenido espectral inferior a 200 kHz, que se superponen a las tensiones o corrientes de los sistemas de potencia.

El ruido en los sistemas de potencia puede ser causado por:

- Dispositivos electrónicos,
- Circuitos de control,
- Chispas de contactos y switches.
- Puestas a tierra pobres.
- Lámparas fluorescentes.
- Cargas con rectificadores de estado sólido, etc.

El ruido afecta principalmente a los dispositivos electrónicos tales como microprocesadores y controles programables, y puede ser mitigado mediante el empleo de filtros, transformadores de aislamiento y acondicionadores de línea.

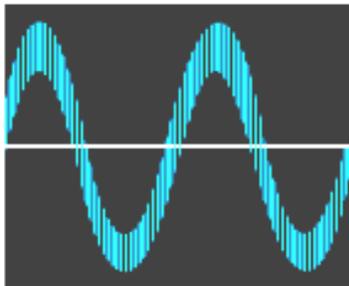


Fig. 8 Noise o ruido eléctrico

1.3 FUENTES DE ARMONICAS

Actualmente, los equipos que contribuyen en gran medida al problema de las Armónicas son las computadoras personales (PC's), los equipos de oficina y otros dispositivos electrónicos que emplean una alimentación de potencia de tipo conmutada para generar la tensión continua de trabajo. Estos tipos de equipos generan importantes corrientes con fuertes componentes de terceras armónicas.

Los alimentadores de potencia conmutada, generalmente llamados Fuentes Conmutadas o "de switching" (por su nombre en inglés) se emplean en los modernos equipos electrónicos que requieren alimentación en corriente continua de entre 3 y 15 V. Hasta no hace mucho esta tensión era proporcionada por un sistema tradicional compuesto por un transformador, un rectificador, un filtro y un regulador de tensión.

Las Fuentes Conmutadas pueden ser la causa de problemas, pero son tantas las ventajas que su empleo suele ser muy conveniente. Normalmente incluyen los filtros que se requieren para operar a altas frecuencias, suelen ser mucho más pequeños y eficientes que otros tipos de dispositivos más antiguos y tienen pérdidas mucho menores que los reguladores serie.

La eficiencia de estos dispositivos es del orden del 75%, habiéndose logrado reducir las pérdidas a la mitad, permitiendo la reducción de costos operativos y haciendo necesaria una menor refrigeración.

Las consecuencias son un fuerte incremento de las cargas no lineales en los sistemas de distribución. Además de las Fuentes Conmutadas existen muchas otras fuentes que pueden contribuir de manera significativa a la presencia de Armónicas, entre ellas tenemos:

- **Balastos fluorescentes:** en la iluminación con tubos fluorescentes que empleen balastos magnéticos convencionales, las terceras Armónicas está típicamente en el rango del 13 al 20% de la fundamental. Los balastos electrónicos tienen componentes de terceras Armónicas de mayor amplitud, del orden del 80% de la fundamental.
- **Variadores electrónicos de velocidad:** a los efectos de la calidad de la energía estos productos se pueden dividir en dos grupos:
 - Fuentes Inversoras de Tensión.
 - Fuentes Inversoras de Corrientes.

Los primeros emplean grandes capacitores para proporcionar tensión constante al inversor. Este permite acomodar la forma de onda de tensión para variar la frecuencia y proveer tensión alterna al motor. Los dispositivos de tipo Inversores de Tensión tienen asociados un alto porcentaje de Armónicas a sus corrientes de entrada, especialmente de la 5ta. a la 7ma. Los equipos Inversores de Corriente, por otra parte, se emplean para aplicaciones de gran potencia y suelen tener contenidos de 5tas. armónicas.

- **UPS estáticas:** en estos sistemas de Corriente Alterna de entrada (CA) se rectifica en Corriente Continua (CC), que es invertida en circuitos de pulsos para obtener

Corriente Alterna con frecuencia constante entre 60 y 415 Hz. La tensión rectificadora se obtiene con tiristores. La distorsión de salida de una UPS, para una carga dada, depende del diseño del UPS y de la impedancia de salida. Por ello muchos fabricantes de estos equipos suelen especificar la distorsión en la tensión de salida (un valor típico es del 5% de Distorsión Armónica Total ó THD). Ello significa que las UPS estáticas sólo debieran aplicarse bajo condiciones de cargas lineales.

- **Rectificadores:** La característica de los circuitos de rectificación es su no linealidad, generando corrientes con un elevado contenido de Armónicas. Los diodos rectificadores de onda completa son los que presentan mayores características de no-linealidad.
- **Filtros:** muchos equipos electrónicos emplean capacitores como filtros de entrada, los que tienen una no linealidad mucho mayor que los reactores de línea. A su vez, las características de las cargas pueden incrementar aún más la no linealidad de las corrientes de entrada.

1.4 EFECTOS DE LAS ARMONICAS SOBRE LAS CARGAS ELECTRICAS

La presencia de corrientes Armónicas no afecta de la misma forma a las diferentes cargas, pudiendo mencionarse en forma genérica que los inconvenientes más severos que se observan cuando estas cargas se conectan a líneas monofásicas correspondientes a sistemas trifásicos que tienen un neutro en común. Las principales consecuencias de estos fenómenos sobre las cargas son:

a. Sobre los transformadores y generadores:

Cuando las corrientes de carga presentan un elevado contenido Armónico, se verifica un fenómeno de calentamiento considerablemente mayor que el que ocurriría para el mismo valor RMS de una corriente sinusoidal. Las principales razones para que ello ocurra son:

- **Histéresis:** cuando el acero se magnetiza crea pérdidas por histéresis, originando el sobrecalentamiento del núcleo laminado de acero. Las pérdidas por histéresis son mayores, para una corriente eficaz determinada, las elevadas frecuencias Armónicas, donde las reversiones magnéticas son mucho más rápidas que a la fundamental de 60 HZ.
- **Corrientes parásitas:** Los campos magnéticos alternos también inducen corrientes sobre las láminas de acero cuando el cambio de flujo magnético corta el conductor. Este flujo de corrientes parásitas a través de la resistencia del acero genera pérdidas por calentamiento. Debido a las altas frecuencias las pérdidas son considerablemente mayores para corrientes Armónicas que para la misma corriente RMS a 60 Hz.
- **Efecto pelicular:** Un menor, pero aún considerable efecto de calentamiento a frecuencias elevadas está causado por el efecto skin en los conductores.

También pueden verificarse problemas de dimensiones o de protección aguas arriba de un transformador trifásico. En presencia de corrientes Armónicas la corriente de entrada no refleja la corriente de carga total, y la potencia aparente de entrada del transformador puede ser menor que la potencia aparente de salida. Por ello, los transformadores y sus protecciones deben ser dimensionados para transportar estas sobrecargas.

Las protecciones de los circuitos de entrada deben estar dimensionadas para proteger también las corrientes de falla.

Un método conservador para dimensionar los transformadores para una carga dada, es basarse en el estado instantáneo de los picos de corriente RMS, dado que la transferencia de energía ocurre básicamente en esos momentos. Por lo tanto, debe verificarse la habilidad del transformador para suministrar energía en los momentos pico sin sobrecalentamientos excesivos.

El factor K de los transformadores (en BT) indica cuanto se debe reducir la potencia máxima de salida cuando existen Armónicos. Por ejemplo, si en un transformador de 1000 kVA se encontrara que el factor de desclasificación es 1.2, la máxima potencia que podríamos transmitir sería 833 kVA.

b. Sobre los motores:

En los motores y generadores se produce sobrecalentamiento debido a las corrientes Armónicas de secuencia negativa (5tas. Armónicas) y a las corrientes parásitas.

Los motores son normalmente cargas lineales, pero cuando se alimentan con tensiones Armónicas, el motor produce corrientes Armónicas que pueden causar su sobrecalentamiento debido a los ya mencionados efectos de histéresis, corrientes parásitas y efecto pelicular.

Como regla general podemos decir que el total de distorsiones Armónicas de tensión no debe exceder del 5%.

c. Sobre los conductores:

Las corrientes Armónicas pueden producir un importante sobrecalentamiento del conductor neutro de Bandejas porta cables la instalación y de sus conexiones, pudiendo llegar a producir fallas en la instalación.

Ello se debe a que las Armónicas de secuencia cero se suman en el neutro en vez de cancelarse como sucedería con cargas lineales balanceadas.

Cuando la forma de onda de corriente se asemeje a una senoidal las lecturas de medidores de corriente del tipo Valor Medio o del tipo RMS Verdadero coincidirán en las mediciones realizadas en el neutro. En sistemas balanceados la 3ra. Armónica tiene una amplitud mucho más grande que la 9na. y que la fundamental resultando entonces una corriente circulante por el neutro (debida a 3ra. Armónica) casi senoidal pura.

Asimismo, se puede producir el sobrecalentamiento de las fases por efecto pelicular.

d. Sobre la Barra de Neutro:

Se sobrecarga debido a las armónicas de secuencia cero. Asimismo, se producen fugas por el neutro ocasionadas por el sobrecalentamiento en caso de sobrecargas.

e. Sobre el tablero de distribución:

Calentamientos debidos a corrientes parásitas que generan vibraciones y zumbidos.

f. Sobre los capacitores empleados para corregir el Factor de Potencia:

Dado que los capacitores pueden ser la impedancia más baja de un sistema a las Armónicas resultantes, pueden quemar los fusibles del capacitor o recalentar el mismo.

Los sistemas se vuelven típicamente resonantes entre la 5ta. Y la 7ma. Armónica cuando los capacitores corrigen el Factor de Potencia a > 0.95 o la potencia reactiva excede el 30% de la potencia aparente (kVA).

g. Sobre los dispositivos de protección contra sobrecorrientes:

Los dispositivos de protección contra sobre-corrientes como fusibles e interruptores son afectados por el calentamiento debido al efecto pelicular en corrientes con alto contenido Armónico.

En los dispositivos más antiguos la operación dependía de fuerzas electromagnéticas proporcionales al cuadrado del pico de corriente, pero no a la corriente RMS. Con corrientes de 3ra. Armónica

aparecen grandes picos de corriente que pueden producir una apertura prematura.

h. Sobre los dispositivos de protección:

Con el incremento de las Armónicas estos dispositivos de protección se ven afectados, produciéndose disparos en situaciones en las que no debiera producirse este fenómeno; ello se debe al calentamiento adicional en el tablero generado por la circulación de corriente de 3ra. Armónica en el conductor neutro.

En ocasiones se efectúan los denominados disparos por simpatía de los disyuntores diferenciales; ante algún fenómeno particular se produce la apertura de diversos diferenciales de manera simultánea, y en algunos casos hasta se disparan a la vez diferenciales ubicados en diferentes tableros.

Se pueden producir disparos en el propio circuito debido a los Armónicos que circulan en esa parte de la instalación. Como consecuencia de ello aparece una corriente adicional en el secundario del transformador del propio diferencial, del que depende el mecanismo de disparo.

Debido a esa corriente adicional los equipos sufren una modificación en su forma de actuar, dando la apariencia de que los equipos están descalibrados.

Se han desarrollado diferentes gamas de diferenciales, conocidas como tipos AC, A y B. Los de tipo AC están protegidos contra disparos intempestivos debidos a sobrecargas transitorias y tienen un funcionamiento correcto con funciones de fuga a tierra perfectamente senoidales, Bandejas portacables detectando solamente fugas de corriente alterna, siendo insensibles a las corrientes rectificadas (pulsantes), con o sin componentes de continua.

Los de tipo A están protegidos contra disparos intempestivos debidos a sobrecargas transitorias y pueden funcionar correctamente con corrientes pulsantes y con una componente de continua de hasta 6 mA.

Los de tipo B están protegidos contra disparos intempestivos debidos a sobrecargas transitorias y se han diseñado para un funcionamiento correcto con cualquier componente continua.

i. Sobre los instrumentos de medición:

Las Armónicas pueden causar errores en la medición de energía cuando se utilizan equipos de inducción. Las Armónicas pueden ocasionar que los discos corran más rápido o más lento para la misma corriente RMS. Si este medidor se utiliza para facturar el consumo el pago puede ser más alto o más bajo de lo que debiera.

Para otros tipos de instrumentos que deban operar con tensiones o corrientes distorsionadas debe recordarse que solo deben utilizarse los que miden valores "RMS verdaderos", dado que para estas condiciones los restantes suministran valores erróneos en presencia de Armónicas los medidores de valor medio leen valores mas bajos que los reales).

j. Sobre los equipos electrónicos:

Cuando se distorsiona la forma de onda los equipos pueden sufrir fallas en su funcionamiento. Por ejemplo, los equipos electrónicos que tienen relojes que cuentan el pasaje por cero de la onda de tensión o corriente pueden no operar adecuadamente, debido a que existen muchos cruces por cero.

De esta forma los relojes corren mas rápido causando que el equipo que se quiere controlar opere de manera incorrecta.

k. Sobre los reguladores de tensión:

Muchos de estos dispositivos de control emplean circuitos que miden el punto de cruce por cero de las ondas de tensión o corriente. A 60Hz. ello es claro, pero con un elevado contenido Armónico puede haber muchos mas cruces por cero, lo que puede causar inestabilidad en la velocidad y en el control de frecuencia.

l. Sobre los sistemas de comunicaciones:

Pueden ocurrir interferencias (ruidos eléctricos intermitentes), que pueden llegar a ser lo suficientemente intensos como para corromper las señales, causando fallas en su funcionamiento.

1.5 LAS ARMONICAS Y EL FACTOR DE POTENCIA

Factor de potencia es una medida de la efectividad en el uso del sistema de potencia. Cuando este valor es bajo ello significa que se está suministrando potencia que no se emplea para operar las cargas.

Cuando las cargas generan corrientes de alta frecuencia, suele suceder que un factor de potencia normal de 0,88 cae a 0,70 cuando se energizan dichos equipos. Este fenómeno se denomina Distorsión del Factor de Potencia.

En la Figura 9 podemos observar el diagrama vectorial de una carga no lineal que, a diferencia del diagrama de una carga lineal que es bidimensional en este caso pasa a ser tridimensional por la aparición de una componente denominada distorsión.

Para entender el dibujo del factor de potencia se debe considerar que ambos, los kVar y la distorsión son no-productivos. La suma vectorial resultante nos da los kVA efectivos, que obviamente son mayores que los productivos. En síntesis, la distorsión del Factor de Potencia es otro factor adicional por los que se debe prestar atención a la presencia de corrientes Armónicas.

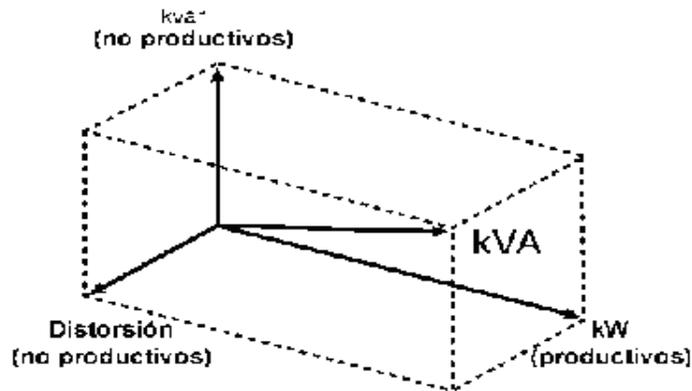


Fig. 9 Diagrama vectorial de una carga no lineal

1.5.1 Resonancia Armónica

La resonancia ocurre cuando la inductancia en el sistema forma un circuito resonante a una o más de las frecuencias Armónicas producidas por las cargas no lineales.

Este circuito resonante puede generar una tensión inusualmente elevada, causando problemas de aislamiento y fallas en los equipos. Asimismo, los circuitos resonantes pueden generar corrientes muy elevadas, sobrecargando partes del circuito. Dado que la inductancia y la capacitancia de estos sistemas suelen ser variables, los efectos de la resonancia son difíciles de calcular.

El problema de la resonancia se incrementa con el número de capacitores colocados en la instalación a efectos de mejorar el factor de potencia. En estos casos la falla en los capacitores puede deberse al elevado contenido de Armónicas del sistema.

La reactancia de un capacitor baja en relación directa con el aumento de la frecuencia de la tensión aplicada. Por lo tanto, con altas frecuencias Armónicas, la reactancia de los capacitores aplicados para mejorar el factor de potencia o para la supresión de transitorios, puede ser tan baja que constituya un virtual corto circuito.

Se debe prestar especial atención a las Armónicas resonantes 5ta. y 7ma. originadas en capacitores, dado que son las predominantes. Los convertidores de 6 pulsos empleados en muchos dispositivos de variación de velocidad son fuente de gran cantidad de Armónicas.

De esta forma, cuando ocurre la resonancia el flujo de corrientes Armónicas retorna a la fuente de Armónicas y al capacitor. La corriente puede ser muy superior a la normal, causando la falla de los capacitores y el accionamiento de los dispositivos de protección.

La solución habitual consiste en emplear filtros de Armónicas, los que se aplican como capacitares puros en las cargas terminales.

1.5.2 El problema del Conductor Neutro recalentado

En sistemas trifásicos de 4 hilos las corrientes de cargas fase a neutro fluyen por cada fase del conductor y retornan por el neutro común. Las corrientes de las tres fases están separadas 120° y, si las cargas trifásicas son lineales y están balanceadas (las tres cargas son iguales), la corriente en el neutro es igual a cero, como se observa en la Figura 10.

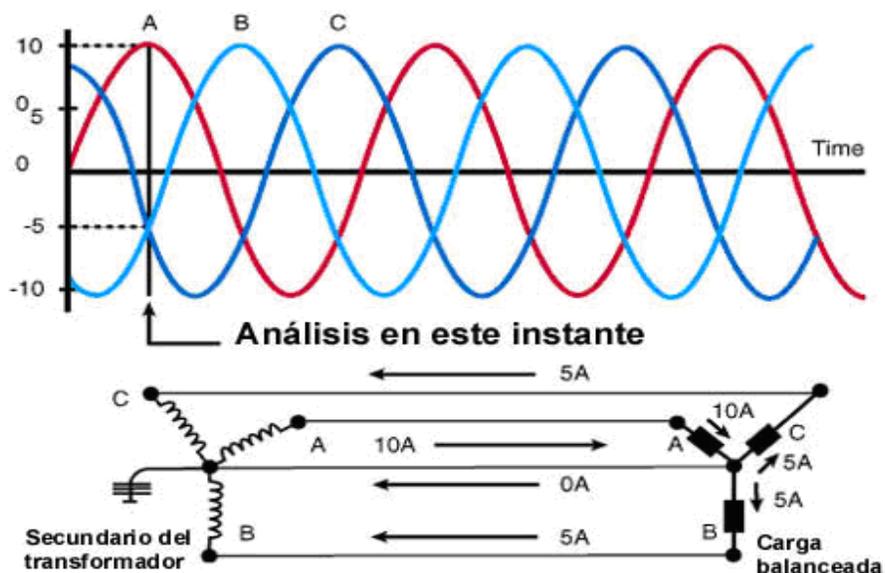


Fig. 10 Corriente al neutro es cero

En presencia de Armónicas, esta relación se rompe. Las armónicas de orden par se cancelan, por lo que las más significativas resultan ser aquellas de orden impar.

Estas corrientes Armónicas comenzarán después a "contaminar" la forma de onda de tensión en el interior de la instalación eléctrica, fenómeno que puede provocar daños entre los equipos electrónicos.

Las 3ras. Armónicas de cada una de las tres corrientes de fase, están entre sí en fase en cuanto tienen frecuencia triple respecto a la fundamental y están entre ellas desfasadas $1/3$ del período respecto al de la red. En el conductor de neutro estas corrientes en vez de cancelarse se suman y se podría obtener más corriente en el neutro, respecto a la presente en los conductores de fase.

Estas corrientes Armónicas generan calor, y con el tiempo el conductor neutro (cuya sección es generalmente igual o inferior a la de los conductores de fase) puede recalentarse peligrosamente.

Por consiguiente, la tendencia a reducir la sección del neutro puede conducir a serios problemas por la existencia de Armónicas que no son casi nunca tenidas en cuenta en los cálculos, cuando se dimensiona la instalación.

Si las corrientes de carga tienen forma de onda distorsionada el balance de fases no necesariamente reduce las corrientes en el neutro. La 3ra. Armónica y superiores múltiplos de la tercera (9na, 15ta, etc.) no se cancelan en el neutro.

En el ejemplo de la figura 11, el valor eficaz de las corrientes de neutro debidas a estas Armónicas puede ser de 1,73 (raíz de 3) veces las corrientes de fase. Si el conductor neutro tiene la misma sección que los conductores de fase, el calentamiento en el neutro puede ser muy superior al de cada conductor de fase.

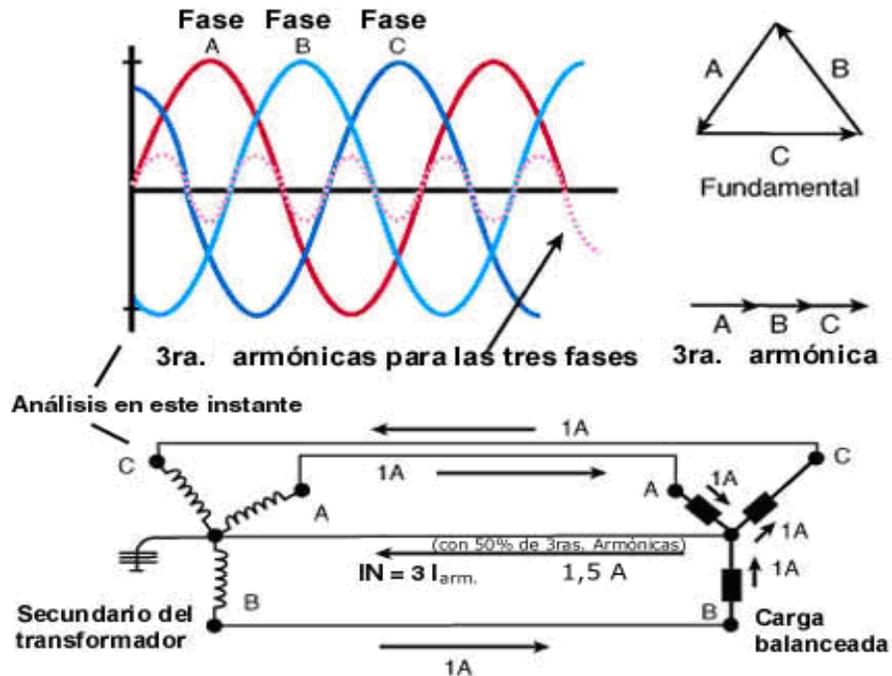


Fig. 11 Corriente en el neutro

La presencia de Armónicos provoca un incremento en las pérdidas de las instalaciones por aumento de la resistencia de los conductores por efecto "piel" y "proximidad", al tener que soportar corrientes de frecuencias superiores a la fundamental. Ello es así porque el incremento de resistencia es proporcional al cuadrado de la frecuencia que, como sabemos, en el caso de Armónicos pueden ser muy elevada.

Los efectos "piel" y "proximidad" se producen debido a que cuando una corriente alterna pasa a través del conductor de un cable se crea a su alrededor un campo magnético variable que induce una diferencia de potencial en su seno o en los conductores situados en su proximidad, lo que provoca corrientes que se oponen parcialmente a las que recorren los conductores, ocasionando el aumento en su resistencia óhmica y pérdidas por efecto Joule.

En el momento del proyecto debe preverse la presencia de niveles elevados de Armónicas así como los factores correctivos, de modo de evitar fenómenos de mal funcionamiento en la misma instalación y en algunos de los aparatos conectados.

1.5.3 Métodos para reducir la presencia de Armónicas

Los Analizadores de Línea de alta velocidad son de gran utilidad para encontrar el origen de los problemas de Armónicas. Una vez identificados, se puede realizar una gran variedad de acciones para reducir o eliminar los efectos de estas frecuencias no deseadas; entre ellas se pueden mencionar:

- Instalar filtros adecuados en los circuitos.
- Dimensionar el conductor neutro para que sea capaz de transportar las corrientes generadas, de forma de evitar sobrecalentamientos y fallas potenciales.
- Disminuir las cargas para que los transformadores se puedan acomodar a las corrientes armónicas adicionales, o bien diseñar los transformadores para manejar las corrientes Armónicas especificadas.
- Adicionalmente, algunos equipos específicos se pueden proteger de las corrientes Armónicas mediante el empleo de Acondicionadores de Línea y Fuentes de Energía Ininterrumpible (UPS).

Las características de los dispositivos más comunes son:

a) Reactores de Línea

Los *Reactores de Línea* son generalmente un simple inductor cuya función es impedir el paso de las elevadas frecuencias Armónicas.

Es de aplicación la fórmula $X_L = 2\pi fL$. Si la frecuencia sube también lo hace la resistencia. La componente de 60Hz pasa a través del inductor con pequeña oposición, pero las frecuencias mayores pasan con gran dificultad.

Las corrientes Armónicas disminuyen cuando se aplica un Reactor de Línea, pero a expensas de distorsiones en la forma de onda de tensión. No obstante, es posible limitar los picos de tensión.

b) Filtros de Armónicas

Los Filtros de Armónicas se pueden emplear para:

- Mejorar el factor de potencia.
- Reducir la presencia de Armónicas.
- Reducir el retorno de corriente por el neutro.
- Minimizar el impacto sobre los transformadores de distribución.
- Aumentar la potencia disponible.

Algunos filtros incluyen dispositivos útiles tales como reguladores de tensión y corrección ante disminuciones momentáneas de tensión. Durante las tormentas existen áreas predispuestas a las fallas, en ellas la combinación de Filtros de Armónicas y estabilizadores de tensión permite beneficios tanto para las distribuidoras como para las cargas.

La instalación de los filtros de Armónicas se ajusta al diagrama de la Figura 12.

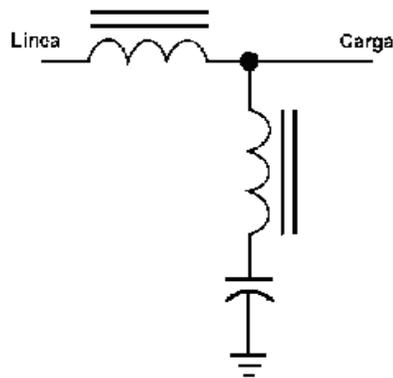


Fig. 12 Filtro de armónicos

Para saber cual es el tipo de filtro mas adecuado para el control de Armónicas dentro de una instalación se debe efectuar una evaluación y planificación cuidadosa. Se debe observar que Armónicos están presentes y cual de ellos tiene una magnitud mayor que el resto para determinar si este podría ser el origen de los problemas; sobre la base de estas consideraciones es posible desarrollar un filtro acorde con ése Armónico en especial, que sintonice con la frecuencia correspondiente a su rango, para atenuarlo de manera significativa y si es posible anularlo.

Los tipos de filtros generalmente usados son:

- Filtros Pasivos
- Filtros Activos
- Filtros electrónicos

Los Filtros Pasivos suelen ser de tipo LC y disponen de una bobina serie y en paralelo que sintoniza con el Armónico a eliminar, cerrando las bobinas con condensadores entre fases.

Los Filtros Activos, o Compensadores Activos de Armónicas, analizan cada una de las fases de manera permanente teniendo en cuenta la forma de la Corriente de Carga. El análisis se realiza a través del Espectro Armónico, que está constituido por la suma de la intensidad fundamental y la de todos y cada uno de los Armónicos. El compensador genera una señal de corriente que es igual a la diferencia entre la corriente de carga y la intensidad fundamental. Esta diferencia, que es la suma de las corrientes Armónicas desfasadas 180°, se inyecta a la carga de modo que la resultante será una corriente senoidal igual a la intensidad fundamental de la fuente.

El compensador se intercala en paralelo entre la fuente y la carga y evita que los Armónicos circulen aguas arriba, contribuyen a la optimización de la impedancia de la instalación y mejoran la calidad de la tensión bajando la tasa de distorsión global de tensión; como consecuencia de ello el transformador estará menos desclasificado.

c) Acondicionadores Activos de Potencia

Existe otra tecnología de avanzada que permite la regulación de tensión y la cancelación de Armónicas en un equipo integrado. Normalmente se emplea para alimentar un grupo de equipos electrónicos sensibles.

Localizadas entre el sistema de potencia y las cargas, estos Acondicionadores transmiten sólo la fundamental de la fuente, cancelando las corrientes inyectadas al sistema hasta la Armónica 25ta., manteniendo la tensión dentro de las tolerancias. Se adaptan automáticamente al espectro de Armónicas generado por cualquier cambio en las cargas.

Un Acondicionador Activo de Potencia puede aplicarse sin necesidad de calcular las corrientes Armónicas, con pequeños ajustes en los requisitos de los Filtros Pasivos.

Capítulo 2

Sistema de tierra física para sitios críticos

Los procedimientos para diseñar sistemas de tierras se basan en conceptos tradicionales, pero su aplicación puede ser muy compleja. Los conceptos son ciencia, pero la aplicación correcta es un arte, ya que cada instalación es única en su localización, tipo de suelo, y equipos a proteger.

2.1 PROPOSITO Y TIPOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

Para su estudio apropiado se estudiarán los sistemas de tierra según su aplicación.

Puesta a tierra de los sistemas eléctricos

El propósito de aterrizar los sistemas eléctricos es para limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o, de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos. Se logra uniéndolo mediante *un conductor apropiado a la corriente de falla a tierra total del sistema*, una parte del sistema eléctrico al planeta tierra.

Puesta a tierra de los equipos eléctricos

Su propósito es eliminar los potenciales de toque que pudieran poner en peligro la vida y las propiedades y, para que operen las protecciones por sobre corriente de los equipos eléctricos. Se logra conectando al punto de conexión del sistema eléctrico con el planeta tierra, todas las partes metálicas que pueden llegar a energizarse, mediante *conductor apropiado a la corriente de corto circuito del propio sistema en el punto en cuestión*.

Puesta a tierra en señales electrónicas.

Para evitar la contaminación con señales en *frecuencias* diferentes a la deseada. Se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero, que es el planeta tierra.

Puesta a tierra de protección electrónica.

Para evitar la destrucción de los elementos semiconductores por *voltaje*, se colocan dispositivos de protección conectados entre los conductores activos y la referencia cero, que puede ser el planeta tierra.

Puesta a tierra de protección atmosférica.

Sirve para canalizar la *energía* de los rayos a tierra sin mayores daños a personas y propiedades. Se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada al planeta tierra que cubre los equipos o edificios a proteger.

Puesta a tierra de protección electrostática.

Sirve para neutralizar las *cargas electrostáticas* producidas en los materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando el planeta tierra como referencia de voltaje cero.

La regla es: Cada sistema de tierras debe cerrar únicamente el circuito eléctrico que le corresponde.

2.1.1 Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos

Lugar de puesta a tierra del sistema.

- a) En sistemas en c.c. la tierra debe estar en la estación rectificadora únicamente.
El calibre del conductor de puesta a tierra no debe ser menor que el más grueso del sistema y nunca menor a calibre 8 AWG.
- b) Los sistemas de c.a. deben conectarse a tierra en cualquier punto accesible entre el secundario del transformador que suministra energía al sistema, y el primer medio de desconexión o de sobrecarga. {250-23a}.

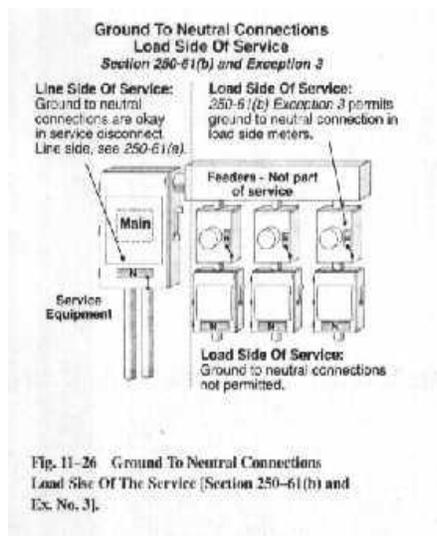


Fig. 13 Conexión puesta a tierra del neutro

Y, debe existir en el neutro otra puesta a tierra en la acometida a cada edificio en un punto accesible en los medios de desconexión primarios {250-24}.

Este conductor de puesta a tierra del sistema no debe ser menor al requerido por la Tabla 250-94 de la NOM, excepto el conductor que se conecta a varillas electrodos, o a electrodos de concreto, donde no es necesario que sea mayor que calibre 6 AWG en cobre o 4 AWG en aluminio.

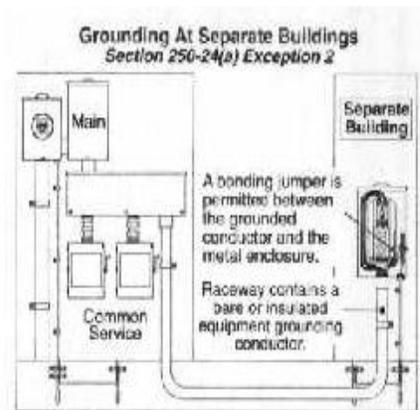


Fig. 14 Debe de existir en el neutro otra puesta a tierra en cada edificio
En un punto accesible en los medios de desconexión primarios

Generalmente el conductor del electrodo de puesta a tierra es conectado a la terminal del neutro en el gabinete del interruptor principal donde existe el puente de unión principal entre la terminal del neutro y el gabinete {250-24}. Donde un tubo metálico es utilizado como canalización entre el medidor y el interruptor principal, la conexión del conductor puesto a tierra (neutro) crea un circuito paralelo al circuito de puesta a tierra, por lo que esta conexión debe hacerse lo más corta posible porque en los medidores, la terminal del neutro está unida a la carcasa metálica de los medidores.

Es importante notar que en sistemas derivados, este circuito paralelo no está permitido por la sección {250-30} de la NOM-001.

En un sistema derivado separado. Una conexión del neutro a la carcasa se requiere en los sistemas derivados separados, tales como los que cuentan con transformadores o con generadores localizados en edificios {250-26(a)}. Esto se logra conectando la terminal del neutro del sistema derivado al sistema de tierra. En los transformadores, instalando un puente de unión de la terminal X0 (neutro) del transformador a la carcasa del mismo, o al lado de carga del gabinete del centro de cargas.

2.1.2 Puesta a Tierra de Equipos Eléctricos

a. Calibre del conductor de puesta a tierra de los equipos eléctricos.

De acuerdo con la NOM-001-SEDE-1999 en su sección {250-95} Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo, de cobre o aluminio, no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-95 siguiente.

Cuando haya conductores en paralelo en varias canalizaciones o cables, como se permite en {310-4}, el conductor de puesta a tierra de equipo, cuando exista, debe estar instalado en paralelo. Cada conductor de puesta a tierra de equipo instalado en paralelo debe tener un tamaño nominal seleccionado sobre la base de la corriente eléctrica nominal del dispositivo de protección contra sobre corriente que proteja los conductores del circuito en la canalización o cable, según la Tabla 250-95.

NOM-001-SEDE-1999 Tabla 250-95. Tamaño nominal mínimo de los conductores de tierra para canalizaciones y equipos

Capacidad o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. (A)	Tamaño nominal mm2 (AWG o kcmil)	
	Cable de cobre	Cable de aluminio
15	2,082 (14)	-----
20	3,307 (12)	-----
30	5,26 (10)	-----
40	5,26 (10)	-----
60	5,26 (10)	-----
100	8,367 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,15 (4)
300	21,15 (4)	33,62 (2)
400	33,62 (2)	42,41 (1)
500	33,62 (2)	53,48 (1/0)
600	42,41 (1)	67,43 (2/0)
800	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
1000	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
1200	85,01 (3/0)	126,7 (250)
1600	107,2 (4/0)	177,3 (350)
2000	126,7 (250)	202,7 (400)
2500	177,3 (350)	304 (600)
3000	202,7 (400)	304 (600)
4000	253,4 (500)	405,37 (800)
5000	354,7 (700)	608 (1200)
6000	405,37 (800)	608 (1200)

b. Consideraciones para un buen diseño de sistema de puesta a tierra de equipos eléctricos

Un sistema de puesta a tierra bien diseñado, considera:

- Emplear las tuberías metálicas roscadas como conductores de puesta a tierra.
- Usar los interruptores automáticos con detector de falla a tierra en las cocheras, cocinas, y obras en construcción {210-8}, {215-9} y {305-6}.
- Colocar el conductor de puesta a tierra de equipos junto con los cables de líneas y del neutro del mismo circuito, por dentro de la misma canalización metálica.
- Que no obstante se corran cables en paralelo por diferentes canalizaciones, el calibre de todos los cables de puesta a tierra se calcule únicamente con el valor de la protección.

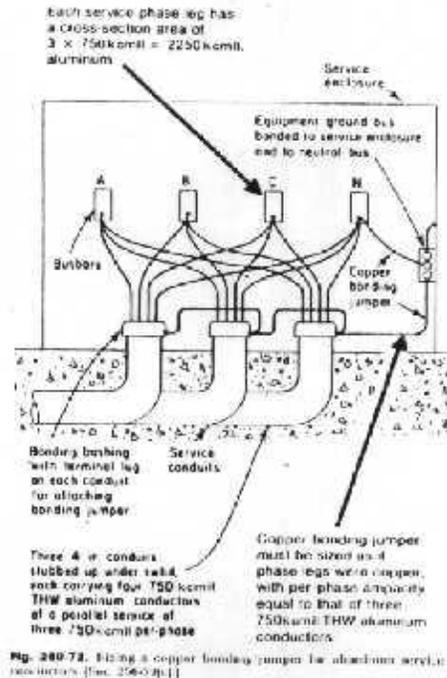


Fig. 15 Tuberías metálicas roscadas
Como conductores de puesta a tierra

2.1.3 Puesta a Tierra de Señales Electrónicas

a. Transitorios e interferencias

Los equipos electrónicos no trabajan satisfactoriamente cuando se presentan transitorios o interferencias. La causa mayor de fallas de equipos electrónicos es el sobre-esfuerzo eléctrico que usualmente se origina de los **transitorios** causados por las descargas atmosféricas, de las maniobras de interrupción de cargas inductivas, o de descargas electrostáticas. Este sobre-esfuerzo es causado por picos de voltaje con amplitudes de rango de decenas de volts a varios miles de volts y, con duración de unas decenas de nanosegundos a unas centenas de microsegundos.

Los componentes electrónicos de interconexión de datos y control en bajo voltaje son los que más frecuentemente se dañan de esa manera. La **interferencia causada por armónicas** se genera en fuentes de poder de tipo conmutada de computadoras, y en variadores de frecuencia. Pero, puede atenuarse su efecto incrementando calibres de conductores, cambiando el diseño y configuración del transformador y, usando filtros activos. Los filtros pasivos compuestos de capacitores e inductores como protecciones, no son generalmente efectivos (excepto como protección de bancos de capacitores) porque la frecuencia de corte del filtro tiene que ser tan cercana a la fundamental por lo que es prácticamente imposible diseñar un buen filtro.

La **interferencia en radiofrecuencia** (RFI, por sus siglas en inglés) puede ser causada por transmisiones radiales. Sin embargo, la interferencia que es un problema es aquella

espúrea producida por componentes electrónicos trabajando a altas frecuencias. Tanto circuitos digitales como analógicos pueden causar dichas emisiones. Además, la RFI puede emitirse en un ancho de banda muy grande por los múltiples subcircuitos trabajando al mismo tiempo. La mejor manera de atacar la RFI recibida es con un buen blindaje en cables y en equipos. Y la mejor manera de acabar con la RFI es blindar el ruido directamente en su fuente. La inducción electromagnética (EMI) es ruido eléctrico que se convierte en un voltaje en un sistema eléctrico. Las fuentes son las mismas que generan la RFI, y se corrige con una puesta a tierra aislada.

Las descargas atmosféricas siendo la fuente de interferencia y transitorios más grande conocida, es el motivo predominante para diseñar un buen sistema de protección.

b. Cable, pantallas y canalizaciones

Ningún cable enterrado, ni de potencia, es inmune a la interferencia provocada por rayos y EMI. Las corrientes provocadas por las descargas atmosféricas prefieren viajar por conductores metálicos más que por la simple tierra, porque representan un camino de menor impedancia. Esto destruye el aislamiento. Y también causa una diferencia de potencial entre el blindaje y los conductores internos que puede destruir componentes electrónicos en la conexión. Los cables y sus circuitos de conexión deben soportar los voltajes máximos causados por las diferencias de potencial que se puedan obtener entre los extremos de los cables. Cuando es muy grave el problema debido a estar conectando dos sistemas de tierra diferentes, los conductores se prefieren del tipo de fibra óptica. La otra solución sería el interconectar esos sistemas de tierra mediante conexiones a una red perimetral adicional, para lograr el mismo potencial en ambos extremos.

Para mejorar su desempeño para bloquear la interferencia en altas frecuencias, ambos extremos del blindaje deberían estar bien aterrizados. Sin embargo, a menos que ambos extremos estén al mismo potencial, una corriente de tierra fluirá a través del blindaje entre esos puntos.

Para eliminar la mayoría de los problemas por ruido inducido en los cables de señal y de control, se recomienda colocarlos a más de 1.5 m de los cables de alta tensión o de gran potencia. Y cuando es necesario cruzarlos, se recomienda cruzarlos a 90 grados para eliminar cualquier inducción. Cuando existen cables de fuerza de computadoras en la misma canalización plástica segmentada - tipo *Panduit* -, es común que no se puedan transmitir datos a muy altas velocidades por conductores paralelos a dichos cables. Pero en redes de baja velocidad se pueden emplear sin problema.

c. Modos de protección

El modo de protección depende de la conexión al circuito a proteger. Unidades de protección de modo diferencial se conectan entre líneas y, los de modo común, entre los hilos de señal y tierra.

Como mínimo, un protector en modo común se debe colocar en cada extremo del conductor. Para cancelar el ruido inducido en modo diferencial en líneas de instrumentación como en comunicaciones se usan pares trenzados. Así, el ruido se induce igualmente en ambos conductores cancelando el efecto.

Ya que los transitorios también son una forma de ruido, también se inducen en los conductores. Cables multiconductores acoplan la energía del transitorio a todos los pares

del cable. Y, ya que la energía inducida es la misma siendo un par o muchos, más energía es disipada en un arreglo multiconductor.

Cuando existen más de 6 pares, se emplean protectores conectados en derivación y, cuando son menos, en serie, por ser mayor la energía presente por par. Los protectores en serie consisten de filtros como también de supresores en derivación.

Todos los pares que no se usen de un cable multiconductor deben ser conectados a tierra y así, la energía inducida en ellos, pasará directamente a tierra.

2.1.4 Puesta a tierra de equipos electrónicos

Existen cuatro esquemas de aterrizado de equipos electrónicos. Estos son:

- a) El convencional.
- b) El esquema de tierra aislada.
- c) Esquema de tierra aislada total.
- d) Esquema de malla de referencia.

a. Esquema convencional.

El esquema convencional utiliza únicamente las recomendaciones de la NOM pero no incluye el uso de los contactos de tierra aislada de la sección {250-74 Excepción 4}. Este esquema encuentra su uso en las instalaciones de PCs y de PLCs, donde sus alambrados están distribuidos en áreas muy pequeñas.

No es recomendado para muchas instalaciones de sistemas electrónicos distribuidos, porque:

- a) Puede resultar excesivamente ruidoso el sistema de tierras.
- b) Los transitorios pueden sobrepasar el nivel de aislamiento.
- c) No es compatible con las recomendaciones de la mayoría de los fabricantes de equipos electrónicos.
- d) No puede ser fácilmente realambrado para cumplir con esquemas de aterrizado de redes de cómputo.
- e) El alambrado puede ser obsoleto cuando se cambien las tarjetas y equipos por otros de una tecnología de mayor velocidad.

b. Esquema de tierra aislada

Documento en inglés sobre Tierras Aisladas por Liebert Corporation. Traducción. Este esquema es el más socorrido en la industria y por la mayoría de los proveedores de equipos electrónicos.

En esta configuración se tiene una tierra relativamente libre de ruido e interferencia para la referencia lógica de los aparatos y, es complementada con la tierra de seguridad convencional del sistema de tierras de potencia. Pero, tiene las siguientes limitaciones:

- a) En altas frecuencias, la impedancia del conductor de tierra es demasiado alta para servir de buena conexión.
- b) El acoplamiento de las tierras dentro de los aparatos puede causar lazos de corriente, resultando en ruidos electrónicos.

Un arreglo de este esquema es hacer un anillo de tierras alrededor de los pisos de un edificio o un cuarto de cómputo. Y de este anillo se hacen varias conexiones al sistema perimetral de tierras, siempre que tengan las mismas longitudes y estén acomodadas simétricamente. Y a este sistema interno se conectan los equipos.

c. Esquema de tierra aislada total

Este esquema consiste en conectar todos los aparatos e instrumentos a tierra usando una configuración de estrella a partir de un solo punto físico, el cual es un cabezal o placa de conexión -Existen fabricantes de ellas-, el o la cual a su vez está conectada mediante un conductor apropiado a la red general de tierras.

Sin embargo, también tiene sus limitaciones:

- a) Esta configuración puede ser difícil de crear en un ambiente industrial.
- b) Todos los equipos cercanos deben conectarse de esta manera a tierra o, se pueden tener lazos de corrientes.
- c) Puede tener una impedancia en alta frecuencia muy alta, que en términos prácticos, la puesta a tierra sea ineficaz. Este problema es posible que no se tenga en la mayoría de equipos industriales, porque no emplean muy altas frecuencias.

d. Esquema de malla de referencia.

En este tipo de esquema los equipos y partes metálicas estructurales se conectan a este tipo de piso mediante trencillas, y que al ofrecer un plano de referencia de tierra, baja la impedancia a tierra en todas las frecuencias.

Sus limitantes son:

- a) Muchos fabricantes de equipos electrónicos industriales no están de acuerdo con su empleo.
- b) En ambientes industriales, es difícil su implementación.

No importa cual de los tres últimos métodos se emplee para la puesta a tierra de los equipos electrónicos, la trayectoria es crucial. No coloque puentes de unión a través de otro equipo. Siempre conecte a tierra cada aparato por separado. Los equipos en *racks* deben conectarse a tierra no obstante se supondría que los perfiles del *rack* los pondrían a tierra, lo que no siempre es real porque existen problemas de pintura y de montaje. Para ellos, es mejor la conexión mediante un solo cable y, la punta sobrante conectarla al sistema interno de tierras ya descrito. Este cable es mejor que sea aislado para que no cortocircuiten otros cables que puedan aterrizar el equipo. El aterrizado de blindajes y el de cables de señal deben ser parte integral del diseño de sistemas de tierras.

2.1.5 Protección contra Descargas Atmosféricas

a. Descargas atmosféricas

La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes. Y es consecuencia de un rompimiento dieléctrico atmosférico. Este rompimiento una vez iniciado, avanza en zigzag a razón de unos 50 metros por microsegundo con descansos de 50 microsegundos. Una vez que el rompimiento creó una columna de plasma en el aire, la descarga eléctrica surgirá inmediatamente dentro de un hemisferio de unos 50 m de radio del punto de potencial más alto.



Fig. 16 Descargas atmosféricas conocidas como rayos

b. Sistemas de pararrayos

La protección de estructuras es más tolerante que una protección electrónica. Así, un edificio puede tolerar hasta 100,000 V mientras que componentes electrónicos a 24 V se dañarán con voltajes sostenidos de 48 volts.

Un sistema de protección contra descargas, llamado de pararrayos, debe:

- Capturar el rayo en el punto diseñado para tal propósito. La Terminal aérea.
- Conducir la energía de la descarga a tierra, mediante un sistema de cables conductores que transfiere la energía de la descarga mediante trayectorias de baja impedancia;
- Disipar la energía en un sistema de terminales (electrodos) en tierra.

Cuando la energía de un rayo viaja a través de una trayectoria de gran impedancia, el daño causado puede ser grave por el calor y las fuerzas mecánicas que se crean

c. Protección de estructuras y edificios

Sistema franklin

El sistema más sencillo y más antiguo de pararrayos, es el que consiste en terminales aéreas de cobre, bronce o aluminio anodizado terminadas en punta, llamadas puntas Franklin, colocadas sobre las estructuras a proteger de los rayos. Este sistema se aplica en iglesias, casas de campo, graneros y otras estructuras ordinarias.

Estas terminales deben estar por lo menos 30 cm. (las más pequeñas miden 25 cm.) sobre la estructura [y, cuando esta altura mínima se emplea, la distancia entre ellas debe ser como máximo de 6 m.].

Para asegurarnos de una buena conexión y de una baja impedancia, por lo menos cada terminal aérea debe tener dos trayectorias a tierra, y estas trayectorias deben estar cuando más a 30 m de separadas entre sí.

De acuerdo con el estándar NFPA 780 , existen dos clases de materiales (terminales aéreas, cables, accesorios y terminales de tierra). Los materiales clase I se utilizan para la protección de estructuras que no exceden de 23 m de altura, y, los materiales clase II, las estructuras que si exceden dicha altura.

Al respecto de la trayectoria, la NOM dice que cualquier parte metálica no conductora de corriente a una distancia menor de 1,8 m del cable de los pararrayos debe tener puentes de unión a éste para igualar potenciales y prevenir arcos {250-46}.

De acuerdo con la norma NFPA-780 , el sistema de electrodos para la protección contra descargas atmosféricas depende más de las condiciones del suelo. De ahí que, para estructuras ordinarias menores a 23 m de altura, en:

- Arcilla Profunda y Húmeda.- Una simple varilla de 3 m es suficiente.
- Suelo arenoso.- Se requieren dos o más varillas espaciadas más de 3 m.
- Suelo con tierra poco profunda.- Se emplean trincheras radiales al edificio de 5 m de largo y 60 cm. de ancho en arcilla. Si la roca está más superficial, el conductor podría colocarse sobre la roca.
- Rocas.- En un suelo muy poco profundo, un cable en anillo se instala en una trinchera alrededor de la estructura. Para mejorar aún el contacto, es posible colocar placas de al menos 2 pies.

Sistema tipo jaula de faraday.

Para estructuras grandes, se utiliza una modificación al sistema Franklin de pararrayos, al añadir a las terminales aéreas conductores que crucen sobre la estructura a proteger como una caja de Faraday limitada sobre y a los lados de la construcción, y todo ese conjunto resultante es conectado a cables múltiples de bajada, que a su vez se conectan al sistema de tierras perimetral del edificio.

Los edificios modernos con estructura de acero y con varillas embebidas en concreto se acercan al concepto de la jaula de Faraday, y el riesgo de que un rayo que penetre en un edificio protegido de esta manera sea extremadamente pequeño. Aunque se debe notar que los rieles de los elevadores no deben ser usados como el conductor de bajada de los pararrayos, el NEC permite que se unan al sistema de pararrayos {620-37b}.

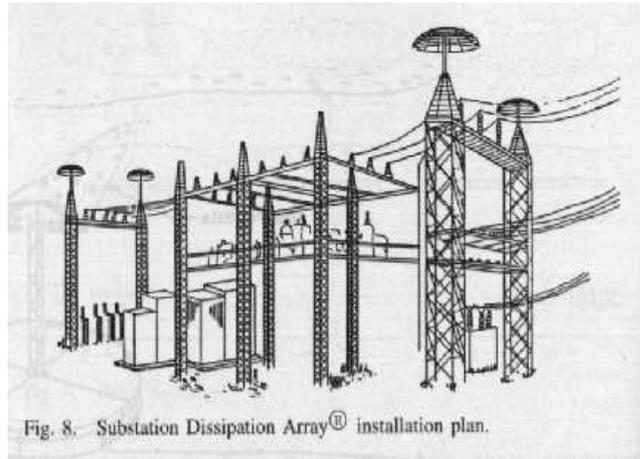


Fig. 17 Sistema de jaula de Faraday

d. Protección de torres de comunicación

Variaciones considerables existen en la forma de como proteger una torre. Una manera es colocar una punta pararrayos en la cima de la torre y de ahí un conductor de cobre por toda la longitud de la torre. Sin embargo, por estar el cobre y el acero en contacto, se corroe el acero - 0.38 Volts de la celda galvánica - y, la inductancia del cable tan largo crea una trayectoria de tan alta impedancia que no es efectivo como circuito a tierra. Por lo que se recomienda usar la estructura con una punta electrodo en su parte superior y conectores adecuados para su conexión al acero estructural.

2.1.6 Protecciones Electroestáticas

Electroestática

Las cargas electrostáticas se crean en líquidos o polvos que tienen una rigidez dieléctrica elevada, y pueden llegar a ser de varios kilovolts de magnitud.

Medidas generales contra la electrostática.

En el caso de manejo de productos en polvo a granel, se especifica conectar todas las partes metálicas entre sí, para lo cual se utilizan cables multihilos de temple suave o trenzas metálicas desnudas. Estos conductores permiten el movimiento de electrones entre las diferentes partes, y no interfieren con las lecturas de instrumentos como celdas de carga. El calibre es importante desde el punto de vista de rigidez mecánica, no de capacidad de corriente.

El sistema de uniones metálicas entre los distintos componentes puede hacerse en conjunto con el diseño del sistema de tierras de potencia, para evitar cables en paralelo y tener siempre los calibres adecuados.

Cuando esta puesta a tierra no es suficiente para evitar la acumulación de cargas electrostáticas, en la industria se emplean los siguientes mecanismos que igualan o disminuyen la creación de potenciales de naturaleza electrostática.

- Cepillos de alambre muy delgado de bronce.
- Ionizadores de aire.

2.2 MEDICIONES DE RESISTIVIDAD PARA DISEÑO

2.2.1 La tierra y la resistividad

El factor más importante de la resistencia a tierra no es el electrodo en sí, sino la resistividad del suelo mismo, por ello es requisito conocerla para calcular y diseñar la puesta a tierra de sistemas. La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" que para el interés de este trabajo, será conocida simplemente como "Resistividad del Terreno".

En la NOM-022-STPS-1999 se define el término resistividad, como la resistencia que ofrece al paso de la corriente un cubo de terreno de un metro por lado.

De acuerdo con la NOM-008-SCFI-1993, Su representación dimensional debe estar expresada en Ohm-m, cuya acepción es utilizada internacionalmente.

La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del globo terrestre, estando determinada por:

- Sales solubles
- Composición propia del terreno
- Estratigrafía
- Granulometría
- Estado higrométrico
- Temperatura
- Compactación

2.2.2 Sales solubles

La resistividad del suelo es determinada principalmente por su cantidad de electrolitos; esto es, por la cantidad de humedad, minerales y sales disueltas. Como ejemplo, para valores de 1% (por peso) de sal (NaCl) o mayores, la resistividad es prácticamente la misma, pero, para valores menores de esa cantidad, la resistividad es muy alta.

2.2.3 Composición del terreno

La composición del terreno depende de la naturaleza del mismo. Por ejemplo, el suelo de arcilla normal tiene una resistividad de 40-500 ohm-m por lo que una varilla electrodo enterrada 3 m tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200 ohms respectivamente. En cambio, la resistividad de un terreno rocoso es de 5000 ohm-m o más alta, y tratar de conseguir una resistencia a tierra de unos 100 ohm o menos con una sola varilla electrodo es virtualmente imposible.

2.2.4 Estratigrafía

El terreno obviamente no es uniforme en sus capas. En los 3 m de longitud de una varilla electrodo típica, al menos se encuentran dos capas diferentes de suelos.

2.2.5 Granulometría

Influye bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra. Por esta razón la resistividad de la grava es superior a la de la arena y de que ésta sea mayor que la de la arcilla.

2.2.6 Estado Higrométrico

El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático. Como ejemplo, la resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad, se reduce a menos del 15% del peso de éste. Pero, un mayor contenido de humedad del 15% mencionado, causa que la resistividad sea prácticamente constante. Y, puede tenerse el caso de que en tiempo de secas, un terreno puede tener tal resistividad que no pueda ser empleado en el sistema de tierras. Por ello, el sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la resistividad en el peor de los casos.

2.2.7 Temperatura

A medida que desciende la temperatura aumenta la resistividad del terreno y ese aumento se nota aún más al llegar a 0° C, hasta el punto que, a medida que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, se va reduciendo el movimiento de los electrodos los cuales influyen en la resistividad de la tierra.

2.2.8 Compactación

La resistividad del terreno disminuye al aumentar la compactación del mismo. Por ello, se procurará siempre colocar los electrodos en los terrenos más compactos posibles.

2.3 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.

La resistividad del terreno se mide fundamentalmente para encontrar la profundidad y grueso de la roca en estudios geofísicos, así como para encontrar los puntos óptimos para localizar la red de tierras de una subestación, sistema electrónico, planta generadora o transmisora de radiofrecuencia. Asimismo puede ser empleada para indicar el grado de corrosión de tuberías subterráneas.

En general, los lugares con resistividad baja tienden a incrementar la corrosión.

En este punto es necesario aclarar que la medición de la resistividad del terreno, no es requisito para hacer una malla de puesta a tierra. Aunque para diseñar un sistema de tierras de gran tamaño, es aconsejable encontrar el área de más baja resistividad para lograr la instalación más económica.

2.3.1 Método de Wenner.

En 1915, el Dr. Frank Wenner del *U.S. Bureau of Standards* desarrolló la teoría de este método de prueba, y la ecuación que lleva su nombre.

Con objeto de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los 4 electrodos en el suelo. Los cuatro electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C_1 y C_2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P_1 y P_2 . Estos electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos. La razón V/I es conocida como la resistencia aparente. La resistividad aparente del terreno es una función de esta resistencia y de la geometría del electrodo.

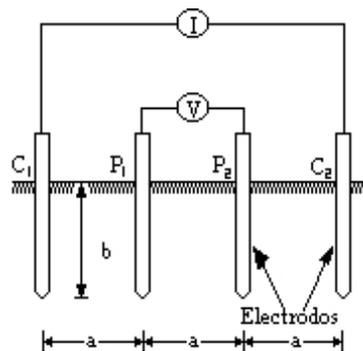


Fig. 18 Método de Wenner

En la figura 18 se observa esquemáticamente la disposición de los electrodos, en donde la corriente se inyecta a través de los electrodos exteriores y el potencial se mide a través de los electrodos interiores. La resistividad aparente está dada por la siguiente expresión:

$$\rho := \frac{4 \cdot \pi \cdot A \cdot R}{\left[1 + \frac{2 \cdot A}{(A^2 + 4B^2)^{0.5}} \right] - \frac{2 \cdot A}{(4A^2 + 4B^2)^{0.5}}}$$

Donde

- ρ : Resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm-m
- A : Distancia entre electrodos en metros.
- B : Profundidad de enterrado de los electrodos en metros
- R : Lectura del terrómetro en ohms.

Si la distancia enterrada (B) es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos (A). O sea $A > 20B$, la siguiente fórmula simplificada se puede aplicar:

$$\rho := 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R$$

La resistividad obtenida como resultado de las ecuaciones representa la resistividad promedio de un hemisferio de terreno de un radio igual a la separación de los electrodos.

2.4 MATERIALES DE PUESTA A TIERRA

2.4.1 Electrodo de puesta a tierra

Es muy importante tomar en cuenta que por norma [1.3] {250-26c}, los electrodos de puesta a tierra de los sistemas eléctricos deben estar accesibles y preferiblemente en la misma zona del puente de unión principal del sistema.

De acuerdo con la norma oficial mexicana [1.3] {250-81}, el sistema de electrodos de puesta a tierra se forma interconectando los siguientes tipos de electrodos (siempre que existan):

- Tubería metálica de agua enterrada.
- Estructura metálica del inmueble.
- Electrodo empotrado en concreto.
- Anillo de tierra.

En caso de no disponer de alguno de los anteriores, se deben usar uno o más de los electrodos especialmente construidos:

- Electrodo de varilla o tubería.
- Electrodo de Placa
- Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos.

a. Tubería metálica de agua enterrada

Para que una tubería de agua pueda usarse como electrodo de puesta a tierra, debe reunir los siguientes requisitos:

- a) Por lo menos tener 3 m en contacto directo con la tierra.
- b) Eléctricamente continua hasta el punto de conexión, puenteando el medidor del agua, si está colocado en una posición intermedia.

La única desventaja de su uso es que debe complementarse con un electrodo adicional, de cualquiera de los tipos mencionados arriba.

b. Estructura metálica del edificio

La estructura metálica de los edificios puede ser usada, siempre que esté bien puesto a tierra, esto es, que su impedancia a tierra sea baja. Para que sea baja la impedancia, se deben unir las columnas a las partes metálicas de la cimentación con conductores según los calibres de los conductores de puesta a tierra de la norma {250-94} y, en caso de haber sellos formados por películas plásticas, se deben puentear éstos.

c. Electrodo de concreto armado o Ufer

Los electrodos Ufer, se llaman de esa manera en memoria de un ingeniero de nombre Herb Ufer, quien estuvo a cargo de los laboratorios de los aseguradores (UL) en Los Angeles de 1927 a 1953.

Consisten en utilizar en las estructuras nuevas, el acero del concreto armado como electrodo principal, siempre y cuando la cimentación haya sido diseñada para este fin con los cables de tierra adecuados soldados a las varillas.

d. Anillo de tierra

Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor al calibre 2 AWG (por resistencia mecánica) y de longitud no menor a 6 m enterrado a una profundidad de 800 mm. y, que rodee al edificio o estructura.

Estos anillos de tierras se emplean frecuentemente circundando una fábrica o un sitio de comunicaciones, para proveer un plano equipotencial alrededor de edificios y equipos.

2.4.2 Electrodo de puesta a tierra especialmente constituidos.

Cuando no se dispone de alguno de los electrodos mencionados en el punto anterior, la norma oficial mexicana [1.3]{250-83} dispone que se puedan usar uno o más de los electrodos siguientes:

- a) De Varilla o Tubería.
- b) Electrodo de Placa.
- c) Estructuras metálicas Subterráneas

a) Electrodo de varilla o tubería

De acuerdo con la NOM {250-83c} los electrodos de varilla y tubo, no deben tener menos de 2,40 m de largo y deben instalarse de tal modo que por lo menos 2,40 m de su longitud esté en contacto con la tierra. Las varillas de metales no ferrosos deben estar

aprobadas y tener un diámetro no inferior a 13 mm, y las demás de por lo menos 16 mm. Las tuberías deben tener un diámetro no inferior a 19 mm, y si son de hierro, deben tener una protección contra corrosión en su superficie.

Estos electrodos se aplican al suelo mediante percusión hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos o de tepetate, las varillas no pueden meterse de esa manera; se doblan o solamente no pueden entrar. Ocasionalmente se ha sabido de casos donde las varillas han sido regresadas hacia la superficie después de haber tratado de clavarlas en terrenos rocosos. Cuando la roca está a menos de 2,40 m, estos electrodos pueden meterse en diagonal hasta con un ángulo de 45 grados de la vertical. Pero, si no es este el caso, se deben enterrar horizontales en una trinchera abierta para el caso a 800 mm de profundidad por lo menos.

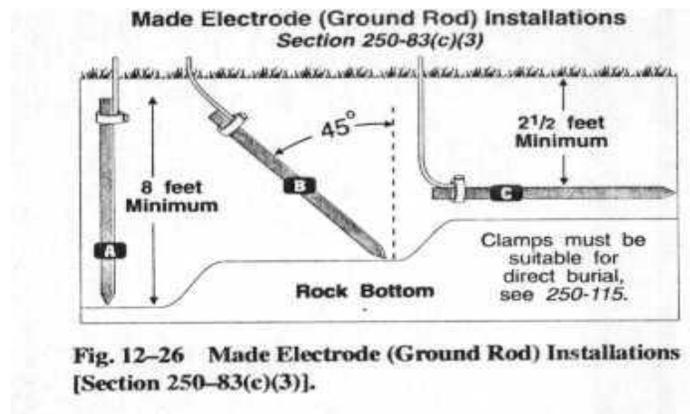


Fig. 19 instalación de electrodos en suelos rocosos

b) Electrodos de placa

Los electrodos de placa no deberán tener menos de 0,2 metros cuadrados de superficie en contacto con el suelo. Y las placas de acero o fiero deberán tener por lo menos 6,4 mm de espesor. Si son de material no ferroso deberán tener por lo menos 1,52 mm de espesor.

c) Estructura metálicas enterradas

La NOM menciona la puesta a tierra mediante sistemas de tuberías o tanques enterrados. Pero, puede ser cualquier clase de estructura metálica subterránea.

2.4.3 Mallas

La norma oficial mexicana de instalaciones eléctricas requiere de un sistema enmallado de tierra con múltiples electrodos y conductores enterrados, cuando están involucradas tensiones y corrientes eléctricas muy altas, con el fin de minimizar los riesgos al personal en función de la tensión eléctrica de paso y de contacto [921-18]

La malla consta de una red de conductores enterrados a una profundidad que usualmente varía de 0,30 a 1,0 m, colocados paralela y perpendicularmente con un espaciamento adecuado a la resistividad del terreno y preferentemente formando retículas cuadradas.

El cable que forma el perímetro exterior de la malla debe ser continuo de manera que encierre toda el área en que se encuentra el equipo eléctrico de la subestación o planta

generadora. Con ello, se evitan altas concentraciones de corriente y gradientes de potencial en el área y terminales cercanas [921-25).

En cada cruce de conductores de la malla, éstos deben conectarse rígidamente con soldadura exotérmica entre sí y en los puntos donde se conectan los equipos que pudieran presentar falla o, en las esquinas de la malla, los conductores deben conectarse a electrodos de varilla o tubo de 2,4 m de longitud mínima, clavados verticalmente.

Los cables que forman la malla deben colocarse preferentemente a lo largo de las hileras de estructuras o equipo para facilitar la conexión a los mismos, ya que es una práctica común de ingeniería aterrizar a dos cables diferentes todos los equipos.

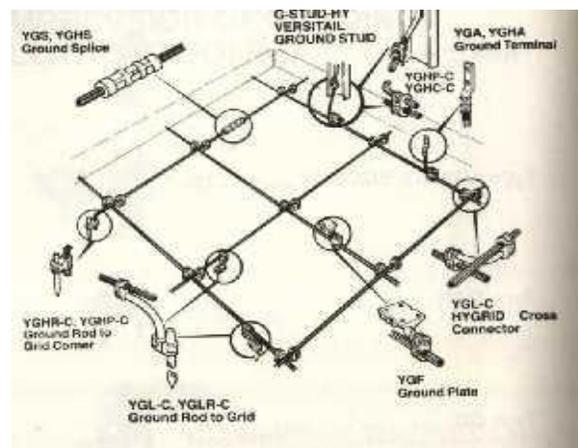


Fig. 20 Mallas

2.5 ASPECTOS QUE DEBEN DE TOMAR PARA MEJORAR LA PUESTA A TIERRA

2.5.1 Mejoramiento de la resistencia a tierra.

La NOM (250-84) permite para los sistemas con un electrodo único que conste de una varilla, tubería o placa, que no tiene una resistencia a tierra de 25 ohms o menos, que se complemente con electrodos adicionales de los tipos mencionados en separados por lo menos una distancia de 1,83 m entre sí.

En la práctica, cuando la resistencia del electrodo único mencionado, excede del valor buscado, esa resistencia se puede reducir de las siguientes maneras:

- Usando una varilla de mayor diámetro.
- Usando varillas más largas
- Poniendo dos, tres o más varillas en paralelo.

a) Varrillas de mayor diámetro

Usando varillas de 19 mm en lugar de varillas de 13 mm se logra una reducción en la resistencia a tierra de hasta un 10% máximo. Muy poco en realidad.

b) Varrillas más largas

Para los casos donde las capas superiores de la tierra son de arena y donde a gran profundidad se encuentra una capa de terreno húmedo, existen varillas que se acoplan unas a otras para lograr longitudes hasta de 15 m.

Por lo general, doblando el largo, se obtiene una reducción del 40% de resistencia a tierra.

Otra ventaja es que con el uso de varillas largas, se controla el gradiente de potencial en la superficie.

c) Varrillas en paralelo (Electrodos múltiples)

El colocar varias varillas en paralelo es una manera muy efectiva de bajar la resistividad. Pero, las varillas de tierra no deben ser colocadas muy cerca una de otra, porque cada varilla afecta la impedancia del circuito, por los efectos mutuos.

La NOM {250-83} dice que la distancia entre ellas o de cualquier electrodo, no debe ser menos de 1,8 m, aunque se recomienda que estén separadas más del largo de cualquiera de ellas.

Por ejemplo, dos varillas en paralelo a 3 metros de distancia ofrecen una resistencia del 60% de la resistencia a tierra de una sola de ellas. Pero, incrementando ese espaciamiento a 6 m, la reducción de la resistencia es del 50%.

Cuando se utilizan múltiples electrodos, la impedancia es mayor y cada electrodo adicional no contribuye con una reducción proporcional en la resistencia del circuito. Por ejemplo, dos varillas reducen la resistencia al 58% de una sola, mientras que 10 varillas apenas reducen ese valor al 10 %.

2.6 MEJORAMIENTO DEL TERRENO.

Cuando un sistema eléctrico se expande, la que se creía era una baja resistencia a tierra, se hace mala. Asimismo, con el uso cada vez mayor de tuberías no metálicas y, la caída en el nivel de aguas freáticas en muchos lados, ha resultado en mayores resistencias a tierra que las de diseño.

Cuando la resistencia a tierra no es lo suficientemente baja, hay algunos métodos para bajarla. En el punto anterior, hemos visto que el utilizar varillas más largas y, el uso de muchas varillas en paralelo, baja la resistencia a tierra, pero, cuando lo anterior ya no es posible, se tiene que mejorar el terreno mismo mediante productos químicos. Pero, tiene el inconveniente de ser una solución costosa y que bajo ciertas circunstancias se requiere de mantenimiento.

El relleno ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y a la vez buen conductor eléctrico. La bentonita entre otros compuestos como el sulfato de magnesio o de sulfato de cobre, o de compuestos químicos patentados (El peruano THOR GEL, el GEM de Erico, el GAP de Alta Conductividad 2000 S.A.,etc.) cumple con esos requisitos.

La bentonita es una arcilla consistente en el mineral montmorillonita, un silicato de aluminio, y tiene la particularidad de absorber hasta cinco veces su peso de agua y de hincharse hasta 13 veces su volumen seco [9.1]. Y tiene una resistividad de 2.5 ohm-m con humedad del 300%. Aparte del relleno con alguno de los compuestos mencionados, existen otros métodos químicos más. En el primero, en un registro junto a la varilla se colocan unos 30 cm. de los compuestos. Ver fig. 21

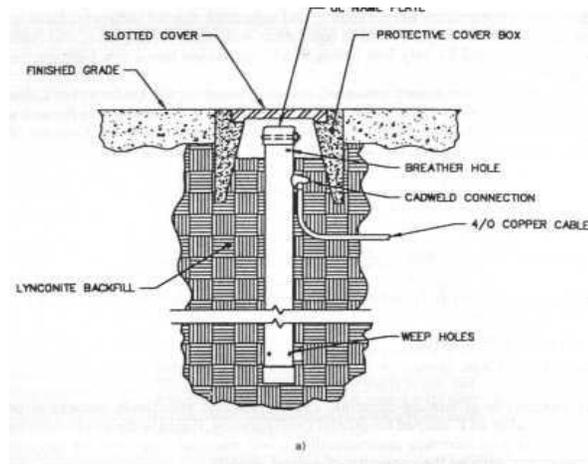


Fig. 21 Método de excavar una zanja y suministra de 20 a 30 kilos de bentonita

Este método es efectivo donde hay poco espacio como en banquetas o estacionamientos, pero es fácilmente demostrable que la resistencia a tierra obtenida, puede ser fácilmente obtenida de una manera más económica con electrodos múltiples.

El otro método es excavar una zanja alrededor de la varilla y llenarla con unos 20 o 40 Kg. de los compuestos químicos mencionados arriba, diluyendo con agua.

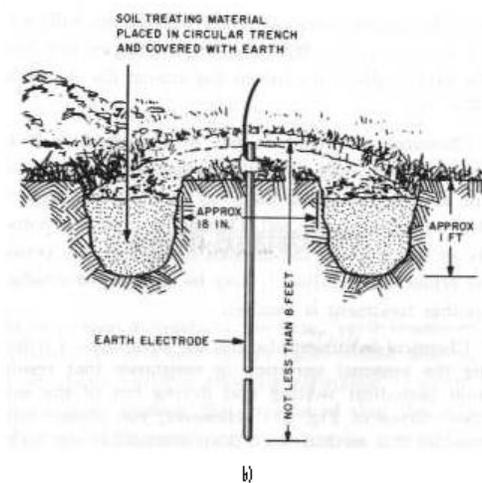


Fig. 22 Se puede aplica el método diluyendo con agua el compuesto químico

2.6.1 Conectores

Los conectores de conductores de puesta a tierra con los electrodos pueden ser del tipo de soldadura exotérmica, conectores a presión, abrazaderas u otros medios aprobados [1.3]{250-115}. Y no deben tener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.) para evitar falsos contactos, ya que pierde características de seguridad la malla, si se llegara a abrir.

En nuestro país, se prefieren las conexiones exotérmicas [De marcas: Cadweld, Thermoweld, o Mexweld] para redes de tierras de subestaciones de alta potencia.

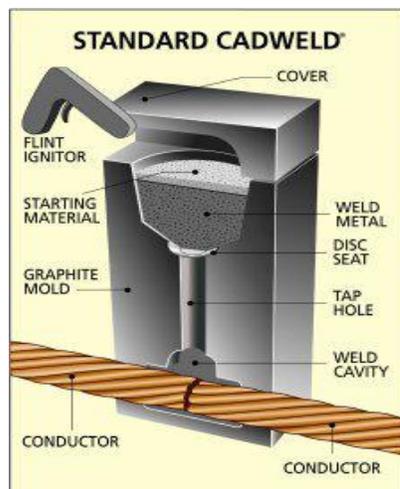


Fig. 23 Conexiones exotérmicas

Para fabricar una conexión exotérmica no es necesaria una fuente de energía externa. Al encender una chispa sobre el polvo ignitor, se inicia una reacción química, donde el óxido de cobre es reducido por el metal aluminio produciendo cobre fundido a unos 1400 C y escoria de aluminio. Este cobre fluye sobre los conductores soldándolos en la forma del molde de grafito, obteniendo una unión metálica sólida en unos 20 segundos.

Es importante notar que una buena unión depende del ajuste del molde a los conductores.

Las abrazaderas a usarse en sistemas de puesta a tierra deben ser adecuadas para el número y tipo de conductores. Además, deben de ser compatibles con los materiales de los conductores y los electrodos de puesta a tierra, y cuando se usen enterradas, deben ser del tipo apropiado [1.3]{250-115}. Estos conectores apropiados tienen marcada la leyenda *BURIED*.



Fig. 24 Abrazaderas

2.6.2 Registros

Cuando se coloquen registros, se recomienda que sean al menos de 150 mm de diámetro para hacer cualquier maniobra y, que tengan tapa.

Aparte de los registros de fábrica, se pueden construir esos registros empleando un tubo de albañal, con la boca hacia arriba para que sirva de tope a una tapa de cemento.



Fig. 25 Registros

2.6.3 Conductores del electrodo de puesta a tierra.

El conductor del electrodo de puesta a tierra sin ningún empalme (Exc. empalmes irreversibles {250-81 Exc. 1}) puede llevarse a cualquiera de los electrodos disponibles del sistema de puesta a tierra y es dimensionado según el mayor calibre requerido para todos los electrodos disponibles de acuerdo con la tabla 250-94 de la NOM. Excepto en el caso de un único electrodo del tipo varilla, o del tipo Ufer, donde se permite que el conductor del electrodo no sea mayor de calibre 6 en cobre {250-94 Exc. a y b}. Este conductor, si es de calibre 4 o mayor, no requiere de protección, excepto en casos donde esté expuesto a daño físico severo. En caso de ser calibre 6 debe fijarse a la construcción o, debe correr por un tubo conduit. Y, los calibres menores, deben correr siempre por tuberías conduit. En el caso de las tuberías conduit, éstas deben ser eléctricamente continuas; esto es, deben estar conectadas a tierra en ambos extremos. Inclusive las que cubren el cable de puesta a tierra de las acometidas residenciales.

Estos cables no deben ser de aluminio o de cobre con aluminio porque se corroen cuando están en contacto con la tierra o con el cemento. Por ello, la norma mexicana de Instalaciones eléctricas sólo permite el uso de aluminio como conductor desde una altura mínima de 450 mm sobre el suelo [250-92a].

Capítulo 3

Tecnología de protección, acondicionamiento de líneas.

Acondicionamiento de líneas

Actualmente, se dispone de una amplia variedad de dispositivos para obtener una correcta calidad de la energía en todos los equipos atendidos. La selección de los equipos necesarios requiere analizar previamente si el equipamiento a proteger es crítico y, en ese caso, los tiempos que puede tolerar.

Las técnicas de acondicionamiento se han incrementado, tanto en su variedad como en su complejidad; las más comunes que se suelen emplear son:

- Sobredimensionar la instalación.
- Técnicas de Cableado:
 - a) Aumento en la sección del neutro
 - b) Separación de Fases
- Agregado de dispositivos:
 - a) Reguladores de tensión
 - b) Supresores de Transitorios
 - c) Transformadores con blindaje de aislamiento
 - d) Sintetizadores magnéticos
 - e) UPS estáticas
 - d) UPS rotativas
 - f) Conmutadores de estado sólido
 - g) Acondicionadores de línea

3.1 SOBREDIMENSIONAR LA INSTALACION

Es una técnica muy importante en instalaciones con presencia de armónicos. Aún en casos de transformadores que operen al 75% de su potencia nominal si existen cargas deformantes se pueden presentar síntomas relevantes, como ser vibraciones, ruidos, sobrecalentamientos y disparos accidentales de las protecciones.

Estos fenómenos afectan la calidad de la energía provocando una tasa de distorsión de tensión elevada.

Con fuentes de mayor potencia y pletinas y cables de mayor sección se consigue que el efecto de los armónicos tenga menor incidencia. Al tener mayor potencia la fuente la distorsión será menor, ya que la relación de la potencia armónica respecto de la potencia de la fuente será menor.

Si los Armónicos tienen una sección mayor de cable o de pletina por donde circular, el efecto piel o pelicular tendrá menor incidencia provocando un menor calentamiento de los conductores y de las protecciones.

Es decir que al sobredimensionar la instalación disminuye su impedancia total, evitando que aumenten las pérdidas por efecto Joule ocasionadas por los armónicos.

3.2 TECNICAS DE CABLEADO

Ya se discutieron los serios problemas ocasionados por la presencia de Armónicas. La forma mas sencilla de evitar estos inconvenientes es colocar un neutro de sección doble o, alternativamente, se puede utilizar un neutro separado para cada fase. El costo adicional suele estar plenamente justificado considerando los problemas que se evitan.

La técnica de separación de las fases consiste en la separación de las cargas sensibles de las fuentes de ruido dentro del sistema. Cada circuito debe alimentar a cargas de un mismo tipo (sensible o no sensible) y, de ser posible, los tableros deben ser diferentes.

Circuitos separados para cargas sensibles significa que tanto las fases como el neutro deben ser diferentes.

En las oficinas suele ser una buena idea colocar líneas dedicadas para las computadoras o bien tener un subsistema de alimentación para las mismas.

3.3 AGREGANDO DISPOSITIVOS



Fig. 26 solución de calidad de energía. Una sola tecnología no resuelve todos los problemas.

3.3.1 Reguladores de tensión

Los problemas de tensión generados por la conexión y desconexión de grandes cargas, arranques de motores, o las condiciones de baja tensión de las distribuidoras de electricidad durante las horas pico del verano, normalmente pueden controlarse con reguladores de tensión. La función de los mismos es la de mantener constante la tensión a una carga determinada, bajo condiciones anormales en la tensión de alimentación.

Empleando más de un regulador en el mismo sistema eléctrico (en serie) pueden ocurrir problemas de inestabilidad. Estos problemas dependen del tiempo de respuesta y de la sensibilidad del regulador.

La alimentación de los equipos basados en microprocesadores dispone de un valor límite para regular la capacidad de las cargas; regulaciones adicionales pueden o no ser necesarias.

Los circuitos empleados en los reguladores de tensión son vulnerables a los daños producidos por picos de tensión, por lo que deben estar adecuadamente protegidos por supresores de transitorios.

Antes de seleccionar el dispositivo de regulación de tensión, es imperativo que los ingenieros conozcan la configuración del sistema eléctrico, la naturaleza de los problemas a corregir, las tolerancias admisibles, así como los pasos en los cambios de tensión a considerar.

Los Reguladores mantienen constante la tensión de salida a las cargas aún con variaciones importantes en la tensión de entrada. Existen varios tipos, cada uno con ventajas y desventajas en su operación, los principales son:

Los *Transformadores Ferroresonantes*, que pueden separar las tensiones de entrada y salida y permiten tanto la transformación de tensiones como el aislamiento de ruidos. Tienen excelente regulación, pero admiten una capacidad de sobrecarga limitada, tienen una eficiencia pobre a cargas bajas y pueden interactuar con formas de onda no lineales.

Los *Reguladores Magnéticos de Tensión*, que constituyen un tipo especial de autotransformador.



Fig. 27 Regulador de voltaje

3.3.2 Filtros de ruidos

Son unidades que se conectan a las redes de computadoras. Permiten el pasaje de la frecuencia de alimentación, pero presentan una elevada impedancia que bloquea o atenúa los ruidos o señales desconocidas, usualmente de alta frecuencia.

Algunos filtros pueden eliminar todas las tensiones en un rango de $\pm 2V$ de la tensión instantánea en cualquier punto de la onda sinusoidal. Los filtros suelen estar combinados con supresores de transitorios o con otros dispositivos de acondicionamiento de líneas.



Fig. 28 distintos tipos de filtros

3.3.3 Supresores de transitorios

Los *Supresores de Transitorios*, denominados también *Dispositivos de Protección contra Perturbaciones (Surge Protective Device)*, son equipos de gran importancia teniendo en cuenta la protección que brindan.



Fig. 29 Supresor de transitorios

Existen algunos conceptos que se debe conocer para una adecuada selección de estos equipos, estos son:

- Corriente Máxima de descarga (I_{max}): es la corriente máxima que se requiere que el protector pueda descargar una vez en su vida útil, correspondiendo a condiciones excepcionales. Las corrientes transitorias son generalmente representadas como formas de onda 8 / 20. Donde el 8 representa el tiempo de crecimiento y el 20 el de caída hasta la mitad de su amplitud. Ambos tiempos expresados en microsegundos.

- Nivel de protección (U_p): es el nivel de protección de tensión compatible con la sensibilidad de los equipos a proteger, donde:

$U_p = 2,5$ kV para equipos electrónicos, controles eléctricos, interruptores, etc.

$U_p = 1,8$ kV para equipos que contenga circuitos electrónicos sensibles, como TV, audio, lavarropas, etc.

$U_p = 1,5$ kV para equipos electrónicos sensible, como ser computadoras, máquinas registradoras, etc.

Existen dos tecnologías básicas utilizadas para los Supresores de Transitorios (TSN o ATN), siendo esta última fundamental cuando es necesario proteger circuitos electrónicos sensibles, donde se debe utilizar un dispositivos que puedan suprimir efectivamente los transitorios antes que alcancen el pico de la onda senoidal.

Dentro de la categoría de Supresores de Transitorios existen varios tipos de dispositivos, entre ellos podemos mencionar:

a. Dispositivos de Descarga

En esta categoría se incluyen dispositivos tales como Descargadores Gaseosos, Protectores de Rayos y Dispositivos de Comando.

Los Dispositivos de Descarga son relativamente lentos, tomando varios microsegundos para operar, por lo que someten a los dispositivos a proteger a elevados crecimientos iniciales de tensión, que pueden llegar a varios miles de Volt por microsegundo. Por tal motivo aguas abajo debe colocarse una protección adicional contra picos.

Los dispositivos mas comunes para protección de computadoras y otros equipos sensibles son los tubos de descarga de gas (GDT's). Consisten en dos o tres electrodos con sales en un tubo de vidrio lleno con una mezcla de gases a baja presión. Tienen una vida relativamente prolongada y habilidad para transportar cantidades importantes de corriente.

b. Dispositivos de Enclavamiento de Tensiones

Estos dispositivos, tales como Varistores (resistores no-lineales), varistores metal-óxido (MOV's), diodos zener (avalanchas) y rectificadores de selenio, son conductores unidireccionales hasta que se alcanza un nivel de tensión determinado; a partir de ese momento conducen en sentido contrario.

Normalmente están conectados en los circuitos en el sentido de no-conducción, presentando una impedancia muy elevada; cuando se alcanza la máxima tensión permitida la impedancia cae rápidamente. Es decir que la elevación de corriente trae aparejada la baja de la impedancia, impidiendo el paso del transitorio a las cargas.

Los Dispositivos de Enclavamiento operan en el rango de nanosegundos, miles de veces más rápido que los descargadores, pero generalmente son capaces de disipar mucho menos energía de los transitorios. Son efectivos para empalmar las tensiones pico de máximo nivel.

Los de tipo MOV están disponibles para un amplio rango de tensiones y corrientes, desde 4 V. para líneas de datos hasta varios miles de volt para redes de potencia; para pulsos pico desde unos pocos hasta 10000 Ampere, y para la disipación de energía desde 1

hasta 10000 Joule. Son de bajo costo, compactos y fáciles de aplicar, por lo que son los de mayor uso para la protección de transitorios.

Una característica de los MOV es que se deterioran con la repetición de los transitorios, aunque ello se ha mejorado en los equipos más modernos.

Los Diodos de Zener también se emplean para el enclavamiento de tensiones. Se trata de dispositivos de avalancha que mantienen impedancias elevadas hasta la tensión de ruptura, donde esta cae rápidamente hasta permitir la acción de enclavamiento. Los diodos de Zener empleados para enclavamiento de tensión son de características diferentes a los utilizados como reguladores de tensión.

Bajo condiciones de avalancha, cuando el diodo tiene Sobre Tensiones, flujos sustanciales de corriente pueden atravesar la junta semiconductor. La habilidad para disipar el calor en la juntura limita la máxima energía que puede manejar.

Los Varistores de Carburo de Silicio tienen elevada capacidad de manejo de potencia y se emplean para transitorios de alta tensión, como los supresores para descargas atmosféricas. Tienden a manejar corrientes importantes en el estado normal, por lo que normalmente se emplean en serie con dispositivos que mantienen abierto el circuito hasta que ocurre algún transitorio. Esta propiedad los vuelve insatisfactorios para operaciones de enclavamiento a bajas tensiones.

También se suelen utilizar los Supresores de Transitorios de Celdas de Selenio, que manejan satisfactoriamente transitorios repetidos de alta energía, pero que tienen un pobre desempeño como enclavadores de tensión.

c. Dispositivos de Atenuación

Estos dispositivos están insertos en un circuito para permitir el pasaje de potencia a frecuencia de línea, mientras atenúan los transitorios con frecuencias en el rango de KHz o MHz, varios ordenes de magnitud superiores que los de la potencia de 60 Hz.

Los Filtros de Paso Bajo (low-pass) consisten en una combinación de capacitores en paralelo e inductancias en serie. Sus componentes deben estar capacitados para resistir las altas tensiones de los transitorios, mientras que las inductancias en serie deben permitir circular las muchas veces importantes corrientes de carga.

Los filtros deben estar dimensionados para el tipo de transitorio a atenuar. Por lo tanto, su impedancia debe estar de acuerdo a la impedancia de entrada y salida; de lo contrario, con las variaciones los filtros pueden asumir compromisos perjudiciales.

En circuitos de baja potencia un transitorio puede hacerlo entrar en oscilación, y la salida en filtros de pobre desempeño puede contener más tensiones y frecuencias espurias que la entrada.

Un dispositivo especial de ajuste activo (active tracking) censa la tensión sinusoidal instantánea a cualquier punto en el ciclo y otros dispositivos limitan la tensión máxima. Ello limita la desviación de la tensión sinusoidal instantánea verdadera, en cualquier punto de la onda sinusoidal, a $\pm 2V$. Cuando se censa una desviación de tensión, la unidad provee un filtro integral en menos de 5 nanosegundos.

d. Dispositivos híbridos

Son supresores de transitorios que combinan dos o más tecnologías para proveer supresiones de transitorios en un amplio rango de tensiones, tasas de crecimiento, etc., que un solo dispositivo no podría proveer.

Como ejemplo de ello podemos encontrar los productos que incorporan una variedad de componentes como la indicada en la Tabla 2:

Componentes	Ventaja aprovechada
Varistor de óxido - metal	- Gran capacidad de manejo. - Tiempo de respuesta en nseg.
Diodo	- Excelente confiabilidad. - Tiempo de respuesta en nseg.
Descargador Gaseoso	- Buen manejo de sobrecorrientes. - Tamaño pequeño.
Capacitor	- Sin umbral de operación. - Filtra transitorios de Onda Amortiguada - Filtra interferencias electromagnéticas y de Radiofrecuencia.

Tabla 2 Componentes principales de los supresores de transitorios (TVSS)

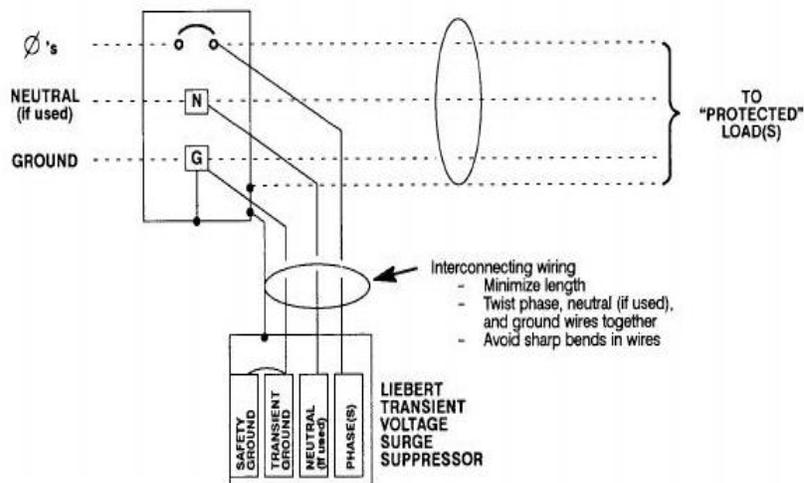


Fig. 30 Conexión típica en paralelo de un supresor de transitorios

3.3.4 Transformadores de Aislamiento

Las función básica de los transformadores es la de **cambiar o ajustar los niveles de tensión**.

Actualmente se les ha asignado otras dos funciones que consisten en:

- Proporcionar un separador para la fuente de potencia
- Permitir el aislamiento de las terceras Armónicas

Los transformadores con Blindaje de Aislamiento no proveen protección contra anomalías de tensión como Baja-tensiones o Sobre-tensiones. En efecto, debido a las características de estos transformadores, las variaciones de tensión ocurridas en el arrollamiento primario inducen corrientes en el arrollamiento secundario del transformador.

Adicionalmente, por la naturaleza propia de los transformadores se pueden generar transitorios. Por ello, los transformadores con Blindaje de Aislamiento de alta calidad vienen acompañados de supresores de transitorios de tensión, que pueden superar ciertos tipos de anomalías en la alimentación. La resolución de problemas creados por múltiples caminos de corrientes en el circuito de tierra son ejemplos del uso efectivo de esta combinación.

a. Transformadores estrella - delta:

Permiten retener en ese punto de la instalación los Armónicos 3°, 9° y múltiplos de tres, los que solo pueden circular desde la carga hasta el transformador, pero no aguas arriba. También permiten liberar al neutro de la fuente de las corrientes armónicas, que pueden ser muy importantes, evitando el recalentamiento del mismo.

b. Transformadores de doble secundario:

Cuando las cargas generadoras de Armónicos son trifásicas, predominan principalmente los armónicos 5to. y 7mo., por lo que la solución anterior no es válida y debe recurrirse a otra técnica que consiste en realizar un defase angular de 30° entre las dos salidas. El mismo efecto podría obtenerse si se utilizaran dos transformadores con distinto acoplamiento.

En esta aplicación las cargas se reparten en dos salidas separadas que se conectan a ambos secundarios.

Debido al defasamiento entre secundarios las corrientes Armónicas de ambos secundarios están defasadas y aguas arriba se suman, obteniéndose como resultado una disminución en la tasa de distorsión de corrientes y en particular en los armónicos de grado 5° y 7° ya que dichos armónicos de uno de los devanados está en oposición de fase con los equivalentes del otro devanado.

No obstante, para que este procedimiento pueda dar resultado se deben conectar solamente cargas trifásicas en ambos secundarios y las cargas deformantes han de tener características similares (el mismo espectro Armónico) en las dos distribuciones para que se anulen por su signo opuesto.

3.3.5 Fuentes de Energía Ininterrumpible (UPS)

Constituyen uno de los equipos más populares en las instalaciones actuales; su función es mantener constante la alimentación de energía a una carga determinada, o a un grupo de cargas a la vez. En los casos donde son inesperables los cortes de energía, los UPS combinados con equipos de protección de Sobre Tensiones suelen ser la solución más efectiva al menor costo. No solo proveen el filtro y acondicionamiento necesario para asegurar la calidad de la energía requerida por los equipos electrónicos sensitivos sino que sirven de fuente de alimentación en caso de salidas de servicio en la alimentación principal.

Componentes principales:

Constan de las siguientes partes:

- Rectificador de Corriente Alterna en Continua.
- Un bus de corriente continúa con una batería flotante continuamente conectada
- Un inversor de Corriente Continua a Alterna y
- un switch de by-pass de estado sólido.

Las UPS estáticas vienen en rangos amplios, desde unos pocos cientos de VA para la protección de cargas individuales hasta 750 kVA (o más) para proteger instalaciones enteras. Cargas mayores se atienden mediante el empleo de unidades en paralelo.

Los sistemas de UPS estáticas están disponibles en tres configuraciones típicas:

a. UPS "On Line":

Son el tipo más común en las instalaciones para cargas críticas. En estas configuraciones las cargas son continuamente alimentadas por las salidas del inversor. En caso de fallas la alimentación se transfiere a la fuente de backup, generalmente la línea de alimentación de la distribuidora.

La fuente alternativa de potencia sirve para un segundo propósito: provee corriente para limpiar las fallas, una función importante, debido a que muchos inversores no pueden generar las corrientes necesarias para fundir un fusible o abrir un interruptor de una carga crítica. El by pass estático retransfiere la carga a la salida del UPS cuando el dispositivo de protección limpia la falla.

Una ventaja del UPS "on-line" es que las cargas críticas continúan recibiendo potencia acondicionada y nunca se quedan sin alimentación. Un requerimiento importante de estos equipos es que deben ser adecuadamente dimensionados para alimentar las cargas y para mantener en carga a las baterías.



Fig. 31 UPS Npower Liebert

b. UPS "Off Line":

Son diferentes a las anteriores en la medida que en condiciones normales proveen potencia sin acondicionar. El switch de transferencia solo direccional al inversor de AC cuando censa una fluctuación o interrupción de la corriente normal.

Esta configuración se suele aplicar para cargas pequeñas y no requiere de otros equipos de acondicionamiento de línea. El tiempo de transferencia de la fuente normal a la alternativa, vía by-pass estático, es del orden de 4 milisegundos.

c. UPS de Línea Interactiva:

La potencia no se convierte en corriente continua (DC) y se envía directamente a las cargas críticas mediante un inductor o transformador. La regulación y alimentación continua a las cargas críticas se obtiene a través de switchers de inversión en combinación con inversores magnéticos como inductores, transformadores de línea o transformadores ferresonantes.

Para especificar una UPS se debe considerar:

- Redundancia o no de los sistemas: se debe analizar factores tales como confiabilidad requerida, costo y disponibilidad de espacio. La estrategia usual consiste en implementar sistemas con redundancia en paralelo, con todos los módulos on-line alimentando a las cargas críticas en paralelo.
- Switch de by-pass: La transferencia de las cargas desde las UPS a los sistemas de las distribuidoras, que ocurren en las fallas de las UPS, deben permitir su mantenimiento sin estar energizados.
- Selección de baterías: las más comunes son las de plomo - ácido debido a su simplicidad y bajo costo, siendo convenientes las denominadas "sin mantenimiento"; no obstante, existen nuevos tipos de baterías que conviene evaluar por su performance.
- Factor de potencia de la alimentación: El factor de potencia en la alimentación de estos equipos suele ser de sólo el 80%, por lo que para llevarlo a los valores deseados (cercaos al 95%) se debe recurrir a capacitores.
- Corrientes Armónicas: Las UPS estáticas generan Armónicas tanto en la línea de alimentación como en la de salida (del orden del 12 y 5% respectivamente), debido a los rectificadores de silicio. Ello puede ocasionar inconvenientes en los sistemas de control y sobrecalentamientos en el neutro, por lo que se requiere colocar filtros que limiten la presencia de Armónicas.

3.3.6 Conmutadores de estado sólido

Las fallas eléctricas son comunes a todos los equipos, más aún desde que se introdujeron los dispositivos de estado sólido. Las soluciones primitivas incluían el empleo de equipos rotativos y conmutadores para derivar la alimentación de la fuente "primaria" a la "alternativa"; estos switches eran básicamente electromecánicos.

Su principio de funcionamiento consistía en que una reducción de tensión en el relay, por debajo de un cierto valor, producía su desenergización, desconectando el contactor de la línea preferida y energizando el contactor alternativo.

La fuente preferida debía estar completamente desconectada cuando entre en operación la secundaria, a efectos de evitar cortocircuitos. Para alimentar equipamientos de estado sólido ello no es posible por las siguientes razones:

- las interrupciones de potencia son prolongadas, los arcos producidos durante las transferencias son una fuente intensa de radiaciones y de ruidos eléctricos,
- la conmutación descontrolada puede producir importantes transitorios de corriente, y los conmutadores electromecánicos no pueden alcanzar altas velocidades de switcheo.

Por tal motivo, para conmutaciones en Corriente Alterna con tiempos de switcheo de varios microsegundos se introdujeron los rectificadores de estado sólido en base a silicio (SCR). Los controladores más modernos tienen dispositivos incorporados que no se ven afectados por condiciones de tensión cero menores a 8 ms.

Los conmutadores de estado sólido que se aplican a cargas sensitivas incluyen sensores de fallas en la fuente preferida de alimentación que permiten la transferencia a la fuente alternativa manteniendo las relaciones de fases, restableciendo la tensión rápidamente para evitar malfuncionamientos. La transferencia se efectúa sin producir arcos.

3.3.7 Acondicionadores de líneas

Como respuesta a los deseos de los consumidores de contar con una solución completa para todos los problemas de Calidad de la Energía compactadas en un solo equipo, en los últimos años se desarrolló el concepto de "Acondicionadores de Línea" o "Acondicionadores de Potencia". Los mismos incluyen el tablero de distribución y los elementos de diagnóstico.

El objetivo de los Acondicionadores de Línea es modular o combinar varias funciones de acondicionamiento de la potencia tales como aislamiento, regulación de tensión y distribución a través de un tablero correspondiente.

Los tipos más comunes incluyen Transformadores con Blindaje de Aislamiento, especiales para acondicionamiento de líneas. Estos equipos cuentan con reguladores de tensión ferroresonantes con un rango de regulación +10% / -20% y tableros de distribución, incorporados o en grupos exteriores.

Otros desarrollos pueden incluir Filtros de Ruidos y simples Supresores de Perturbaciones. Los Supresores de Transitorios de Tensión están incluidos en la salida de los Acondicionadores de Línea que atienden cargas múltiples.

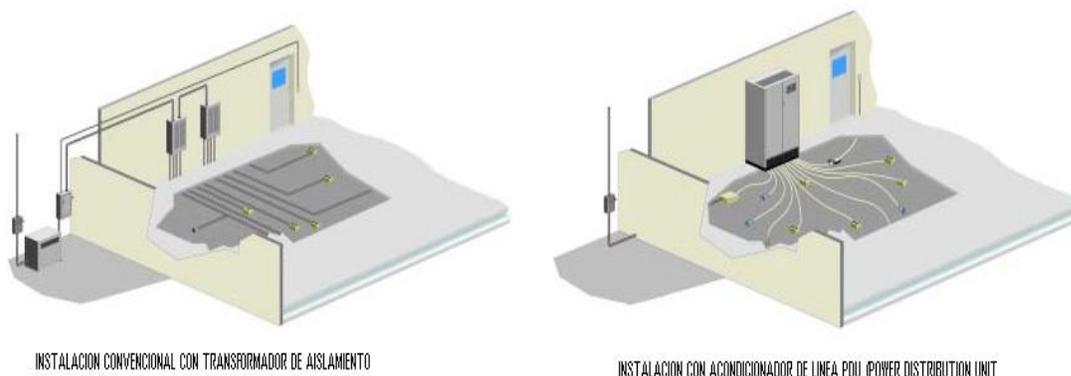


Fig. 32 Misma instalación utilizando transformador de aislamiento y PDU

3.4 CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y SELECCIÓN

Consiste en determinar el método más eficiente para acondicionar el sistema de potencia, para ello se considera en primera instancia los requerimientos de potencia limpia de las computadoras y otros equipos así como las características de los problemas posibles (severidad y extensión de los mismos).

Posteriormente se considera la efectividad de cada tipo de acondicionador de potencia para resolver los problemas examinados y, finalmente se analiza el costo y la efectividad de cada tecnología disponible.

Los requerimientos de los equipos electrónicos sensibles, en términos de alimentación de energía limpia, se pueden obtener de los fabricantes de dichos equipos. En general, estos requerimientos se ajustan a las normativas CBEMA, aunque algunos equipos permiten mayores tolerancias que otros en el control de potencia. Asimismo, se debe evaluar la gravedad de ocurrencia de posibles errores y crash del sistema de computación.

La calidad de la alimentación se puede determinar en base a la experiencia previa de monitoreo de la potencia en los locales con computadoras, empleando instrumentos capaces de registrar transitorios y variaciones de voltaje.

Combinando las necesidades de potencia, de garantizar la continuidad de operación de los equipos y las imperfecciones admisibles en el suministro, se puede definir los requerimientos del sistema de acondicionamiento de potencia.

El estudio mencionado revela la frecuencia de ocurrencia de varios tipos de fallas, analizando la efectividad de los acondicionadores sobre cada una de ellas, la comparación de efectividad es solo uno de los pasos para elegir la tecnología de equipo más adecuada. Se debe considerar el costo de los mismos, tanto en su valor propiamente dicho como en el costo anual de mantenimiento y el costo de la energía resultante, considerando las pérdidas que ocurren con cargas parciales. Todo ello permite una comparación realista entre las diferentes marcas y tecnologías. Si sólo se considera la performance, la elección suele recaer en un UPS; si sólo se considera el costo la elección recae en un supresor de transitorios de pico, pero este equipo solo resuelve unos pocos problemas por lo que raramente se emplea en forma aislada. Si se considera la relación costo - beneficio un transformador con blindaje de aislamiento suele ser la mejor elección. La única tecnología

totalmente efectiva es la combinación de una UPS con un generador que suministre energía antes que las baterías se agoten.

Si el costo de salida de servicio de los equipos productivos es elevado y los equipos electrónicos son críticos para su operación, el UPS es la única solución aceptable.

Si se cuenta con alimentación desde dos vías (por Ej., desde dos distribuidoras diferentes) se puede emplear un sintetizador magnético (de baja eficiencia a cargas parciales) combinado con un desconectador en paralelo, como una alternativa efectiva a las UPS.

En síntesis, la decisión consiste en emplear el sistema más efectivo al menor costo, pero el problema se complica debido a que no existen dos instalaciones con similares requerimientos.

Capítulo 4

Sistema de energía ininterrumpida (UPS)

4.1 ¿QUE ES UN UPS?

Un UPS (Sistem Power Uninterrumpible) es un sistema que prevé energía eléctrica ininterrumpida a una carga determinada, para realizar esta función dispone de tres elementos claves:

- Una reserva de energía, que de alguna manera se convertirá en energía eléctrica y será entregada a la carga.
- Un elemento capaz de reponer la energía cuando por algún motivo se utilizo total o parcialmente la reserva.
- Un sector para elegir de donde obtiene la energía que le entregara a la carga, si de la línea o de la reserva.

4.2 CLASIFICACION DE LOS UPS

Existen diversas maneras de clasificar a los UPS, a saber:

- Según el tipo de corriente que alimenta la carga
 - a) **UPS de corriente continua**, básicamente un rectificador y una batería (energía de reserva), fig. 33 alimenta una carga de corriente continua, aquí la carga y las baterías están en paralelo y el convertidor debe de prever energía a la carga y para sostener cargadas a las baterías. Las centrales telefónicas importantes suelen utilizar estos esquemas de alimentación.

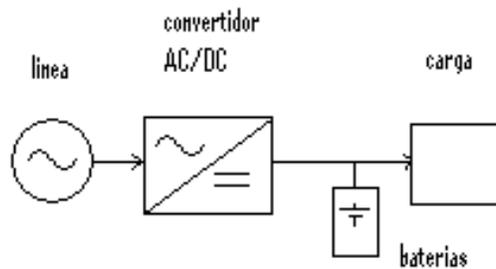


Fig. 33 UPS de corriente continua

- b) **UPS de corriente alterna**, la carga necesita corriente alterna para funcionar. En este caso aparece un nuevo convertidor de CC a AC fig. 34 igual que los UPS de CC el convertidor de entrada energía para la carga de las baterías y el de salida, (también llamado inversor), genera la onda de corriente alterna que la carga necesita. Hay muchas configuraciones posibles y de ellas se obtienen una gran

diversidad de cualidades, características, precio y tamaños de UPS. La gran mayoría de los UPS son de este tipo.

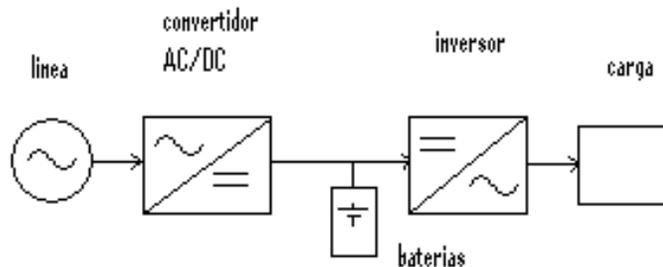


Fig. 34 UPS de corriente alterna

- Según la forma de generar la energía auxiliar
 - a) **UPS mecánicos (rotativos)**, están formadas por un conjunto moto.generador y un volante inercial, sostenidos en el mismo eje. cuando hay energía de red, esta acciona al motor eléctrico, como se mueve el volante inercial (reserva de energía) y al generador, y este alimenta la carga.
 - b) **UPS estática (eléctricas o electrónicas)**, no tienen partes móviles (más allá de las turbinas de ventilación) y todo esta conformado con partes eléctricas y electrónicas.
 - c) **UPS mixtas o híbridas**, combinan ambas técnicas. Hay diversos subgrupos que no tienen sentidos ampliar aquí.

4.3 UPS ESTATICOS

Dentro de los UPS estáticas, aparece una nueva clasificación. Según el camino que se recorre la energía que alimentara la carga, a saber:

- a) **interactivas o stand by**, son UPS que tal cual lo dicen las palabras, están esperando algún desperfecto en la línea de energía eléctrica para entrar en acción. El camino principal de la energía no atraviesa las baterías. En esta situación el UPS aporta las siguientes funciones: estabiliza a valores normales el valor de entrada (UPS interactivas) o no (UPS stand-by) y provee filtrado contra transitorios, picos y ruido de RFI/EMI. Se puede decir que esta circunstancia aumenta la calida de energía.
- b) **Online o en línea**, está constantemente alimentando la carga en forma independiente del estado que tenga la energía eléctrica. En este estado el camino de la energía es el siguiente: la batería alimenta al inversor, y están son alimentadas por el cargador. De está manera se tiene un bajo rendimiento energético y un uso elevado de las baterías, disminuyendo su vida útil. No presenta interrupciones a la salida, salvo los equipos que contengan bypass estático en línea. Esta configuración de los UPS actualmente quedo reducida a la enunciación teórica y actualmente esta configuración mutó a las UPS Online doble conversión, que para la carga se comportan como Online pero para el sistema de baterías no, las dejan en stand-by hasta que haga falta usarlas como se muestra en la fig. 35 aquí la energía de línea ingresa y es acondicionada por el filtro

de línea (2) luego el booster (3) transforma en corriente continua y la divide, una parte la destina a sostener la carga de las baterías y la otra alimentara al inversor (4), el inversor genera la onda que alimentara la carga, el booster es el encargado de separar la línea de la carga (una de las características distintivas de las UPS online), se observa la presencia del bypass (5) que se utiliza para cuando falla el camino de transferencia energética descrito antes, se observa que el circuito de baterías esta en stand by esperando que la líneas salga de parámetros para comenzar actuar. Lógicamente todo el comando por el circuito de control.

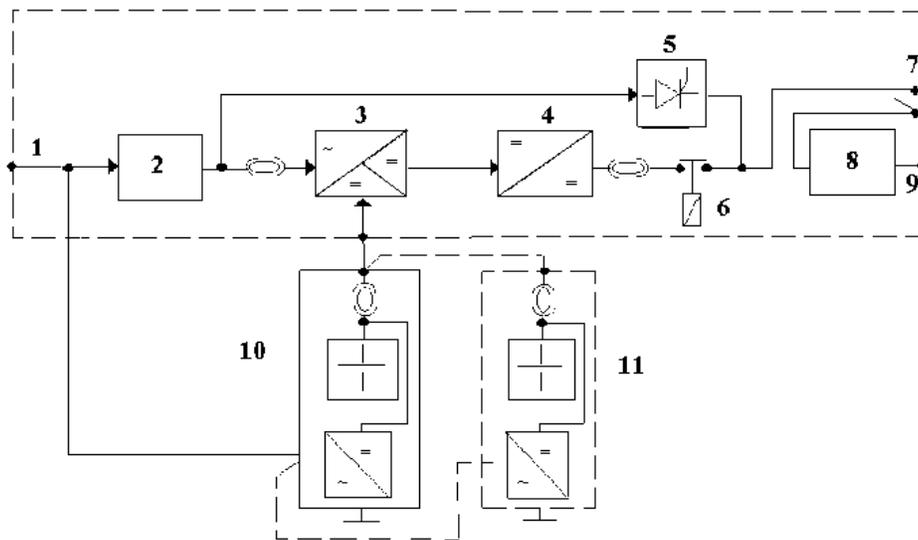


Fig. 35 UPS online o doble conversión

- 1) Entrada SAI.
- 2) Filtro de entrada (EMI)
- 3) Boost / rectificador
- 4) Inversor
- 5) By-pass estático red
- 6) By-pass inversor
- 7) Interruptor de salida (EPO)
- 8) Filtro de salida (EMI)
- 9) Salida SAI
- 10) batería estándar con cargador de batería
- 11) batería opcional con cargador de batería

4.4 UPS INTERACTIVAS

Recordemos la definición de UPS interactiva, se trataba de aquellos que mientras la energía de línea estuviese presente y con parámetros aceptables de voltaje y frecuencia (cada fabricante de UPS los establece y allí surge toda la gama de equipos)

esta alimentaba la carga, y el UPS solo mejoraba algunos parámetros, como ser corregía el valor de voltaje y preveía algún filtrado de línea. Cuando la energía de línea estaba fuera de esos parámetros o desaparecía el UPS conmutaba a energía de reserva.

Ahora bien esa llave de conmutación que se muestra es precisamente eso, una llave que en un extremo tiene la energía de línea y en la otra de la batería, esas llaves constituyen generalmente con un relé electromecánico. Mientras la llave o los contactos del relé, para mayor precisión están viajando de un lado a otro la carga queda, efectivamente, sin suministro de energía.

Forma de onda

Algo de lo que no hemos hablado hasta aquí es la forma de onda, es decir que el tipo o clase de onda genera el inversor DC/AC cuando debe de convertir energía de corriente continua en energía de corriente alterna. Tal como sea mencionado la forma de onda que proviene de la red de suministro eléctrico es senoidal.

Esta onda senoidal se generada por la modulación por ancho de pulso (PWM).

4.4.1 Análisis de bloques en un UPS interactiva

Al menos sus partes constitutivas y esquema general de funcionamiento.

Unidad de control. El control de todas las funciones de el UPS es realizadas por un microcontrolador, que consta de memorias ROM y RAM y con un oscilador de cristal de cuarzo como clock del sistema.

Supresor de transitorios y filtrado de entrada El supresor de transitorios es como el descrito en párrafos anteriores y permite atenuar a valores inofensivos, sobrevoltaje de categoría A en la norma IEEE-587.

El filtrado provee atenuación tanto para el ruido a modo común, como el ruido a modo diferencial, siendo el valor típico de atenuación para este último de aproximadamente 40 db para una frecuencia de 200 KHz.

Regulador de voltaje la función de transferencia del estabilizador utilizado por el UPS, consta básicamente de un autotransformador con cuatro etapas de regulación que son las que permiten mantener la tensión de salida dentro del rango de regulación.

Filtrado de salida Habíamos hablado de la conmutación del relé de salida y sus efectos indeseados, el tiempo de conmutación y los rebotes, además hay que agregar los que el propio estabilizador tiene. Para atenuar los disturbios generados por los relés de la tensión de salida, se coloca un filtro en borne de salida del UPS. Este filtro consiste en una resistencia de potencia conectada en serie con un capacitor de poliéster de alto voltaje.

Elementos conmutación: cuando la tensión de la línea se encuentra fuera del rango de entrada que puede absorber el estabilizador o cuando se produce un corte de energía, el UPS corrige está situación conmutando a la fuente secundaria de energía, que es el sistema de batería-inversor. Este tiempo de conmutación es de 7 milisegundos, suficiente para que las fuentes conmutadas de las computadoras no se vean afectadas por el cambio entre las fuentes primarias y secundarias de energía.

Inversor es aquel que se encarga de convertir el voltaje continuo de las baterías a voltaje alterno, este consta de un transformador que eleva el voltaje a niveles necesarios

para alimentar la carga crítica. Los transistores utilizados para realizar la conversión de voltaje son MOSFET de potencia, los cuales presentan una gran capacidad de soportar sobrecorrientes transitorias, muy bajos tiempo de conmutación. La unidad de control del UPS, apenas detecta un corte en el suministro de energía eléctrica de la orden de conmutar a la fuente secundaria de energía eléctrica (inverso) y simultáneamente habilitar a los transistores de potencia conducir cuando está funcionando el inversor.

Baterías y cargador: este sistema es vital para el buen funcionamiento del UPS ya que es el encargado de mantener dentro de la batería la energía de reserva. Se utilizan baterías especiales aunque haciendo algunas concesiones se puede colocar hasta acumuladores de auto. Dado lo crítico de este sub-sistema dentro del UPS, es importante tener presente algunos puntos sobre el cuidado de las baterías y el uso de cada diseño de UPS da a la misma. Esto es necesario considerarlo, porque cambiar las baterías de un UPS puede oscilar alrededor del 25% del valor del producto. Además significan un costo extra de parada del UPS y el servicio técnico especializado.

- El primer punto a considerar es la temperatura de trabajo de la batería. Los fabricantes de baterías explican que por cada 5 grados centígrados por encima de los 25 grados de ambiente se reduce la vida en un 10%. Esto significa dos cosas: que el diseño de los UPS debe de ser tal que la batería se mantenga fría y que el lugar de operación de la misma sea lo más frío posible.
- El segundo punto es el diseño del cargador de la batería. La vida útil se maximiza cuando son cargadas por cargadores del tipo de flotación. Una batería aumenta su vida útil si esta permanentemente mantenida en estado de flotación. Pues hay procesos de envejecimiento que son atenuados si se ejecutan esta premisa. De aquí es importante que aunque el UPS se encuentre apagado, pero conectada a la red, este funcionando el cargador.
- En tercer punto es que el UPS tenga la batería de mayor vida útil será la que menor tensión de batería utilice, esto es así porque al colocar las baterías en serie para elevar el voltaje y disminuir la corriente de trabajo del inversor, se aumenta el riesgo de falla, pues queda en serie un montón de celdas (cada batería de 12 volts tiene 6 celdas internas). Además se demostró que el envejecimiento de la batería depende del número de celdas en serie que existan.
- El cuarto punto es la frecuencia que una batería este sometida al proceso de carga-descarga. Existen aquí dos formas una pensando en que la corriente media de descarga y la otra en la instantánea. La media y generalmente para todas las baterías indica una vida útil de 300 ciclos. La instantánea no se conoce, pues el proceso de descarga con corrientes instantáneas ocurre cuando la batería entrega mucha corriente por periodo de tiempos cortos.

Resumen

Entonces como características importantes se pueden destacar en nuestros UPS interactivas están las siguientes:

- estabilizador incluido de amplio rango
- estabilizador de tensión de rápido tiempo de respuesta
- excelente capacidad de filtrado

- distintas autonomías de acuerdo a las necesidades de cada usuario.

4.5 UPS ONLINE

Este UPS está constantemente alimentado a su carga en forma independiente del estado que tenga la línea eléctrica. En este estado en camino de la energía es el siguiente: Las baterías alimentan al inversor de la salida y a las baterías las cargas el cargador; este proceso no se interrumpe nunca. En estos UPS, la carga no conoce de donde proviene la energía que la está alimentando, sin presentar interrupciones a su salida, salvo los equipos que dispongan de un bypass estático a línea. Aquí la energía de línea ingresa y es acondicionada por el filtro de línea, luego el rectificador transforma en corriente continua y la divide, una parte la destina a sostener la carga de las baterías y la otra al inversor, el inversor genera la onda de salida que alimentara la carga.

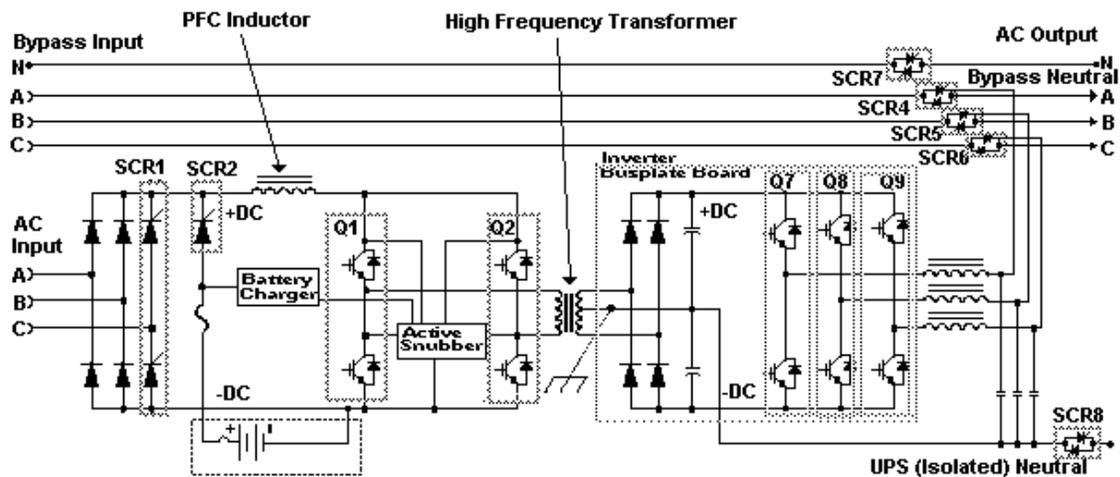


Fig. 36 Los componentes principales, electrónica de potencia de un UPS

Veamos más a detalle cada elemento interviniente en estos UPS.

4.5.1 El rectificador.

De un UPS Online doble conversión transforma la energía alterna de la entrada en un voltaje de continua que alimentara al inversor a plena carga y sostiene al cargador de baterías. Además el rectificador incluye otros elementos de suma importancia, entre ellos el filtro de línea que cumple dos funciones, el primero evita que el ruido presente en la línea penetre en el UPS y el segundo que el ruido generado en el proceso de rectificación se reinyecte en la línea, en consecuencia muchos UPS Online colocan filtros para bajar el contenido armónico de esta onda a través del filtro de línea. En los UPS trifásicos este fenómeno se amplía aun más, porque el rectificador es trifásico.

Otro fenómeno que provocan los rectificadores es que el factor de potencia que presentan a la red es muy bajo. Últimamente en los principales países del mundo apareció

normas legales que regulan la reinyección armónica y obliga a que los equipo que se conectan a redes eléctricas reduzcan este efecto nocivo. En consecuencia aparecen los rectificadores controlados y que corrijan el factor de potencia, llevándolo a casi la unidad, y como valor agregado también arreglan la forma de onda de la corriente, haciendo que el rectificador consuma de la línea una corriente casi senoidal. **El cargador de baterías** esta separado del rectificador, este sistema administra la carga o recarga de la batería. Las características esenciales de estos cargadores de baterías son:

- Corriente controlada, limitan la máxima corriente de carga al 10% (habitualmente)
- Están compensados en la temperatura, es decir de acuerdo a la temperatura a la cual esta sometido el banco corrigen el valor de la tensión del fondo. En forma complementaria en algunos cargadores se puede ajustar a las características de las baterías.
- En los casos de UPS de alta potencia o de bancos grandes, estos cargadores están hecho con tecnología switching, lo cual hacen que se deban extremar otros cuidados, estos son:
 - a) bajo contenido residual de corriente alterna
 - b) bajo contenido residual de voltaje de corriente alterna
 - c) elevada estabilidad en el voltaje de salida.

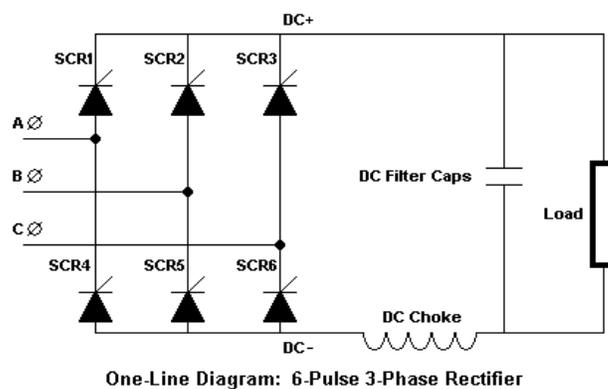


Fig. 37 Rectificador trifásico de 6 pulsos

4.5.2 El inversor.

Del UPS es el encargado de convertir el voltaje de corriente continua provisto por el rectificador o por las baterías en una onda de 60 Hz perfectamente senoidal. Puede ser monofasica o trifásica, de acuerdo a como sea el UPS. Esta controlado por un procesador digital de señal, equipado con transistores IGBT (Insulate Gate Bipolar Transistor) capaces de manejar la alta frecuencia resultante del PWM (Pulse Width Modulation) que es la técnica mediante la cual se convierte la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). El inverso contiene:

- el inversor propiamente dicho, monofasico o trifásico (según sea el caso). Dicho inversor funciona basado en la tecnología Pulse Width Modulation (PWM). recordamos que para el caso de un UPS trifásico, el inversor se encargara de general las ondas con sus correspondientes de fases de 120 grados.

- Un oscilador sincronizado con la frecuencia de la red principal. Y que es capaz de adoptar su propia frecuencia, si la de la red principal no existe o esta fuera de tolerancia.

-
Algunas de las principales características son:

- alimenta las cargas no lineales que tienen hasta un factor de cresta 3 (factor de cresta es la relación entre la corriente eficaz y la corriente de pico) con una baja distorsión de voltaje. De hecho alimenta cargas lineales.
- Excelente performance dinámica frente a un impacto de carga.
- Tiene costos operativos reduciendo derivados de su alta eficiencia.
- Eleva la confiabilidad derivada de la simpleza de los circuitos de control.
- Bajo nivel de ruido sonoro: <49 dBA.
- Tensión de salida programable por el usuario.
- Capacidad de conectarse en paralelo con otros inversores similares.

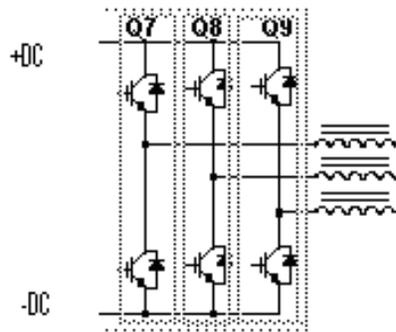


Fig. 38 Inversos trifásico compuesto con IGBT's

4.5.3 MODULACION DE ANCHO DE PULSO PWM

Técnica utilizar para general la onda senoidal a partir de la corriente continúa que entrega el rectificador a las baterías. Profundicemos un poco el tema porque es bastante esencial comprender esto, ya que aquí radica una de las grandes diferencias entre el UPS interactiva y las Online. Podemos observar la complejidad analítica y constructiva de generar eficientemente una onda senoidal de alta potencia.

En la figura 39 se muestra en primer lugar el tipo de onda que se pretende obtener (una senoide convencional) y en segundo término, lo que verdaderamente se obtiene. No se puede decir que ambas cosas se parezcan mucho.

A pesar de esta primera contrariedad, el método PWM es extremadamente popular en la generación de sistemas de alimentación de frecuencia variable, pues tiene una ventaja que lo destaca del resto: con él es extremadamente fácil controlar la frecuencia de la tensión de salida.

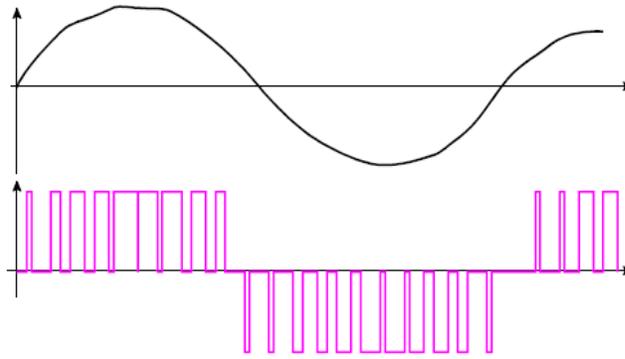


Fig. 39 onda senoidal convencional, tren de pulsos PWM

La esencia del método consiste en generar un tren de pulsos de altura fija, pero de ancho “más o menos” proporcional a la amplitud de la onda.

Esquema básico.

El esquema básico de funcionamiento de este inversor es este:

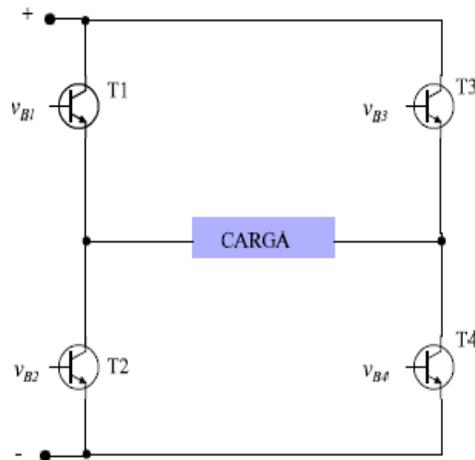


Fig. 40 inverso típico

Hay una carga en medio de cuatro transistores de potencia, los cuales se alimentan con tensión continua según se muestra. Dependiendo de cómo se encuentren los transistores (cortados o saturados) se podrá hacer que con una única alimentación, la corriente que pase por la carga tenga una dirección u otro. Es decir, si se activan T1 y T4: la corriente circula de izquierda a derecha. Mientras que si los transistores activados son los otros dos, la corriente circula de derecha a izquierda.

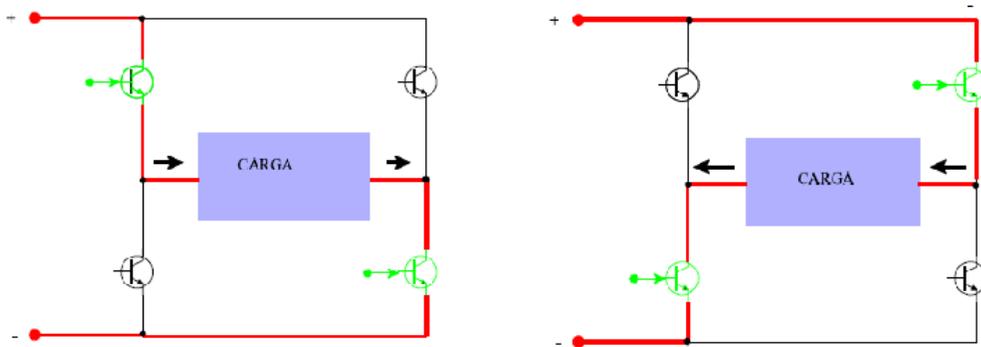


Fig. 41 La conducción de transistores debe de ser controlada
Para no tener corto circuito

Para conseguir que se alternen los transistores en la conducción, un procedimiento consiste en disponer como tensión de alimentación de las bases de los transistores las salidas de dos comparadores. El comparador A controla T1 y T2 y el B controla T3 y T4, de forma que nunca los dos transistores estén conduciendo simultáneamente (en ese caso tendríamos un cortocircuito).

El funcionamiento de los comparadores se indica en la figura y es el siguiente:

Para el comparador A, si la señal mayor (se trata de un comparador que determina qué señal de las dos entradas en la mayor) es la tensión $v_{ent}(t)$, entonces se activa T2 y se corta T1, con lo que se consigue que la tensión en el nodo u sea cero voltios; mientras que si la tensión mayor es $v_x(t)$, entonces se hace conducir a T1 y se desconecta T2, con lo que la tensión en el nodo u es ahora la máxima es decir V_{cc} . Para el comparador B las señales de entrada son $v_{ent}(t)$ y $v_y(t)$, y el funcionamiento es tal que si la tensión mayor es $v_{ent}(t)$ entonces se hace conducir a T3 con lo que se consigue que en el nodo v la tensión sea la máxima, y si la mayor es la tensión $v_y(t)$ entonces se hace conducir a T4.

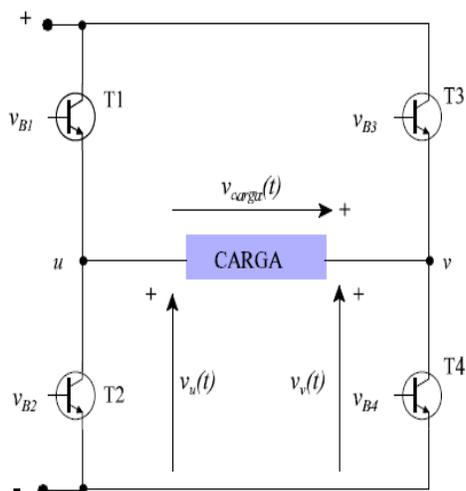


Fig. 41 diagrama de operación del inversor

Las tensiones $v_x(t)$ y $v_y(t)$ corresponden con formas de onda triangulares con un desfase de 180° (en todo momento $v_x(t) = -v_y(t)$); las dos ondas son fijas en cuanto a frecuencia y amplitud

Para diferentes valores de la tensión de entrada las tensiones resultantes en la carga tendrían el siguiente aspectos:

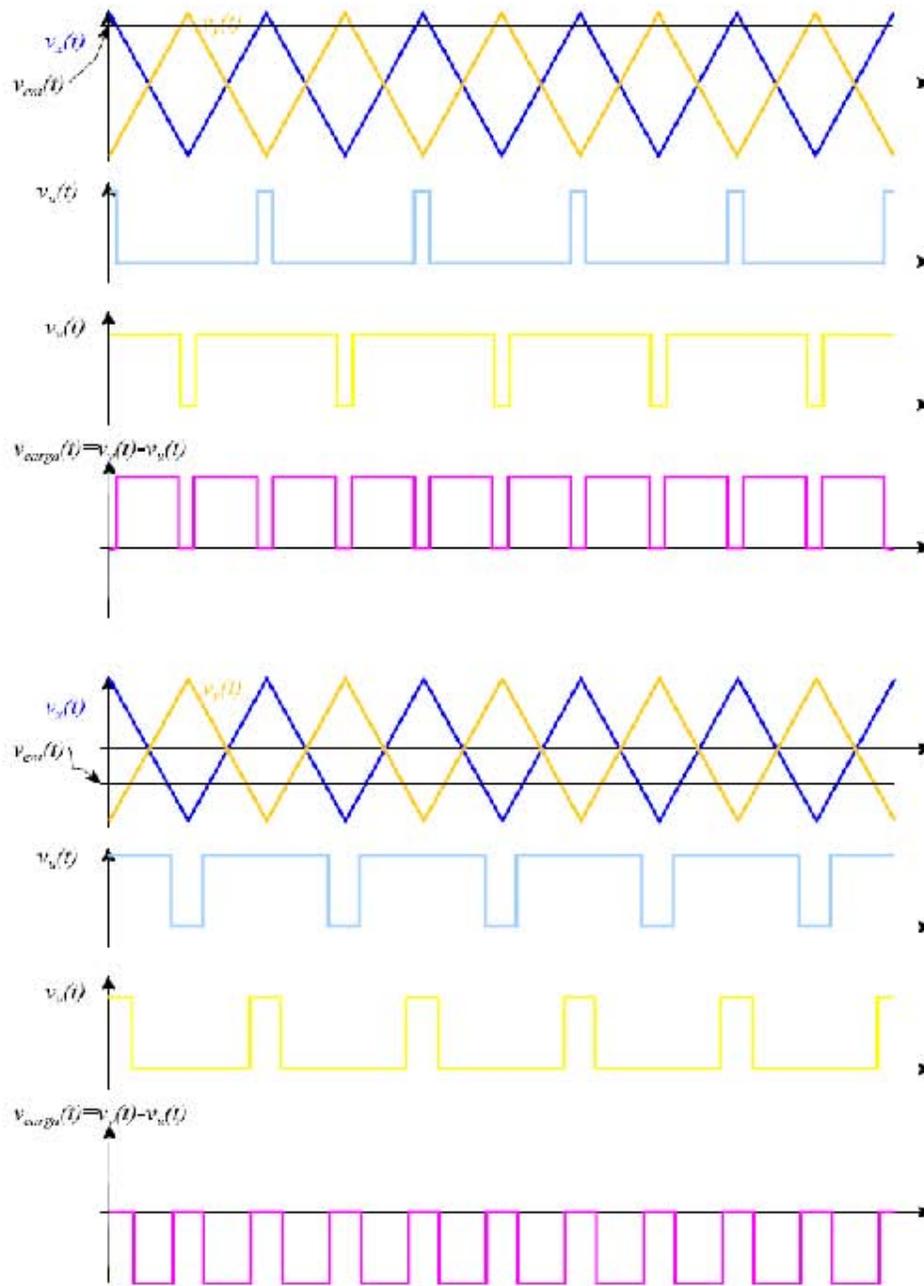


Fig. 43 2 ondas triangulares una defasada 180 aplicando diferentes tensiones + y -

Para diferentes valores de la tensión de entrada las tensiones resultantes en la carga tendrían el siguiente aspectos:

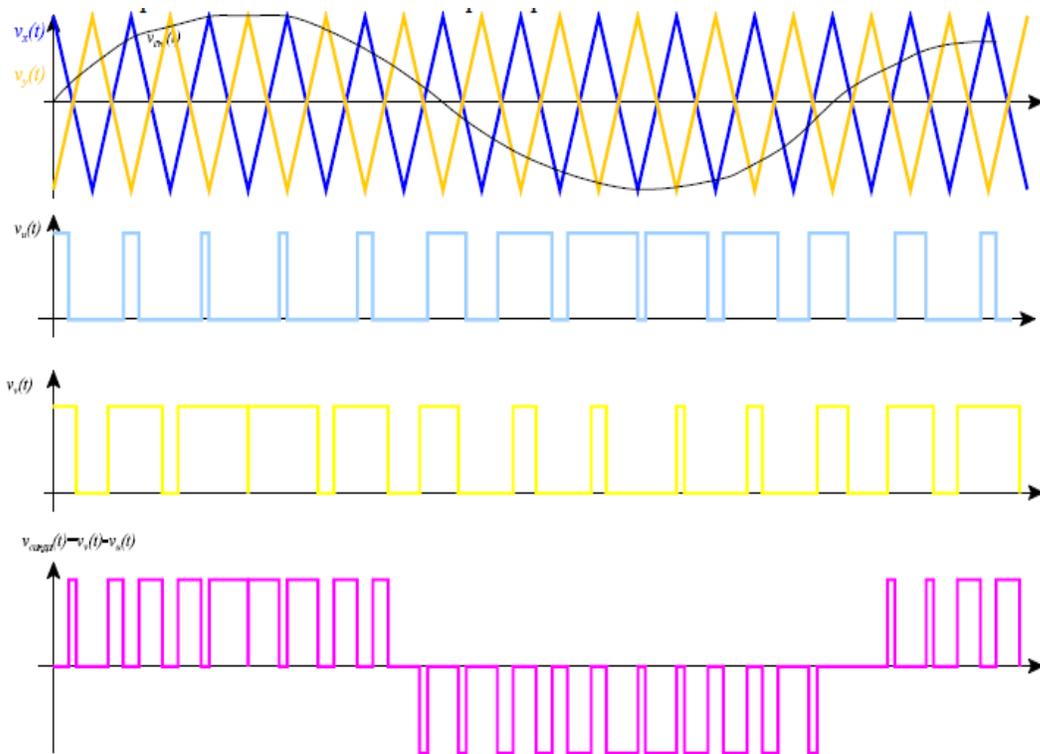


Fig. 44. aplicación de la onda senoidal a PWM

Y si finalmente, la tensión de entrada se hace variar senoidalmente, la tensión en la carga tendrá un aspecto como el deseado en un principio: De modo que al final, dependiendo de la frecuencia y amplitud de la señal de entrada, se consiguen señales de frecuencia y amplitud “equivalentes”, pero moduladas según su ancho de pulso:

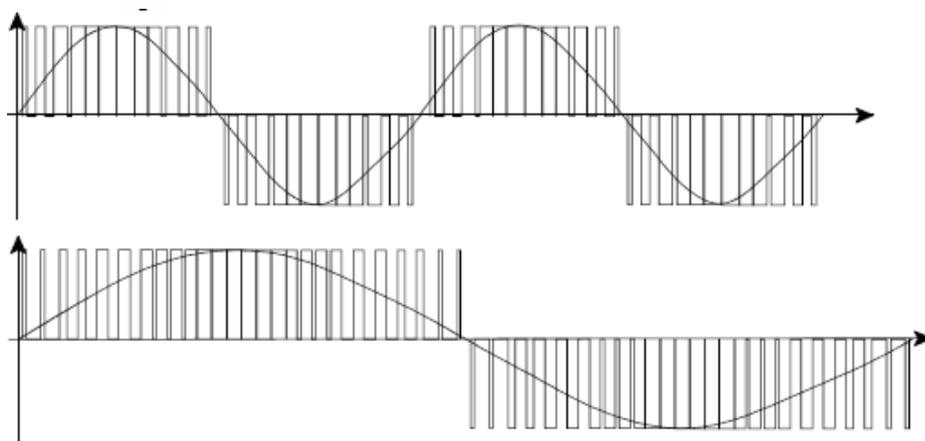


Fig. 45 La onda senoidal final puede variar la frecuencia dependiendo Del ancho de pulsos de la onda PWM

4.5.4 El by-pass

Es el elemento del UPS que permite seguir alimentando la carga para cuando el camino de energía a través del inversor falla. Es una función automática y de vital importancia, ya que generalmente es automática dentro del UPS. Pues vigila lo que hace el inversor, es decir controla todos sus parámetros, voltaje, frecuencia, distorsión armónica, temperatura, sobrecargas, etc.

En realidad se trata de una llave estática (generalmente un tristor o un juego de ellos) con la suficiente velocidad para que la carga no ve conmutaciones o interrupciones o interrupciones, de hecho esta conmutación se ejecute con sincronismos y siempre y cuando la línea cumpla con determinados parámetros establecidos por cada fabricante de UPS. Además con esta llave estática suele estar bastante más sobredimensionado que el propio inversor, ya que debe de soportar, más exigencia que este. Un ejemplo es como actúan los UPS frente a una sobrecarga, por ejemplo de 125% (la curva dice que el inversor soporta 125% por diez minutos), después de 10 minutos es UPS activara el by-pass estático y se quedara ahí, probando de vez en cuando si desapareció del inversor, pero si esto no cambia, alimentara de forma permanente la carga desde bypass. De hecho que esto tiene límites, es decir que el bypass también tiene su curva de protección, la curva de protección la cual si es superada también cortara en bypass en cuyo caso la carga se caerá. Algunos UPS también contienen un bypass manual, el cual es usado efectuar mantenimiento al UPS, puesto que en esta circunstancia permite a pagar al UPS sin que la carga se entere y proceder a efectuar reparaciones.

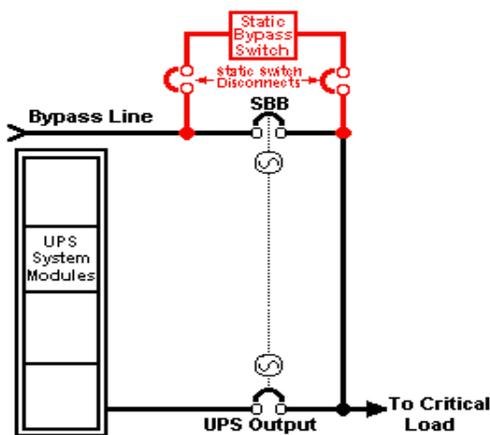


Fig. 46 Bypass mecánico y estático de un UPS

4.5.5 Filtro de salida.

Es un dispositivo capaz de producir un último filtrado de la onda generada por el inversor antes de entregarle energía a la carga, recordemos que el método de generación de la senoidal implicaba el paso estado digital de la señal (PWM), el cual debería ser filtrado para poder recuperar la onda senoidal.

El control del sistema (DSP), es un complejo sistema de control, el cual supervisa y controla todas las funciones del UPS, se puede decir que es el corazón del UPS y es

donde cada compañía fabricante de UPS pone el mayor esfuerzo y vuelca allí toda su ingeniería. Las siglas DSP provienen de Digital Signal Processing o procesamiento Digital de señal. Esto significa que todas las señales y variables que tiene el UPS son administradas digitalmente, las ejecuta poderosísimo microprocesador que puede realizar operaciones matemáticas muy complejas a una velocidad hasta 7 veces la de un procesador ordinario. Esta cualidad redundan en que gracias a esto es posible obtener.

- elevada confiabilidad y bajas dimensiones, con la utilización de DSP el número de componentes electrónicos usados baja muchísimo, en consecuencia bajan las dimensiones de los distintos circuitos impresos disminuyendo las posibilidades de produzcan fallas, en consecuencia aumenta la confiabilidad.
- Precisión, el DSP controla los valores eléctricos directamente (voltaje, frecuencia, corriente de salida y evitando el disturbio, logrando controlar las sobrecargas, overvoltage altos, así como otros fenómenos transitorios e inesperado.
- Capacidad de comunicación, el DSP controla a el UPS en su totalidad y proporciona (vía una interfaz serie o RS232) todos los datos necesarios para la supervisión, el cierre automático de los programas que corren en las computadoras que alimenta, la comunicación de una red LAN, Internet e intranet, y algo fundamental, el mantenimiento que se puede realizar sin apagar el equipó UPS.
- Capacidad de paralelizar, por último la presencia del DSP permite conectar UPS Online en paralelo, y realizarlo mediante órdenes directas al inversor, realizados con IGBT.

Las baterías, son un subsistema dentro de una UPS más delicados y sensibles, se hablara más a fondo de ellas.

4.6 UPS ON LINE DE ALTA POTENCIA

Cuando hablamos de alta potencia nos referimos a equipos de potencias superiores a los 40/60KVA, como mención en la marca de UPS que conocemos al dedillo, hay equipos individuales hasta los 800KVA y luego mediante la conexión en paralelo se puede llegar hasta los 4.800KVA.

En este tipo de equipos aparecen algunas cosas que es importante detallar, intentaremos hacerlo en forma resumida.

1. Se trata siempre de equipos trifásicos-trifásico, es decir la entrada es alimentada por un sistema Trifásico, y la salida es un sistema Trifásico.
2. Admiten diferentes configuraciones de Neutro.
3. Tienen integrado en si mismo el By-pass manual para mantenimiento. Figura 47. Que permite desconectar la unidad totalmente, para efectuarle mantenimiento.
4. Admiten una configuración de By-pass estático separado, es decir físicamente fuera de los UPS. A veces se suelen conectar varios UPS en paralelo (para redundancia) con un único bypass
5. Protecciones adicionales para el banco de baterías, en estas potencias los bancos de baterías suelen ser muy costosos y voluminosos, en consecuencia se extreman todos los cuidados y detalles sobre el mismo. La forma de hacerlo es dotar a la UPS de

más inteligencia para supervisar el correcto funcionamiento del banco y detectar cualquier anomalía con anticipación.

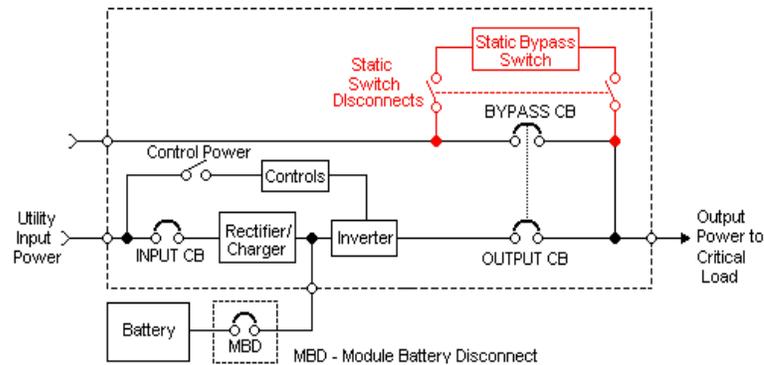


Fig. 47 Single Module system

6. Alimentación separada del by-pass estático y del rectificador, esto permite elegir entre dos fuentes de energía, por ejemplo el rectificador conectado una fuente de energía permanente pero económica, digamos un generador propio de la instalación. Y el by-pass conectado sobre la red de energía eléctrica provisto por una distribuidora eléctrica. Aquí se usa como criterio conectar el by-pass estático sobre una línea más confiable que la usada por el rectificador.

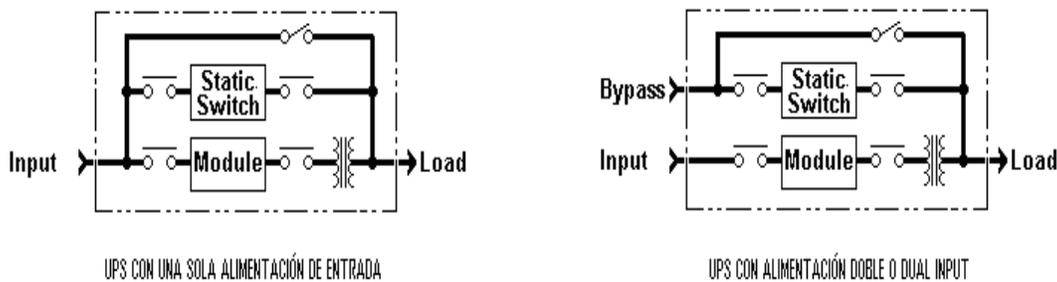


Fig. 48 Los UPS se pueden alimentar con una o doble fuentes de energía

7. Capacidad de sincronismo entre dos UPS, distantes que no estén conectadas en paralelo, configuración muy utilizada en el caso de los STS (Switch de transferencia estático). Veremos mas en detalle esta importante función
8. Capacidad para detener el cargador de baterías en forma independiente, para el caso de un corte de energía y entrada en servicio de un grupo electrógeno, entonces cuando esta el grupo, se apaga el cargador de baterías ahorrándole esfuerzo al generador.
9. Encendido demorado, que evita conectar todo el rectificador de una vez a la fuente de alimentación principal.
10. En estas UPS los bancos de baterías se pueden elegir, además de la autonomía, por la vida útil del mismo, arrancando desde 3-5 años de expectativa de vida, 6-9, 10-12 y hasta 15 años.
11. Mas independencia entre los parámetros a controlar, por ejemplo admiten mas ventanas de corrientes, potencias, tensiones, sobre-cargas, etc. Por ejemplo disponen

de turbinas de alto rendimiento hidráulico para evacuar la energía disipada en su interior, pero es tanto el sobredimensionamiento que suelen funcionar con un 50% de la capacidad hidráulica máxima.

12. Capacidad de probar al banco de baterías en el momento que el operador lo desee, además de las pruebas periódicas que realiza automáticamente la maquina.
13. Los fabricantes, lo hace, aseguran los repuestos y partes de estos UPS por los 10 años siguientes al de su fabricación, asegurando así continuidad en la operación y buen funcionamiento.
14. Pueden sostener un elevado rendimiento, cercano al 93%, para cualquier porcentaje de carga (esta función en UPS pequeñas no aparece) y es generalmente constante desde el 40% de plena carga hasta el 100%.

4.6.1 Paralelo de UPS Online

Mucho veníamos hablando del paralelo de UPS Online, desglosemos un poco estos conceptos.

La idea o concepto es similar al que se usa cuando ponemos dos generadores o fuentes en paralelos, si tuviésemos una fuente de continua (batería) alimentando un resistencia, tenemos. En esta situación la corriente que entrega la fuente V será $I=V/R$. Si ahora tenemos otra fuente de tensión V , idéntica a la anterior y la conectamos como indica la figura 50b, tendremos que la corriente I sigue siendo la misma pero ahora $I = I_1 + I_2$. En cuyo caso la corriente por cada fuente se dividió al por dos. En este caso lo que hemos hecho es colocar en paralelo las dos fuentes V . Con los UPS ocurre exactamente lo mismo, Recordemos que un UPS Online tiene al inversor permanentemente alimentando la carga, entonces colocar las UPS en paralelo equivaldrá a colocar en paralelo los inversores de dos UPS distintas. En las UPS que venimos hablando y gracias a la función del DSP esto es relativamente "sencillo". Pero antes de avanzar sobre las UPS en paralelo (el símbolo de paralelo es //) veamos dos conceptos que están ocultos en lo que hemos visto.

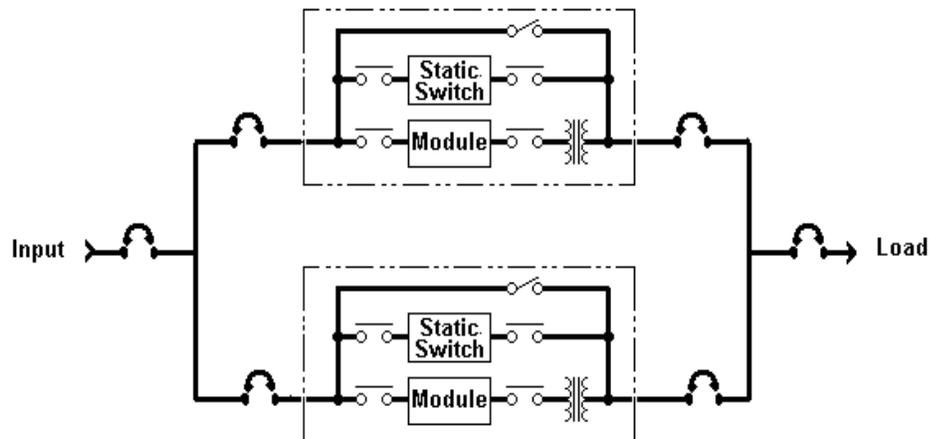


Fig. 49 Sistema con 2 UPS's en paralelo

1. Se trata del concepto de redundancia. Asumamos que la carga R es muy crítica y tenemos miedo que la fuente V falle, en consecuencia y para prevenir esta situación colocamos otra fuente V en //. Entonces, en la configuración de la figura 50b, cada fuente trabaja la mitad que en la figura 50a, pero si una de las dos se rompe, cualquiera puede entregar la corriente I que la carga R necesita. Lo que hemos logrado es aumentar al doble la confiabilidad de la instalación.

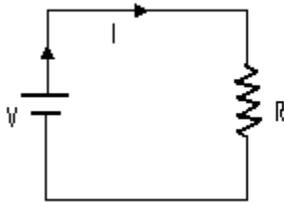


Fig. 50a $I = V/R$

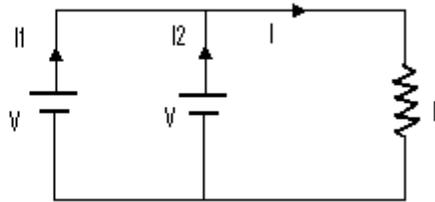


Fig. 50b $I = I_1 + I_2$

2. El otro concepto es el de ampliación, supongamos que tenemos una instalación como la descrita en la figura 50a, y que ahora nos cambia la R es decir la carga, y que ahora su valor es $R/2$ (esto significa que aumento la carga, es decir hay mas computadoras puestas en la instalación), entonces ahora la corriente I es $I_{Nueva} = 2 * V/R = 2 * I$. Si la fuente V que teníamos disponible podía entregar como máximo una corriente $I_{m\acute{a}x} = 1,3 * I$ ahora no podrá entregar la nueva corriente, entonces al colocar una fuente en paralelo igual a la que tenemos, figura 50b, tendremos que la capacidad total del conjunto es de $I_{total} = 1,3 * I + 1,3 * I = 2,6 * I$, en consecuencia podremos alimentar carga que ahora tenemos. Lo que hemos hecho ahora es aumentar la capacidad del conjunto, pero, observar que si una de las dos fuentes falla (se rompe) la otra no podrá alimentar la carga y tendremos nuevos problemas.

Todo lo que hemos hablado hasta aquí es valido para UPS Online, y los dos conceptos

Descriptos también.

La redundancia, se aplica muchísimo cuando se trata con cargas extremadamente críticas, citemos ejemplos, quirófanos, centros de procesamiento de datos,

1. telecomunicaciones, edificios inteligentes, centrales de alarmas industriales, salas de control de procesos continuos.
2. La ampliación, se utiliza cuando no se pudo prever el crecimiento de una instalación y la ecuación económica para resolverlo justifica colocar una nueva UPS del mismo tamaño que la anterior. Recordemos que en las UPS de alta potencia se pueden comprar repuestos y partes por 10 años, después de fabricadas. Entonces uno puede necesitar ampliar la UPS a los 5 años de instalada, y lo podrá hacer
3. Puede surgir una combinación de ambos, por ejemplo instalamos 2 UPS en // por redundancia y luego de un tiempo crece la carga en un 80% (o sea 1,8), entonces colocamos una tercer UPS ahora cada UPS administra un 33,33% de la carga o sea 0,6 si se rompe cualquiera de ellas el índice de carga subirá hasta el 45% o sea 0,9. Resolvimos el problema del crecimiento de la instalación y mantuvimos la redundancia que necesitábamos por la carga crítica.

Viendo el esquema utilizado para lograr redundancia podemos observar la presencia de una redundancia total, es decir rectificadores, inversores, baterías, by-pass, etc. Esto es lo ideal pero uno puede preguntarse si no es posible simplificar este esquema. Buscando obtener una menor inversión, un menor mantenimiento y seguir teniendo una elevada confiabilidad en todo el sistema. Por supuesto, la respuesta es si.

Observando la figura 51, se puede ver que se sustituyeron todos los by-pass individuales por uno **centralizado**, es decir un **único bypass**. Este único by-pass debe tener la capacidad de toda la instalación, ahora si teníamos un esquema de redundancia, el tamaño del bypass será igual a los individuales, logrando así reducir la inversión, obviamente aquí hemos hecho una pequeña concesión en la confiabilidad. Y si no teníamos un esquema de redundancia, si no de ampliación habrá que considerar que en el caso de fallas toda la carga caerá sobre este by-pass.

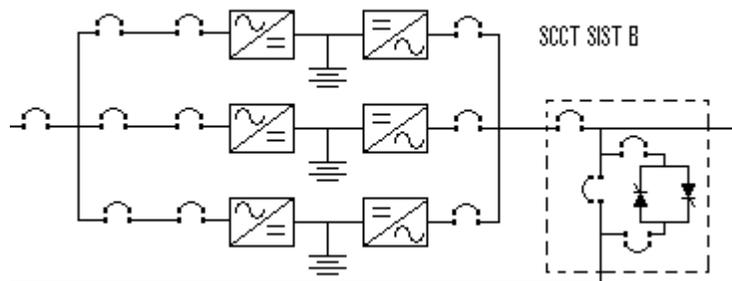


Fig. 51 Sistema multimodulos, 3 UPS's en paralelo y un solo bypass

Avancemos un poco en algunas configuraciones especiales utilizadas en instalación muy Críticas y de alta potencia.

Configuración especial

En ciertas ocasiones aparecen configuraciones especiales, se trata de adaptaciones de UPS a instalaciones existentes o la separación de cargas, para cuando tenemos cargas Críticas de diferentes jerarquías o suministros de energía eléctrica de diferentes calidades.

4.6.2 Redundancia secuencial

La redundancia secuencial esta basada en la unión de dos cadenas de UPS distintas e independientes (incluso de marcas y potencias distintas). Se realiza la unión de la cadena a través del by-pass estático de una de ellas, conectándolo con la salida de la otra cadena. Esto quiere decir que en una de ellas la alimentación del by-pass es la salida de la otra, como indica la figura 52. Con ello se consigue una doble seguridad de la carga crítica. Suponiendo que el UPS del equipo principal falle, entraría a trabajar su by-pass estático que a la vez esta alimentado por la otra UPS. En este caso es necesario un agregado, llamado protección especial de by-pass secuencial, que es un elemento encargado de sincronizar ambas UPS.

De hecho en esta configuración la carga crítica 1 es más importante que la 2, o al menos esta mas protegida. Algunas observaciones importantes son:

1. El UPS2, la que alimenta la carga crítica 2, debe tener capacidad de alimentar ambas cargas, pues cuando falle la UPS1, el by-pass 1 le conectara la carga crítica 1, entonces si la carga 1 es de 30KVA y la 2 de 60KVA, el UPS2 deberá ser de al menos 100KVA, aunque la mayor parte del tiempo solo entregue 60 KVA (para la carga 2).
2. Observar que la entrada de red del UPS1 no esta conectada a la salida del UPS2, seria algo que intuitivamente se podría hacer, pero esto traería aparejado unos cuantos inconvenientes, en lugar de reservar 30KVA (siguiendo el ejemplo de antes) habría que reservar bastante más. Por efecto del rendimiento de la propia UPS1 y por el factor de cresta que el rectificador del UPS1 representa para el UPS2.
3. También podrían elegirse diferentes fuentes de suministro, tendiendo a usar una más confiable para el caso del UPS1.

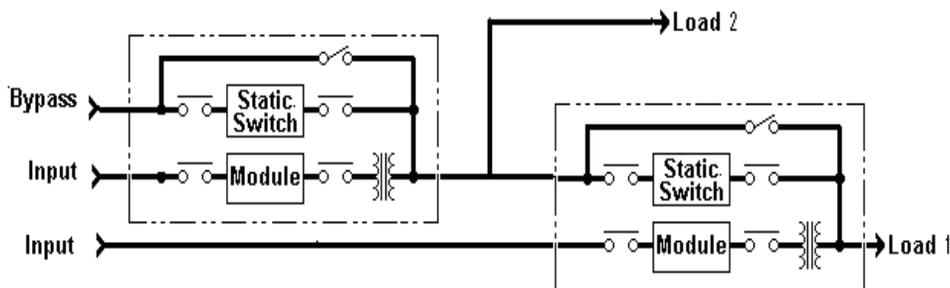


Fig. 52 Redundancia secuencial o sistema de redundancia en cascada

4.6.3 Sistema paralelo redundante - con doble juego de barras

El sistema doble juego de barras para UPS fue creado para resolver la necesidad, en grandes centros de calculo, de poder hacer todo tipo de mantenimientos sin jamás pasar la carga crítica por la red de suministro eléctrico. Este concepto se implementa para cargas muy críticas, que requieren una alimentación eléctrica 100% confiable, en esquemas de funcionamiento 7*24 durante todo el año, sin paro alguno y con permanente cobertura ante problemas de suministro. El esquema se muestra en la figura 53. Allí, pensando un poco y con algo de imaginación, se puede encontrar la forma de operar las llaves mostradas para conectar y desconectar, realizar mantenimiento y demás, de cualquiera de los 5 componentes del sistema, de a uno por vez. Aquí esta planteado un sistema redundante, recordemos que esto es, si la carga es de potencia K, cada UPS será de una potencia K.

4.6.4 Sistemas con Multi By-pass

Este sistema es un nuevo concepto innovador en materia de alimentación eléctrica de alta calidad. Se trata de una instalación de UPS o UPS's con varios By-pass separados, constituyendo cada uno de ellos una salida de alimentación independiente. Esta

configuración esta perfectamente adaptada para las exigencias de una instalación con varias UPS separadas bien por ubicación física, o bien por nivel de seguridad.

Ventajas:

- Aumenta la fiabilidad global de la instalación.
- Aumenta la seguridad de funcionamiento reduciendo los riesgos de perturbación entre las distintas cargas.
- Responde a la necesidad de clientes que quieren alimentar con energía de muy alta Calidad cargas de diferentes potencias.
- Aumenta la flexibilidad para ampliación posterior de la instalación.
- Permite la configuración de prioridades, para proteger las cargas mas criticas antes una eventual avería de alguna cadena.

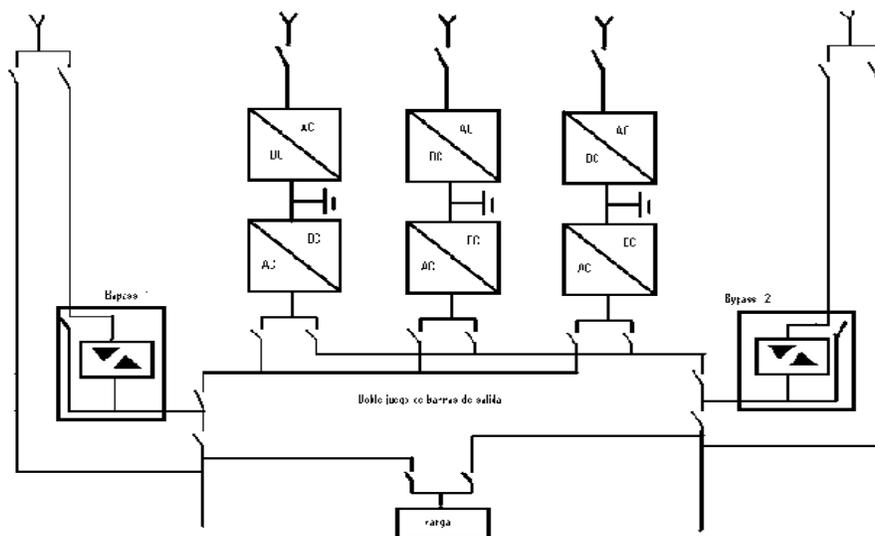


Fig. 53 3 UPS's en paralelo con dos fuentes de bypass diferentes, con su respectivo switch estático

4.6.5 Sistemas en Redundancia Total

La **redundancia total**, consiste en la realización de una instalación simétrica, para obtener red de emergencia constante protegida por UPS. Esta compuesta (figura 54) por:

- Dos sistemas Ininterrumpidos de Energía, pueden ser uno o varios UPS's con su gabinete de control estático, que pueden estar físicamente separados, no en el mismo lugar.
- Una barra de distribución doble
- Un módulo de transferencia de cargas conocido como power tie (equipos liebert)
- Uno o varios STS (sistema de transferencia estático). Veremos inmediatamente este producto.

4.6.6 Power Tie

Este sistema transfiere ininterrumpidamente de un bus de carga crítica entre 2 sistemas de UPS's. Los sistemas son fuentes independientes, con cargas independientes, las salidas son sincronizadas y al estar con la misma frecuencia y voltaje son puestas en paralelo por medio de un interruptor el cual cierra automática o manualmente cuando el equipo lo indique. Permitiendo la transferencia de un sistema a otro, para poder apagar para realizar mantenimiento mientras la carga continúa alimentada por el otro sistema. Sin la necesidad de transferir la carga a bypass. Los módulos son llevados en línea otra vez, los buses son separados sin necesidad de transferir a bypass, cada sistema retomar su carga

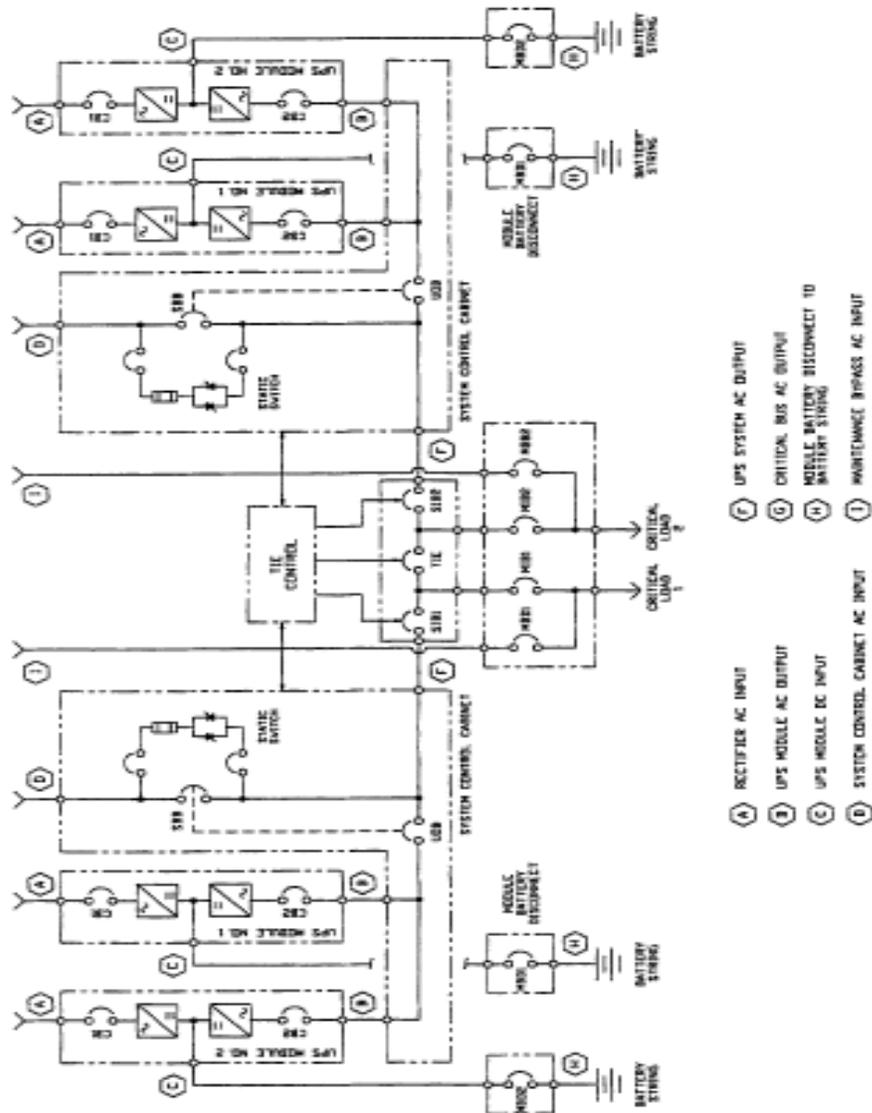


Fig. 54 Modulo de transferencia de cargas Power Tie

Habíamos mencionado unos equipos desconocidos, utilizados en el mejoramiento de la provisión de energía a cargas críticas.

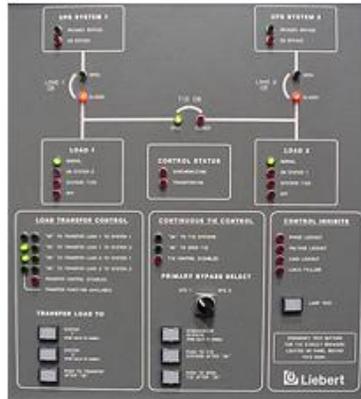


Fig. 55 Panel de control de Power tie

4.6.7 STS, Switch de transferencia estático

En funcionamiento normal, cada carga esta alimentada por cualquier sistema (se puede elegir por el mas confiable), en caso de necesidad (defecto del suministro eléctrico, mantenimiento o reparación, etc.), se realiza la inversión de la alimentación de un sistema a otro sin corte, gracias al sistema de transferencia estático.

Las cargas sensibles o criticas, sean informáticas o industriales, requieren de una alimentación sin interrupción y de una tensión eléctrica perfectamente regulada. Los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida o UPS están diseñados para efectuar esta función. Sin embargo, existen riesgos en la distribución de la alimentación aún utilizando UPS's. Estos riesgos pueden son:

- De una parte, fallas con la fuente de alimentación (el UPS misma) o en la distribución (se entiende después de la UPS, es decir aguas abajo): disparos de protecciones, errores de manipulación, cableados dañados, etc.
- Por otro lado, las fallas provocadas por las mismas cargas. Siendo común el circuito de distribución para todas las cargas, en caso de fallo de una de ellas, las demás cargas pueden sufrir malas consecuencias: perturbaciones de la tensión (transitorios), disparos de protecciones no selectivas...

A fin de evitar las repercusiones críticas de estas fallas sobre las cargas alimentadas por una UPS, la solución consiste en aportar a las cargas una doble alimentación proveniente de dos fuentes de energía distintas. Los *Switch de transferencia estático (STS)* permiten transferir automáticamente las cargas de una fuente de energía a la otra sin ninguna perturbación. La figura 47 muestra un esquema de conexión de dos cargas a través de un STS.

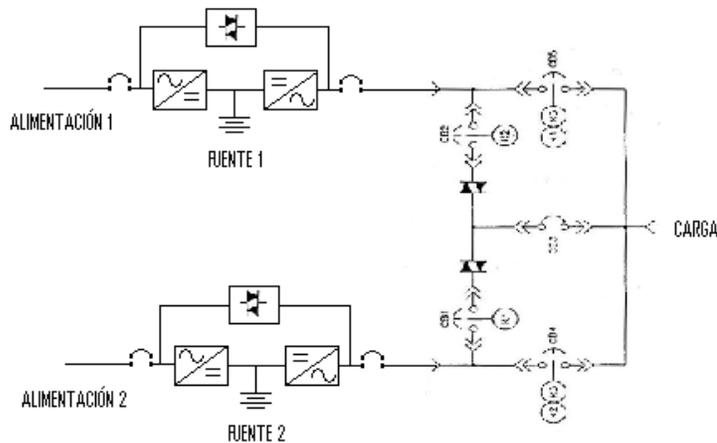


Fig. 56 Switch de transferencia estático (STS) teniendo como fuentes dos UPS'S

Funcionamiento. El principio de funcionamiento de estos STS es el siguiente:

- El usuario define la fuente prioritaria para cada STS, es decir define el orden de ingreso de las distintas fuentes de energía.
- El mismo STS monitorea la calidad de la energía que entrega a la carga que el alimenta, controlando todos los parámetros de la misma (voltaje, frecuencia, distorsión armónica, etc.), determinando a cada instante cual es la mejor, si ambas están encuadradas dentro de las tolerancias establecidas, se alimentara la carga con la jerarquía que el usuario eligió.
- Cuando se produce una falla o la fuente prioritaria no sincroniza en los parámetros establecidos, el STS transferirá la carga sobre la otra fuente, llamada fuente auxiliar.
- La transferencia solo se realiza si las fuentes están sincronizadas, es decir ambas ondas se encuentran en fase. También puede hacerle aunque no estén sincronizadas, para el caso de que una de las alimentaciones desaparezca o que no se trate de UPS.
- Con el objetivo de no perturbar la vía de alimentación que se encuentra en orden, El STS detectara si la carga que debe transferir es la que tiene el problema (corto circuito o alguna otra falla) o si el problema es de la red que alimenta dicha carga.
- El STS también permite operar desde su panel de control las transferencias entre las distintas alimentaciones, facilitando así las tareas de mantenimiento.

El esquema interno de un STS puede verse en la figura. Se puede apreciar claramente la presencia de los controles de las fuentes y de la carga. Puede verse la presencia de los tiristores bi-direccionales (Triac's) o SCR, allí se puede apreciar que la carga, esta siendo alimentada por el canal de la izquierda, mientras que el de la derecha esta bloqueado.

Detallaremos ahora algunas de las funciones:

- **Alimentar permanentemente las cargas con una tensión dentro de las tolerancias admisibles.** La tensión de cada fuente está permanentemente supervisada. La detección de una alteración de la fuente prioritaria activa una transferencia hacia la fuente de socorro sin perturbar las utilizaciones.

- **Aislar completamente cada fuente de energía. Una falla en una (interna o debida al entorno) no afecta en ningún aspecto a la otra (separadas galvánicamente).** Las dos fuentes de energía están separadas y son totalmente independientes (no pueden operar en paralelo) pudiendo estar instaladas en locales diferentes.
- **Asegurar la redundancia a partir de dos fuentes de energía sobre una instalación existente.** Los *STS's* se utilizan con las UPSs de liebert, pero también pueden ser utilizados por otros tipos de fuentes sincronizadas (UPS's de diferentes fabricantes, transformadores...).
- **Escoger una o varias cargas específicas.** dentro del esquema de distribución, no es necesario que todas las cargas estén alimentadas a través de un *STS*.
- **Permitir al usuario escoger una fuente prioritaria.** En todo momento, el usuario puede elegir la fuente configurada como prioritaria para cada *STS* y repartir las diferentes cargas entre cada una de las dos fuentes de energía.
- **Funcionar de forma independiente.** No es necesaria ninguna transferencia de información entre los *STS* y las fuentes de energía (SAI u otros).
- **Separar las cargas a fin de evitar riesgos de perturbaciones entre ellas.** En caso de alteración proveniente de una de las cargas, el *STS* correspondiente impedirá su transferencia. Las cargas alimentadas por otros equipos *STS* serán alimentadas por la otra fuente sin verse afectadas por ninguna perturbación.
- **Transferir automática o manualmente con toda seguridad y sin perturbaciones para las cargas.** Las condiciones de la transferencia están perfectamente definidas, la lógica de control del *STS* no permitirá la conmutación si éstas no se cumplen.
- **Escoger el modo de retorno a la fuente prioritaria después de una transferencia automática a la fuente de seguridad.** Una vez efectuada una transferencia a la fuente de socorro, el retorno es configurable: automático o manual.
- **Efectuar el mantenimiento de cada fuente y de su distribución sin interrupción de las cargas.** El modo manual permite transferir las cargas sobre una de las fuentes de energía, permitiendo la puesta fuera de tensión de la otra.

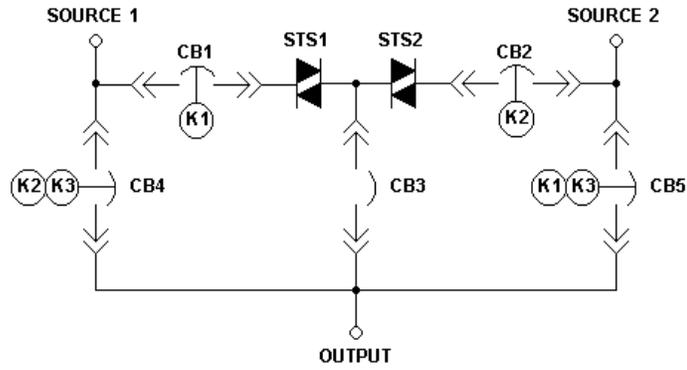


Fig. 57 muestra un esquema típico de una instalación, donde la fuente auxilia puede tratarse de UPS, de transformadores o grupos electrógenos.

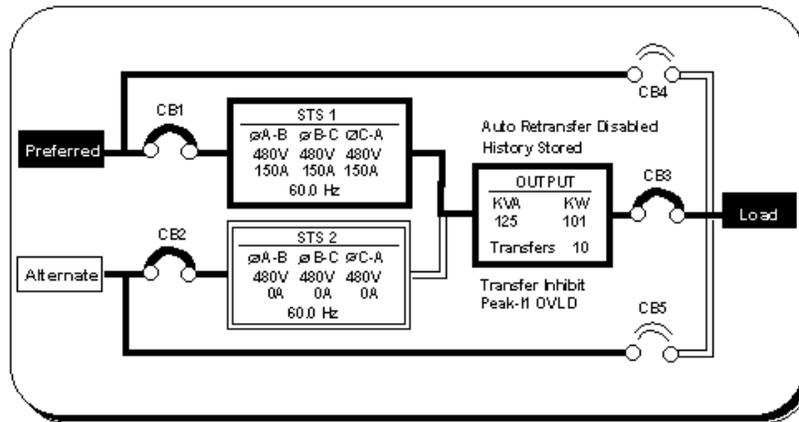


Fig. 58 muestra el panel de control de un STS, donde se aprecia claramente el Concepto de funcionamiento de estos equipos

Capítulo 5

Planta generadora de emergencia

5.1 ¿QUE ES UNA PLANTA GENERADORA DE EMERGENCIA?

Las plantas eléctricas son dispositivos que aprovechan cierto tipo de energía para producir energía eléctrica. Dicha energía puede provenir de:

Un motor de combustión interna
Los rayos luminosos del sol
Los gases que provenientes del subsuelo etc.

De acuerdo al tipo de energía que aprovechan las plantas, estas se clasifican en:

Plantas Hidroeléctricas
Plantas termoeléctricas
Plantas nucleoléctricas
Plantas mareomotrices
Plantas Geotérmicas
Plantas con motor de combustión interna

De acuerdo a nuestro objetivo, lo que nos interesa es conocer un poco mas a fondo las plantas eléctricas con motores de combustión interna.

5.2 PLANTAS CON MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Son aquellas que aprovechan la energía térmica de un combustible para producir movimiento en un motor de combustión interna y este a su vez, mueve a un generador para producir corriente alterna o corriente directa.

La función principal y primordial de un grupo electrógeno (planta eléctrica), es suministrar energía eléctrica a una carga, en la cual la interrupción por parte de la línea comercial puede ser crítica o provocar perdidas cuantiosas en una empresa por detener el proceso de producción, perdidas de información en los equipo de computo respaldados por un sistema de UPS (sistema de energía ininterrumpible) en los cuales el respaldo se limita a unos cuantos minutos o la perdida de las comunicaciones como es el caso de las estaciones retransmisoras, telefonía, etc.

5.3 CLASIFICACION DE LAS PLANTAS ELÉCTICAS.

Los grupos electrógenos con motores de combustión interna se clasifican como sigue:

a) De acuerdo al tipo de combustible:

- Con motor a gas (LP) ó natural.
 - Con motor a gasolina.
 - Con motor a diesel.
 - Sistema Bifuel (diesel/gas)
- b) De acuerdo a su instalación.
- Estacionarias.
 - Móviles.
- c) Por su operación.
- Manual.
 - Semiautomática
 - Automática (ATS)
 - Automática (sincronía/peak shaving)
- d) Por su aplicación.
- Emergencia.
 - Continua.

Los grupos electrógenos para servicio continuo, se aplican en aquellos lugares en donde no hay energía eléctrica por parte de la compañía suministradora de éste tipo, o bien en donde es indispensable una continuidad estricta, tales como: en una radio transmisora, un centro de cómputo, etc.

Los grupos electrógenos para servicio de emergencia, se utilizan en los sistemas de distribución modernos que usan frecuentemente dos o más fuentes de alimentación.

Su aplicación es por razones de seguridad y/o economía de las instalaciones en donde es esencial la continuidad del servicio eléctrico, por ejemplo:

- Instalación en hospitales, en áreas de cirugía, recuperación, terapia y cuidado intensivo, laboratorios, salas de tratamiento, etc.
- Para la operación de servicios de importancia crítica como son los elevadores públicos, bombeo de aguas residenciales, etc.
- Instalaciones de alumbrado de locales a los cuales un gran número de personas acuda a ellas como son: estadios, deportivos, aeropuertos, transporte colectivo (metro), hoteles, cines, teatros, centros comerciales, salas de espectáculos, etc.
- En instalaciones de computadoras, bancos de memoria, el equipo de procesamiento de datos, radares, etc.

5.3.1 Por su operación

a) Los grupos electrógenos manuales:

Son aquellos que requieren para su funcionamiento que se operen manualmente con un interruptor para arrancar o parar dicho grupo. Es decir que no cuenta con la unidad de transferencia de carga sino a través de un interruptor de operación manual (Switch o botón pulsador).

b) Los grupos electrógenos semiautomáticos:

Son aquellos que cuentan con un control automático, basado en un microprocesador, el cual les proporciona todas las ventajas de un grupo electrógeno automático como: Protecciones, mediciones, y operación pero que no cuenta con un sistema de transferencia.

c) Los grupos electrógenos Automáticos (ATS): Automatic Transfer Switch

Este tipo de grupos electrógenos cuenta con un control basado en un microprocesador, el cual provee al grupo electrógeno un completo grupo de funciones para:

- Operación
- Protección
- Supervisión

Contienen funciones estándar y opcionales en su mayoría programables por estar basada la operación en un microprocesador provee un alto nivel de certeza en sus funciones como: mediciones, protecciones, funciones de tiempo, y una alta eficiencia, en su sistema de transferencia.

d) Los grupos electrógenos Automáticos para Sincronía (Peak shaving):

Este tipo de grupos cuenta con un control para un grupo electrógeno automático, el cual es capaz de manejar funciones de sincronía (Abierta o cerrada) que se requieren para realizar un proceso emparellamiento de grupo y red ó grupo con grupo. Su operación es la siguiente:

Sincronía Abierta: Cuando ocurre una falla de la red normal, ocasiona dos interrupciones de energía en la carga (transferencia y retransferencia) si contamos con un sistema de sincronía abierta se elimina la interrupción de energía en el momento de la retransferencia ya que la misma se realiza en una forma controlada, sincronizando ambas fuentes y cerrando ambos interruptores simultáneamente por un tiempo predeterminado (paralelo).

Sincronía Cerrada o Peak Shaving: Actualmente, la energía eléctrica ha alcanzado niveles de precios altos. Por lo cual se tiene la alternativa de un sistema de Peak shaving con el cual se reducen sus costos por consumos de energía en horario punta, es decir, sincronizamos el grupo con la red, ya que están en paralelo tomamos la carga suave, de forma controlada kW/s. de la red dejando la misma sin carga y abriendo el interruptor de la red.

Transcurrido el tiempo programado para horario punta, se realiza el mismo procedimiento en sentido inverso, es decir, se sincroniza el grupo electrógeno con la red, y cuando se encuentran en paralelo se realiza una transferencia suave de carga del grupo electrógeno a la red, y el grupo electrógeno entra en periodo de enfriamiento.

Durante todo el proceso (Peak shaving) no hay corte de energía, lo cual evita la interrupción en su proceso.

5.4 COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA PLANTA ELECTRICA

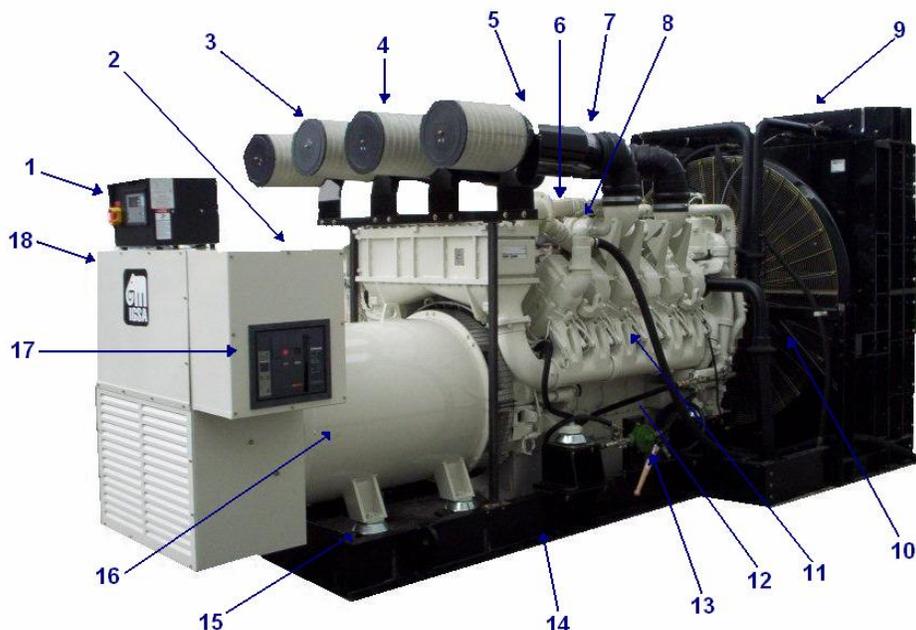


Fig. 59 Planta eléctrica de emergencia IGSA

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	Panel de control
2	Placa de datos montada en generador (situado en la parte posterior de la figura)
3	Filtros de aire
4	Soporte de baterías y baterías (situado en la parte posterior de la figura)
5	Motor/es de arranque (situado en la parte posterior de la figura)
6	Alternador (situado en la parte posterior de la figura)
7	Bomba de combustible (situada en la parte posterior de la figura)
8	Turbo
9	Radiador
10	Guarda del ventilador
11	Motor de combustión interna
12	Carter
13	Bomba para drenar el aceite del carter
14	Base estructural
15	Amortiguador
16	Generador
17	interruptor
18	Regulador de voltaje automático (situado en la parte posterior de la figura)

5.4.1 El motor de combustión interna

El motor de combustión interna diesel es aquel que aprovecha la energía térmica contenida en el combustible diesel para producir un movimiento que se aprovecha con algún fin determinado.

El principio del funcionamiento del motor de combustión interna se basa en que el aire admitido a través de las válvulas, se comprime una mezcla de aire a un valor muy elevado, en ese momento el aire alcanza una temperatura muy elevada y en un momento preciso se inyecta combustible a muy alta presión provocando la explosión, en la cual dará lugar a un movimiento a los cilindros y estos a su vez transmitirán movimiento a la flecha y por lo cual se afectara un movimiento de rotación.

El motor de combustión interna puede ser de inyección mecánica o electrónica y esta compuesto de varios sistemas que son:

- a) Sistema de combustible.
- b) Sistema de admisión de aire.
- c) Sistema de enfriamiento.
- d) Sistema de lubricación.
- e) Sistema eléctrico.
- f) Sistema de arranque.
- g) Sistema de protección.

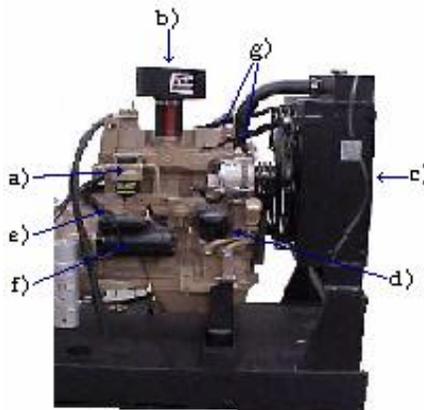


Fig. 60 Motor de combustión interna

a) Sistema de combustible

El sistema de combustible del motor diesel tiene la finalidad de suministrar una cantidad precisa de combustible en el momento exacto a una presión determinada dentro de las cámaras de combustibles del motor para producir la combustión en conjunto con el aire caliente que se encuentra en la cámara.

El tanque de combustible deberá tener libre acceso para el llenado y drene del combustible. Es imprescindible drenar el tanque de almacenamiento de combustible, ya que el agua acumulada dentro del tanque, reacciona con el combustible diesel formando ácido sulfúrico, el cual en caso que ingrese al sistema de inyección generara daños irreparable a la bomba, inyectores o al motor mismo.

b) Tanque de combustible

Mantener el tanque de combustible a su máximo nivel el mayor tiempo posible, ya que cuando se tienen espacios vacíos dentro del mismo se generan condensaciones de la humedad del aire ocasionando sedimentación de agua, pudiéndose generar con los cambios de temperatura en el tanque, depósito de ácido sulfúrico (reacción de azufre diesel y agua), pudiendo generar daños en la bomba de inyección o inyectores, por lo cual es importante el drenado del mismo.

En algunos motores, no se debe instalar el tanque de diesel a una altura mayor de un metro por encima del nivel de los inyectores, ya que esto origina una contrapresión en el retorno, provocando retroalimentación a la máquina, este fenómeno cuando se presenta, provoca que la planta pertenezca trabajando a bajas revoluciones, en ocasiones por tiempos prolongados, hasta que el combustible en la línea del retorno presurizada es consumido, en caso de que la carga se encuentre conectada a la planta, puede incurrir en daños tanto al generador, regulador de voltaje o a la carga en sí.

c) Filtro de combustible

Estos elementos tienen la finalidad de proporcionar una resistencia al paso de impurezas al sistema de inyección.

d) Bomba de inyección

La bomba de inyección es un dispositivo que está montado en el cuerpo del motor del lado derecho, viéndolo de frente, y es accionado por un acoplamiento de una toma de fuerza de la flecha principal. Su función es la de succionar el combustible y enviarlo a los inyectores para su operación.

La bomba de inyección es programada para enviar la cantidad exacta del diesel a los inyectores por medio de unos dispositivos denominados GOBERNADOR, dicho gobernador puede ser:

- gobernador Hidráulico
- gobernador Electrónico
- gobernador Mecánico



Fig. 61 Filtros de combustible

Gobernador Hidráulico

Este sistema se manipula el brazo de la de la bomba por medio de una palanca de un actuador hidráulico para esta forma dejar pasar la mayor o menor cantidad de combustible y controlar por lo tanto la velocidad.

Gobernador mecánico electrónico

Este gobernador es igual que el anterior tiene como finalidad manipular el brazo de la bomba para mantener la cantidad de combustible requerida para que el motor funcione a velocidad constante. Consta de una tarjeta electrónica de velocidad, un generador magnético el cual por lo general esta montado en la campana del motor y además de un actuador electrónico mecánico.

Gobernador mecánico

Este sistema de gobernación se encuentra internamente en la bomba de inyección y esta formada por un complejo sistema de mecanismo y contrapesos los cuales controlan las dosificaciones de combustible para que el motor trabaje a una velocidad requerida (en motores de cuatro tiempos 1800 rpm).

e) Bomba de transferencia de diesel

Este sistema tiene finalidad de bombear el combustible diesel hacia la bomba de inyección por medio de un mecanismo que es impulsado por el cigüeñal del motor al estar funcionando este, también tiene la función de poder purgar el sistema de inyección manualmente debido a una fuga o al terminarse el diesel.

f) Sistema de calentamiento y enfriamiento del motor

Pre calentadores de agua

Los motores para la planta eléctricas automáticas van equipadas con una resistencia eléctrica precalentadora de agua. Este precalentador de agua deberá estar siempre en operación para mantener caliente el agua del refrigerante y por medio de transferencia de calor transmitirlo al monoblock, camisas y demás componentes del motor, de tal manera que cuando se requiera un arranque repentino del equipo, este no tenga problemas para operar.

Al empezar a trabajar el precalentador este calentara el agua que esta en el interior, esta debido al calor disminuirá su peso específico y tendrá a subir de tal manera que empezara una circulación del agua del radiador al monoblock y mantendrá caliente el cuerpo del motor. Se recomienda que la temperatura del agua del motor en stand by sea de 65-75 grados centígrados, para asegurar un buen arranque.

El RIESGO que se corre al trabajar la planta sin precalentador es el siguiente:

El motor internamente tiene componentes que están en deslizamiento como es el caso del pistón y sus anillos con la camisa, estos al encontrarse fríos (RELATIVO), existen entre ellos un huelgo mayor al que existiría si el motor estuviera caliente, al existir esta holgura y trabaja el motor desde vacío hasta 1800 rpm (VELOCIDAD NOMINAL) se generará una fricción mayor, pues el pistón y sus anillos empezarán a “cabecear” y se rayarán, al paso del tiempo el motor tenga desgaste en estos puntos y empezará a haber fuga de compresión, manifestándose como consumo de aceite, fuga de este por el escape y finalmente pérdida de potencia lo cual se resolverá reparando completamente el motor.

Sistema de enfriamiento del motor

La función del sistema de enfriamiento es disipar al ambiente la parte de energía térmica que no se convierte en potencia, o pasarla directamente a la atmósfera por los gases del escape o por radiación de la superficie del motor. Además dependiendo del tipo de aplicación y del diseño, puede requerirse también disipar el calor rechazado de la transmisión, los múltiples de escape enfriados por agua, etc.

La energía térmica librada por la combustión del combustible en el motor diesel es distribuida aproximadamente como sigue:

30% al refrigerante

30% como salida útil

30% a los gases de escape

10% radiación de las superficies del motor

El agua es circulada por una bomba para agua de tipo centrifugado, montada en la parte delantera del motor e impulsada mediante correas (bandas) desde el cigüeñal.

El agua circula alrededor de las camisas de tipo húmedo, por toda la culata de cilindros y alrededor de los manguitos de los inyectores. Los manguitos en los cuales están montados los inyectores, son de cobre para una disipación rápida del calor.

El motor tiene uno o más termostatos dependiendo del modelo del motor. Estos dispositivos tienen la finalidad de controlar la temperatura del funcionamiento del motor, permitiendo el paso del agua a través de ello hacia el radiador. Los termostatos del motor vienen calibrados de fábrica. El agua es enfriada por el radiador y ventilador o por un cambiador de calor

g) Sistema de protección del motor

Debido a que la planta eléctrica está constituida por un generador y un motor de combustión interna, el cual tiene diferentes sistemas de lubricación de aceite, enfriamiento, inyección, etc.

Debido a que estos sistemas pueden presentar alguna falla y provocar con esto un daño de consideración al equipo y/o carga, es recomendado por una norma instalar las protecciones adecuadas que eviten que suceda esto.

Temperatura del agua

La temperatura del agua en el refrigerante de un motor de combustión interna deberá ser aproximadamente entre 80-92 grados centígrados, cuando se eleva la temperatura a un

valor superior a los 100 grados, el motor corre el riesgo de sufrir daño considerable, pues se puede amarrar.

Para evitar estos daños al motor se provee de un sensor que al detectar una sobre temperatura de agua del motor, así como la baja de presión de aceite del motor manda una señal de paro del motor.

Falla de temperatura de agua (crítica)

El control es un contacto normalmente abierto que cierra al alcanzar el agua una alta temperatura. En el momento que se alcanza un nivel peligroso de temperatura, la aguja toca el tope ajustable y cierra eléctricamente el circuito. Además, siempre existe la indicación visual de la temperatura.

La señal de temperatura se recibe a través de una extensión del detector (bulbo) que se introduce en un lugar del motor donde el agua se encuentra más caliente.

Falla de baja presión de aceite (crítica)

Las plantas eléctricas están equipadas con un control de baja presión de aceite, el cual manda el paro del motor en el momento que por alguna razón baja la presión de aceite. El valor nominal de la presión de aceite varía de acuerdo a la marca del motor así mismo de las condiciones de temperatura ambiente en las cuales el equipo opera y de la marca y calidad de tipo de aceite que se emplee, normalmente cuando un equipo se arranca el frío y debido a la alta densidad que presenta el aceite en esta condición, la presión podrá presentar un valor elevado que irá disminuyendo conforme a la temperatura del motor se incrementa hasta la temperatura nominal de operación, este valor no deberá ser menor a 18 ib/pulg².

5.4.2 Sistema eléctrico del motor de combustión interna

En esta sección se hablará en los componentes eléctricos del motor. Estos componentes son:

Sistema de arranque (motor de arranque)

Sistema de carga (alternador, baterías, regulador de voltaje)

Válvula solenoide de combustible.

Este sistema eléctrico se interconecta con el control de la planta eléctrica mandando y recibiendo señales eléctricas a través de tabillas de terminales.

a) Sistema de arranque del motor

Los medios puestos a nuestra disposición para arrancar un motor son: la marcha, el crank. De estos medios, el más común es motor de arranque o marcha, que es motor eléctrico de corriente continua que se alimenta con 6, 12, 24 volts.

El tamaño de este motor es reducido, gira hasta 1800 rpm máximo y es capaz de vencer el estado de reposo del motor de combustión para que este empiece a girar y posteriormente continúa girando por el sistema de ignición y el de aire combustible.

El motor de arranque necesita:

Que la velocidad del motor de combustión alcance una velocidad entre 100 y 150 rpm Vencer la compresión en los cilindros, la resistencia debida a la fricción y la inercia de los órganos metálicos del motor.

La velocidad del motor de arranque es de 1200 a 1800 rpm.

Para el caso de plantas eléctricas de emergencia gira a 1800 rpm. Al ser la relación de 12:1 el engrane llega a la velocidad de 48,000 a 60,000 rpm. Para el caso de plantas eléctricas de emergencia, 21,600 rpm a esta velocidad se provocaría: calentamiento en las chumaceras del motor de arranque y destrucción de los órganos internos.

Cuando el motor de combustión interna gire por si mismo. El engrane retrocede al desenergizar el motor. Esto se hace por medio de un dispositivo llamado solenoide de arranque. Este puede ser colocado en un lugar apartado del motor de arranque. Esta formado por una bobina que se conecta a la batería. De igual forma que en el caso anterior, la bobina se conecta al positivo por medio de un interruptor. Al accionarlo, la bobina se energiza y atrae un contacto móvil que se contacta a uno fijo a través de esto, se energiza el motor de arranque.

La marcha se desacopla al desenergizar el motor cuando se deja de pasar corriente al solenoide y se abre el contacto.

Existe otro método para desacoplar el engrane del motor de arranque de la cremallera. Este método consiste en un mecanismo accionado por la bobina eléctrica.

Solenoide auxiliar (bobina eléctrica)

El paso de corriente continua en la bobina produce una imantación que atrae el núcleo. En esta forma el motor de arranque queda en posibilidad de hacer girar el motor de combustión interna. Para que se energice la bobina y atraiga el núcleo se requiere un interruptor. Este interruptor puede ser parte de un relevador (caso de plantas), o un interruptor de llave (caso de un automóvil) o un interruptor de palanca o botón de resorte. Estos interruptores solo se conectan unos cuantos segundos, ya que si el engrane de la marcha es arrastrado por el volante, la marcha se destruiría.

La corriente es suministrada por la batería y para energizar el motor se utiliza el solenoide de arranque.

El sistema consiste de un solenoide (el mismo que acciona la palanca de acoplamiento) conectado a la batería por medio de un interruptor (circuito de control) y de un contacto que permite que se energice el motor de arranque (circuito de fuerza). Cabe hacer la aclaración de que solamente pasa el positivo de la batería, ya que el motor de arranque esta aterrizado a la estructura metálica del motor y el negativo de la batería también. Al cerrar el interruptor en serie con el solenoide, este atrae a la palanca de acoplamiento y al mismo tiempo el contacto se cierra para hacer pasar la corriente al motor.

El sistema completo utiliza un solenoide auxiliar de arranque que sirve para compensar caídas de tensión cuando el tablero de control (desde donde se manda la señal de arranque) se encuentra colocado en un lugar lejano.

b) Sistema eléctrico de carga del motor

Desde el momento en que se acciona el interruptor para arrancar un motor de combustión interna, hay necesidad de una fuente de energía eléctrica para alimentar a

varios circuitos. Por ejemplo, el mismo sistema eléctrico de arranque que consume cantidades muy grandes de energía, válvulas solenoides para motores diesel. Para el caso de una planta eléctrica de emergencia, la fuente de energía debe alimentar también una serie de relevadores magnéticos y térmicos que sirven para controlar el arranque, paro y protecciones.

Como se podrá imaginar, el consumo de energía eléctrica es demasiado grande; basta decir que el motor de arranque consume corrientes en el orden de cientos de amperes momentáneamente (dependiendo del motor de combustión interna de que se trate), y si a esto sumamos el consumo de corriente de que se tiene permanentemente por mantener energizado relevadores, bobina, etc.; tendremos la necesidad de contar con una fuente de energía. Por lo tanto, es requisito que el acumulador se carga por medio de otra fuente, esta es de un alternador y el cargador de baterías.

Estos cuatro componentes: acumulador, regulador de voltaje, alternador y cargador de baterías forman el sistema eléctrico de carga.

c) Acumulador

El acumulador es una fuente de energía eléctrica de corriente directa (Vcd). Es fabricado en varios voltajes. Los más comunes son de 6 y 12 Volt. Los fabricantes de acumuladores los suministran en diferentes capacidades, las cuales determinan su tamaño, por ej. 45, 60, 70, 100, 130 amperes-horas, etc.

El acumulador es un conjunto de placas de componentes de plomo, sumergida en una solución llamada electrolito, formada por ácido sulfúrico y agua.

En la realidad, en cuanto a números de placas, hay una placa más de las negativas que las positivas. Esto es con el fin de aprovechar al máximo toda la superficie de las placas positivas, es decir, todas las placas positivas están entre placas negativas.

Un grupo de placas positivas y negativas forman una celda. Los acumuladores de 12 volt tienen 6 celdas. Todo el conjunto de celdas se conecta entre sí. Entre cada placa se coloca un separador de material aislante y anticorrosivo para evitar que las placas lleguen a pegarse entre sí y producir corto circuito. Los separadores están perforados para permitir el paso de electrolito y así todas las placas se encuentren bañadas de él.

El electrolito es una solución que contiene 66 partes de agua por 34 partes de ácido sulfúrico. Esto es así para que el agua pueda ser buen conductor de la electricidad.

Las placas que se introducen en el electrolito deben de ser de material buen conductor de la electricidad, y además, anticorrosivo, ya que el electrolito corroe. El material con que se construyen las placas es plomo con algunos agregados.

La placa positiva es de peróxido de plomo y presenta un color rojizo. La placa negativa es de plomo esponjoso y presenta un color gris.

A pesar de que el acumulador se encuentra totalmente cerrado, cada depósito de celda cuenta con un orificio que se comunica al exterior. Este orificio tiene por objeto ser medio de llenado. Asimismo, el orificio es cerrado por medio de un tapón con respiradero para desalojar gases que se producen dentro del acumulador.

d) El alternador

El dispositivo que se encarga cargar el acumulador, que es un dispositivo electromagnético-mecánico.

El alternador esta montado en el cuerpo del mismo motor de combustión interna y es accionado por una polea del eje principal (cigüeñal). Tiene como finalidad suministrar corriente continua al acumulador a su mismo voltaje.

En su interior se compone de un rotor formado por dos piezas polares. Están montados sobre un eje (flecha principal) y sus dos terminales van soldadas a unos anillos rozantes de cobre que van sólidamente unidos a la flecha. El rotor es el campo inductor y se alimenta de corriente continua del acumulador.

Otra parte interna es el estator, que es un grupo de bobinas montadas sobre un núcleo de hierro laminado.

El embobinado es trifásico. El estator es un lugar donde se produce corriente que alimentará al acumulador posteriormente. Como en el estator se produce corriente alterna, es necesario rectificarla para obtener corriente continua.

En el exterior, el alternador se forma de dos tapas. La tapa delantera sirve de coraza al cuerpo interior, de apoyo a la flecha, y además por uno de sus extremos se acopla la polea y un ventilador. La tapa trasera, aparte de servir de punto de apoyo para que gire la flecha y como coraza para el interior del alternador, tiene acoplado un puente rectificador trifásico de onda completa, un capacitor, un posta escobillas y las terminales de alimentación y salida del alternador.

e) Regulador de voltaje del alternador

El regulador de voltaje es un dispositivo electromagnético o electrónico que nos sirve para mantener el voltaje de salida del alternador dentro de ciertos límites, ya que si no se hace de esta forma, el voltaje podría elevarse de tal modo que la alimentación al acumulador podría ser muy alta y provocar poco a poco daños al acumulador.

La razón de que el voltaje varíe, se debe a que si existen variaciones de velocidad, también habrá variaciones de voltaje.

5.4.3 Generador síncrono

El generador síncrono de corriente alterna esta compuesto de:

- a) Inductor principal.
- b) Inducido principal.
- c) Inductor de la excitatriz.
- d) Inducido de la excitatriz.
- e) Puente rectificador trifásico rotativo.
- f) Regulador de voltaje estático.
- g) Caja de conexiones.

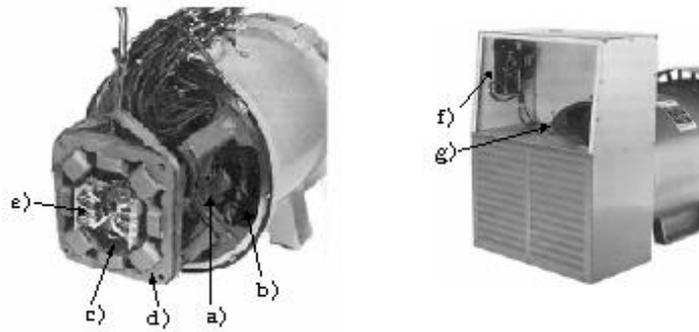


Fig. 62 Generador síncrono

Principio de operación del generador síncrono

Al empezar a moverse el rotor principal (que tiene un magnetismo remanente) inducirá un pequeño voltaje en el estator principal, este voltaje se enviará al regulador de voltaje y enviará una señal a la excitatriz.

El estator excitador generará un campo magnético, dicho campo magnético será cortado por el devanado del rotor excitado, el cual a su vez generará un voltaje, dicha señal se rectificará y será enviada al rotor principal. Al incrementarse el voltaje en el rotor, aumentará el voltaje del estator. Este ciclo se repite hasta que se alcance el valor ajustado previamente en el regulador de voltaje.

Al tratar de bajar el voltaje por incremento de carga el regulador de voltaje incrementará la señal, a la excitatriz para mantener el voltaje constante a la salida que alimentara la carga.

Inversamente si trata de aumentarse el voltaje generado, la señal que va a la excitatriz disminuye, para mantenerse constante el voltaje generado.



Fig. 63 Generador síncrono Ottomotores

Regulador de voltaje

En la parte de control que es el regulador electrónico de voltaje automático de estado sólido se puede decir que esta el cerebro del generador de CA.

El regulador de voltaje es la unidad de control encargada de proporcionar la corriente necesaria al estator excitador, se alimenta del voltaje generado por el estator principal.

El regulador de voltaje compara continuamente el voltaje de salida del generador síncrono con un voltaje de referencia. La diferencia de dos voltajes constituye una señal de error que indica un voltaje de salida superior o inferior al punto de ajustes del generador. Esta señal de error se amplifica y se usa para controlar la salida de corriente continua del regulador de voltaje, que se aplica a las bobinas del campo de excitatriz.

Y en base a los ajustes mantiene el voltaje generador en un valor constante.

5.4.4 Sistema de transferencia.

La unidad de transferencia puede ser cualquiera de las que se mencionan, según la capacidad del genset:

- a) Contactores electromagnéticos ó.
- b) Interruptores termo magnéticos ó.
- c) Interruptores electromagnéticos.



Fig. 62 Los tableros de transferencia pueden variar según la capacidad

a) Circuito de control de transferencia

El circuito de control de transferencia está provisto por el Control del grupo electrógeno el cual por lo general se encuentra montado en el gabinete donde se encuentra la transferencia y es el que se encarga de realizar las siguientes funciones:

- Censar el voltaje de la red de normal a través del Sensor de voltaje, el cual puede detectar las siguientes fallas de la red, dando la señal de arranque al grupo electrógeno:
 - Alto voltaje
 - Bajo voltaje
 - Inversión de fase
 - Ausencia de voltaje en alguna o todas las fases

En el caso de los grupos electrógenos automáticos incluyendo (Sincronía) el control tiene integrado un circuito de control de transferencia control Por medio de programación se implementan las funciones de transferencia (tiempos, configuración de operación) y ajustes como sean necesarios para cada caso, en particular. El circuito consta de:

- a) Sensor de voltaje trifásico del lado normal, y monofásico del lado de emergencia.
- b) Ajuste para el tiempo de:

- Transferencia.
 - Retransferencia.
 - Enfriamiento de máquina.
 - En caso de ser sincronía (tiempo de sincronía y configuración de operación.)
- c) Relevadores auxiliares.
- d) Relevadores de sobrecarga.
- e) Tres modos de operación (manual, fuera del sistema y automático).

b) Sistema de transferencia automática.

El sistema de transferencia automática se usa en los grupos electrógenos automáticos IGSA, ya que estas deben:

- Arrancar el grupo electrógeno cuando falle la energía de suministro normal.
- Alimentar la carga.
- Salir del sistema (grupo electrógeno) cuando la energía normal se restablece.
- Parar el grupo electrógeno.
- Todo en forma automática.

Este sistema se usa en aquellos lugares en que la falla de energía eléctrica puede causar graves trastornos, pérdidas económicas considerables ó pérdidas de vidas.

Se componen de dos partes:

- a) El interruptor de transferencia.
- b) El circuito de control de transferencia.

c) Interruptor de transferencia

Consiste en un gabinete, donde se encuentran alojados los interruptores que se encargan de realizar la transferencia. (Cambio de Posición de los interruptores ON/OFF), estos operan eléctrica o mecánicamente, además de ser capaz de manejar toda la energía del generador; incluyendo la de la línea, que puede interrumpir la corriente que pasa en forma continua, así como los picos que sucedan sin dañarse.

Algunos interruptores de transferencia, van equipados con protección térmica y magnética la cual dependiendo del modelo de interruptor puede ser o no ajustable.

Para proteger al generador así como a las líneas y carga en caso de algún corto circuito o una sobrecarga constante.

5.4.5 Introducción a los controles.

a) Sistema de control de maquinas manuales (sistema básico)

El control en una maquina manual es 100% análogo, el cual cuenta con:

1. Medidor de Amperes (conmutado por selector)
2. Selector para la medición de amperes por fase
3. llave
4. Medidor de presión de aceite
5. Medidor de temperatura de refrigerante
6. Medidor de amperes de batería
7. Medido de combustible

- 8. Horometro
- 9. Selector para la medición de voltaje por fase
- 10. Fusibles
- 11. Medidor de voltaje (conmutado o selector).
- 12. Medidor de frecuencia.

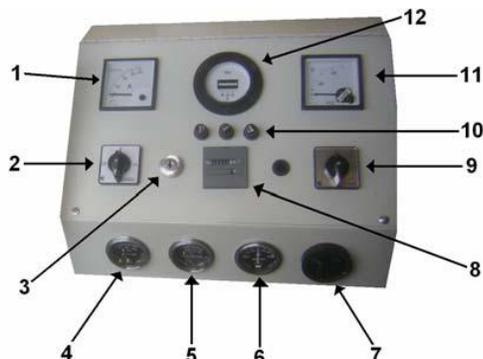


Fig. 63 Sistema de control para las maquinas manuales

b) Control GENCON II

GENCON II es una plataforma computarizada que combina mediciones eléctricas RMS (root mean square) correctas y reales con funciones de control y vigilancia.

La presente versión de software controla el arranque automático de grupos de emergencia en el momento de fallar la red, pone varios grupos en paralelo con la red o entre ellos, puede "exportar" potencia activa y reactiva a la red de forma continua o breve y también regula la marcha en paralelo entre grupos sin presencia de red.

GENCON II, basado en software "Stand by Versión 1.6e" fue diseñado para la marcha en paralelo de uno o varios Grupos Electrógénos con la red o entre ellos y puede sustituir la red durante horas de tarifa alta con previa y posterior sincronización, para evitar cualquier interrupción de servicio en los consumidores, aparte de su aplicación normal de emergencia. También controla la marcha en paralelo de varios grupos sin presencia de red. Incorpora la posibilidad de trabajar con generadores asíncronos que importan su potencia reactiva necesaria de la red.

El **PWM** controla el nivel de tensión del generador para la sincronización con barra/red.



Fig. 64 Sistema de control GENCON I

5.4.6 Sincronía

Una característica importante de los controles es la facilidad de sincronización y reparto de carga automática como funciones estándar adicionales a las funciones de control y protección de la planta y transferencia, para aplicaciones en proyectos especiales en donde se requiere sincronizar dos o más equipos de la misma o de diferente capacidad a un "bus" de emergencia, sin la necesidad de emplear módulos adicionales de sincronización, ya que cuenta con las funciones propias de protección requeridas por los equipos de sincronía como son:

- Protección de potencia inversa
 - Protección de falla a tierra
 - Falla de sincronización
 - Control del gobernador de velocidad del motor diesel.
 - Control del regulador de voltaje del generador
 - Función de sincronización automática
 - Sincronoscopio integrado
 - Reparto de carga automática en relación a la capacidad de los equipos.
 - Función programable de arranque y paro de plantas en función de la demanda de la carga
- Obteniendo un sistema sencillo en operación, confiable y seguro en protección y mantenimiento.

a. Sistema básico

Con esta configuración, en caso de falla de la red normal, las 2 o más plantas que forman el sistema de emergencia, arrancan y se sincronizan automáticamente a un bus de emergencia y después se efectúa la transferencia en forma normal (transición abierta) Durante la operación de los equipos, la carga se reparte automáticamente en forma proporcional, dependiendo de la capacidad de los mismos y se controla el arranque y paro de equipos en función de la demanda de la carga. Una vez que regresa la red normal, se efectúa la retransferencia de la carga, quedando los equipos en operación en vacío para enfriamiento, transcurrido el periodo de enfriamiento, los equipos se paran esperando una nueva señal de arranque. Para proyectos más sofisticados, se puede emplear un sincronizador adicional en conjunto con un PLC y controlar la transferencia de la carga en transición cerrada.

b. Sistema de sincronía con red

Una planta de emergencia estándar que se desee trabajar para aplicaciones de cogeneración, operación en horas pico (con alto costo de las tarifas eléctricas), reducción de la demanda máxima, exportar energía a la red normal o simplemente para eliminar los transitorios que se generan en el momento de la retransferencia, se requiere sincronizar el equipo con la red normal, estableciendo la potencia a suministrar por la planta a la carga en forma constante.

Conclusiones

El servicio de energía eléctrica es uno de los principales servicios de la sociedad moderna para el soporte de la vida cotidiana. Los consumidores de la electricidad poco a poco han tomado conciencia de la necesidad de contar con un servicio de alto nivel en términos de calidad de tensión proporcionada por las compañías suministradoras, conocida como calidad de la energía (PQ).

La calidad del servicio de suministro de energía eléctrica soporta y apuntala la vitalidad comercial, industrial y social de los países, actualmente en México solo se cuenta con recomendaciones para algunos factores de calidad de la energía, sin embargo, opiniones de expertos de las compañías suministradoras indican que es indispensable disponer de regulaciones en materia de calidad de la energía tal como lo es en cuestión de:

- Corrientes armónicas
- Fluctuaciones de tensión
- Etc.

Dichas perturbaciones no solo afectan el funcionamiento de los equipos que se conectan a la red de suministro, además el tiempo de vida de los elementos que las componen como:

- Transformadores
- Conductores
- Banco de capacitores de corrección de FP
- Etc.

Las perturbaciones incrementan la ocurrencia de los cortes de energía y variaciones de tensión.

La calidad de energía eléctrica depende al menos de una docena de características clave de las fuentes de electricidad, incluyendo la frecuencia, tensión y las variaciones de tensión, pero las características más críticas son el contenido de armónicas y transitorios por sobre tensión. La principal causa en el incremento de equipos electrónicos o cargas no lineales conectadas a la red.

La presencia de armónicos que distorsionan la energía eléctrica de los sistemas de distribución pública tiene como consecuencia el incremento de los costos del sistema.

- Costos de medición y mitigación de armónicas
- Incremento en las pérdidas en los conductores, transformadores, motores, etc.
- En el esfuerzo de ingeniería para diagnosticar el problema
- Deterioro acelerado del equipo debido al calentamiento y costos causados
- Equipos costosos y grandes que soporten las armónicas

La importancia de entender y tomar en cuenta los disturbios eléctricos nos permiten contrarrestarlos o reducir al mínimo, ya que la energía eléctrica es fundamental en un sistema considerado como crítico, ya que la pérdida de información para las empresas se reflejan en cantidades millonarias.

El tema de tierras físicas es sumamente importante en la calidad como en la continuidad de la energía, correcta aplicación de sistema de tierras puede ahorrarnos muchos problemas que se reflejan en la carga principal de nuestro sistema de comunicaciones, o en nuestra carga crítica, el no entender los conceptos, se refleja en una mala aplicación.

Es muy común que tenemos un nodo de tierra física, y si tenemos más de un UPS, los conectemos todos en el mismo nodo, así como la carga, sin tomar en cuenta el calibre del conductor a tierra, formando diferentes anillos en el cual la corriente fluirá en el conductor

que tenga menor resistencia, y no necesariamente a tierra, esa corriente que fluye nos causa problemas principalmente en las fuentes de alimentación de cada equipo, originando una serie de problemas tanto en comunicaciones como en los sistemas de medición, en los equipos UPS´s originan alarmas que no son reales, por tal motivo en el anexo se muestra diferentes sistemas, formados principalmente con UPS´S con alimentaciones distintas indicando la manera correcta que van conectados tanto el neutro como la tierra física.

En la actualidad existen una gran variedad de equipos que son utilizados para tener una energía de calidad, esta tecnología tiene la finalidad de reducir armónicos y transitorios.

Para la reducción de los disturbios eléctricos se deben de considerar la corriente de carga y la corriente de armónicos para dimensionar los conductores del neutro, interruptores transformadores, utilizados en la instalación. Así como equipos de respaldo (plantas de emergencia y UPS´S). Ya que uno de los problemas más comunes, es cuando ya se encuentra en operación la carga, y las medidas que se deben de tomar son correctivas, las cuales suelen ser un gasto adicional del que se tenía contemplado.

Los transitorios en la mayoría de los casos son producidos por los equipos con los que se cuentan, estos son minimizados con la implementación de supresores de transitorios (TVSS), este tipo de protecciones utiliza diferentes tipos de tecnología ya mencionada.

Para la continuidad de la energía es necesario la implementación de equipos de respaldo como son: Plantas de emergencia y UPS´S, que tienen la finalidad de mantener sin interrupciones la carga considerada como crítica.

Al tener una falla en el suministro de energía, y el contar con equipos de respaldo como planta de emergencia y UPS, resguardamos la carga crítica, obtendremos dos cortes de energía, uno cuando falla la alimentación principal, la planta de emergencia censa la ausencia de voltaje arrancando, empieza a generar energía necesaria para nuestra carga, haciendo un transferencia hacia el generador, el otro corte se presenta cuando al regresar la energía de la compañía suministradora la planta de emergencia detecta la presencia de energía retransfiriendo la carga a la acometida principal. En estos cortes de energía el equipo UPS mantienen la energía necesaria para alimentar a la carga crítica, tomando la corriente necesaria de un banco de baterías.

Debido a la importancia de los sitios los usuarios prefieren respaldar su carga con configuraciones especiales en plantas de emergencia y UPS, estas pueden ser equipos en paralelo, en cascada secuencial.

Al implementar la sincronía Cerrada o Peak Shaving: Actualmente, la energía eléctrica ha alcanzado niveles de precios altos. Por lo cual se tiene la alternativa de un sistema de Peak shaving con el cual se reducen sus costos por consumos de energía en horario punta, es decir, sincronizamos el grupo con la red, ya que están en paralelo tomamos la carga suave, de forma controlada kW/s. de la red dejando la misma sin carga y abriendo el interruptor de la red.

Transcurrido el tiempo programado para horario punta, se realiza el mismo procedimiento en sentido inverso, es decir, se sincroniza el grupo electrógeno con la red, y cuando se encuentran en paralelo se realiza una transferencia suave de carga del grupo electrógeno a la red, y el grupo electrógeno entra en periodo de enfriamiento.

La redundancia total en un sistema de UPS´S consiste en dos sistemas independientes de equipos, cada sistema puede tener uno ó más UPS con su gabinete de control, se puede transferir la carga de un sistema a otro por medio de un sincronizador el cual pone en fase la salida de los dos sistemas al estar lista la sincronía transfiere la carga de un sistema a otro, esto se hace con la finalidad de mantenimiento o bypass.

Se puede implementar un switch de transferencia estático (STS), la salida de los dos sistemas esta en sincronía permanentemente con el fin de que si falla una fuente transfiera la carga al otro sistema evitando perdidas de la carga critica.

La implementación de acondicionadores de línea en la actualidad es preferida por muchos usuarios, ya que en dicho equipo tenemos supresores de transitorios, trasformadores de aislamiento, filtros de armónicos y centros de distribución de cargas, todo en un mismo equipo.

Este trabajo tiene la finalidad de orientar a las personas que son afectadas directamente por problemas de calidad de energía, la necesidad de mantener energizada la carga critica en todos los campo: hospitales, data center, la industria en general.

Anexo 1

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones

Guía Rápida para el Diagnóstico de las Instalaciones

En la Tabla siguiente se resumen las diferentes categorías de problemas, sus causas probables y los equipos de Acondicionamiento de Línea que habitualmente se emplean para solucionarlos.

Tipo de perturbación	Forma de ponerla en evidencia	Causas típicas	Soluciones típicas
Transitorios de Impulso	Magnitud pico, Tiempo de elevación y Duración.	Iluminación, Descargas electrostáticas, Conmutación de cargas	Supresores de picos, Filtros, Transformadores de Aislamiento.
Transitorios Oscilatorios	Forma de onda, Magnitud pico, Componentes de Frecuencia	Conmutación de líneas, Conmutación de capacitores, Cargas conmutadas	Supresores de Picos, Filtros, Transformadores de aislamiento.
Picos de tensión (sags) y Valles de tensión (swells)	Valor RMS vs. tiempo, Magnitud, duración	Fallas de sistemas remotos	Transformadores Ferroresonantes, UPS's, generadores de respaldo
Interrupciones	Duración	Sistemas de protección (interruptores, fusibles), Mantenimiento	Tecnologías de almacenamiento de energía, UPS's, generadores de respaldo
Baja Tensiones y Sobre Tensiones	Valor RMS vs. tiempo, Estadísticas	Arranque de motores, variaciones de cargas	Reguladores de Tensión, Transformadores Ferroresonantes
Distorsiones Armónicas	Espectro Armónico, Distorsión Armónica total, Estadísticas	Cargas no lineales, Sistemas resonantes	Filtros (activos y pasivos), Transformadores Ferroresonantes
Flicker de tensión	Variaciones de magnitud, frecuencia de ocurrencia, Modulación de frecuencia	Cargas intermitentes, arranques de motores, hornos de arco	Sistemas estáticos de variación

Anexo 1

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones

Guía Rápida de los Principales Dispositivos

En el cuadro siguiente se resume la performance de los principales dispositivos de acondicionamiento de líneas:

Dispositivo	Descripción general	Principales funciones
Transformadores de Aislamiento	Transformador con bobinados físicamente diferentes para el primario y el secundario. Habitualmente tiene blindaje electrostático para reducir ruidos.	Magnitud pico, Tiempo de elevación y Duración.
Filtros de Ruidos	Series de inductores con Capacitores en paralelo.	Reducción de ruidos eléctricos.
Filtros de Armónicas	Series de inductores con trampas de Armónicas para prevenir la realimentación de Armónicas a la línea.	Reducción de la entrada de corrientes Armónicas de cargas no lineales que puedan causar calentamiento de los Conductores, transformadores, motores, etc.
Supresores de Transitorios	Existen diferentes tipos, como ser los de descarga, de enclavamiento de tensiones, de atenuación y los híbridos.	Eliminación o atenuación de picos.
Reguladores de Tensión	Utilizan una variedad de técnicas como transformadores y reactores de regulación.	Provee tensión de salida Relativamente constante para un rango de tensión de entrada.
Acondicionadores de Línea	Transformadores blindados ferresonantes, incluyen supresores de transitorios y filtros.	Provee de regulación de tensión y reducción de ruido.

Sintetizadores Magnéticos	Trifásico, basado en dispositivos ferroresonantes que generan una tensión de salida de múltiples transformadores saturados para corrección de forma de onda.	Regulación de tensión, supresión de ruidos y picos de tensión o distorsiones de tensión.
Motor Generador	Suelen estar compuestos de dos dispositivos separados, un motor y un alternador (generador), interconectados por algún Dispositivo mecánico.	Regulación de tensión, eliminación de ruidos o picos y corrección de la forma de onda en distorsiones de tensión.
Fuentes de Energía Ininterrumpibles (UPS)	Las tecnologías mas comunes incluyen un rectificador / inversor. Una batería suministra potencia al inversor durante la pérdida de Energía en la entrada.	Mantener el suministro de tensión regulada, forma de onda y protección contra picos y ruidos, durante el tiempo que dure la falla.

Anexo 2

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones

NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, aplicadas en el capítulo 2 tierras físicas

210-8. Protección de las personas mediante interruptores de circuito por falla a tierra

NOTA: Véase en 215-9 la protección mediante interruptores con protección de falla a tierra en los circuitos alimentadores.

a) Unidades de vivienda. Todos los receptáculos en instalaciones monofásicas de 120 V o 127 V de 15 A y 20 A, instalados en los lugares que se especifican a continuación, deben ofrecer protección a las personas mediante interruptor de circuito por falla a tierra:

1) Los de los cuartos de baño.

2) Los de las cocheras y partes de las construcciones sin terminar situadas a nivel del piso, que se utilicen como zonas de almacén o de trabajo.

Excepción 1: Los receptáculos que no sean fácilmente accesibles.

Excepción 2: Un receptáculo sencillo o doble para dos aparatos electrodomésticos, situado dentro de un espacio especial para cada aparato electrodoméstico que en uso normal no se desplace fácilmente de un lugar a otro y que vaya conectado con un cordón con clavija, según 400-7(a)(6), (7) u (8).

Se considera que los receptáculos instalados bajo las excepciones de 210-8(a)(2), no cumplen los requisitos indicados en 210-52(d).

3) En exteriores.

Excepción: Está permitido instalar receptáculos que no sean fácilmente accesibles y estén alimentados desde un circuito derivado especial para equipos de deshielo o fusión de nieve, según establece el Artículo 426, sin protección para las personas mediante interruptor con protección de circuitos por falla a tierra.

4) Las galerías donde sólo se puede circular a gatas, cuando estén al nivel del piso o inferiores.

5) Sótanos sin acabados. Para los fines de esta Sección, se definen los sótanos sin acabado como las partes o zonas del sótano que no estén pensadas como habitaciones, limitadas a zonas de almacén, de trabajo o similar.

Excepción 1: Los receptáculos que no estén fácilmente accesibles.

Excepción 2: Un receptáculo sencillo o doble para dos aparatos electrodomésticos, situado dentro de un espacio especial para cada aparato electrodoméstico, que en uso normal no se desplace fácilmente de un lugar a otro y que vaya conectado con un cordón con clavija, según se indica en 400-7(a)(6), 400-7(a)(7) o 400-7(a)(8). Se considera que los receptáculos instalados bajo las excepciones de 210-8(a)(5), no cumplen los requisitos indicados en 210-52(d).

6) Cocinas. Cuando los receptáculos estén instalados en la superficie del mueble de cocina.

7) Fregaderos. Cuando los receptáculos estén instalados para servir aparatos eléctricos situados en las barras y situados a menos de 1,8 m del borde exterior del fregadero o superficie metálica que esté en contacto con el mismo.

8) Construcciones flotantes. Ver definición en 553-2.

b) Edificios que no sean viviendas. Todos los receptáculos en instalaciones monofásicas de 120 V o 127 V y de 15 A y 20 A, instalados en los lugares que se especifican a continuación, deben proteger a las personas mediante interruptor con protección de falla a tierra:

1) Cuartos de baño.

2) Azoteas.

3) Cocinas

4) En exteriores con acceso al público

5) En exteriores, cuando se instalen de acuerdo a 210-63.

215-9. Protección de las personas mediante interruptores de circuito por falla a tierra. Se permite que los alimentadores que proporcionen energía a circuitos derivados de 15 A y 20 A para receptáculos estén protegidos por un interruptor de circuito por falla a tierra, en vez de lo establecido para tales interruptores en 210-8 y en el Artículo 305.

NOTA: Para protección contra riesgos de incendio de origen eléctrico, los alimentadores que proporcionan corriente eléctrica a circuitos derivados de 15 A y 20 A pueden protegerse por dispositivos de corriente residual, esto complementa la protección establecida en 210-8 y en el Artículo 305.

250-23. Puesta a tierra de sistemas de corriente alterna alimentados desde una acometida

a) Conexiones de puesta a tierra del sistema. Un sistema de alambrado de los usuarios que se alimenta por medio de un sistema de acometida de corriente alterna puesto a tierra debe tener en cada acometida un conductor de electrodo de puesta a tierra el cual debe estar conectado al(los) electrodo(s) de puesta a tierra que cumpla(n) con lo establecido en la Parte H del Artículo 250. El conductor de electrodo de puesta a tierra debe estar conectado al conductor puesto a tierra de la acometida en cualquier punto accesible del lado de la carga de la acometida aérea o subterránea hasta, e incluyendo, la terminal o barra a la que esté conectado el conductor puesto a tierra de la acometida en el medio de desconexión de la acometida. Cuando el transformador de alimentación de la acometida esté situado fuera del edificio, se debe hacer como mínimo otra conexión de puesta a tierra desde el conductor puesto a tierra de la acometida hasta el electrodo de puesta a tierra, ya sea en el transformador o en cualquier otro punto fuera del edificio. No se debe hacer ninguna conexión de puesta a tierra a ningún conductor puesto a tierra de circuitos en el lado de la carga del medio de desconexión de la acometida.

NOTA: Véase 230-21.

Excepción 1: Un conductor para electrodo de puesta a tierra se debe conectar al conductor puesto a tierra de un sistema derivado separadamente según, lo establecido en 250-26(b).

Excepción 2: Se debe hacer una conexión a un conductor de puesta a tierra en cada edificio independiente cuando lo requiera la Sección 250-24.

Excepción 3: En las estufas, estufas montadas en barras, hornos montados en la pared, secadoras de ropa y equipo de medición, según lo permite 250-61.

Excepción 4: En las acometidas con doble conexión a la red (doble terminación) en un envolvente común o agrupadas en envoltentes distintos con una conexión al secundario, se permite una sola conexión al electrodo de puesta a tierra del punto de conexión de los conductores puestos a tierra de cada fuente de alimentación.

Excepción 5: Cuando el puente de unión principal descrito en 250-53(b) y 250-79 sea un cable o una barra instalado (a) desde la barra o conexión del neutro a la barra terminal de puesta a tierra del equipo de la acometida, se permite que el conductor del electrodo de puesta a tierra se conecte a la barra terminal de puesta a tierra del equipo al que vaya conectado el puente de unión principal.

Excepción 6: Lo que se establece en 250-27 para conexiones de puesta a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.

b) Conductor puesto a tierra llevado al equipo de la acometida. Cuando un sistema de c.a. de menos de 1 000 V esté puesto a tierra en cualquier punto, el conductor puesto a tierra se debe llevar hasta cada medio de desconexión de acometida y debe unirse al envolvente de cada uno de ellos. Este conductor se debe llevar junto con los conductores de fase y no debe ser inferior al conductor del electrodo de puesta a tierra requerido en la Tabla 250-94 y, además, para los conductores de fase de acometidas de más de 1100 kcmil (cobre) o 1 750 kcmil (aluminio), el tamaño nominal del conductor puesto a tierra no debe ser inferior a 12,5% del tamaño nominal mayor de los conductores de fase de las acometidas. Cuando los conductores de fase de entrada a la acometida vayan en paralelo, el tamaño nominal del conductor puesto a tierra se debe calcular sobre la base de una sección transversal equivalente para conductores en paralelo, como se indica en esta Sección.

NOTA: Para la puesta a tierra de conductores conectados en paralelo, véase 310-4.

Excepción 1: No se exige que el conductor puesto a tierra sea de tamaño mayor que el del mayor conductor de fase de entrada a la acometida que no vaya puesto a tierra.

Excepción 2: Lo que establece la Sección 250-27 para conexiones de puesta a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.

Excepción 3: Cuando haya más de un medio de desconexión de la acometida en un conjunto aprobado como equipo de acometida, debe llevarse un conductor puesto a tierra hasta ese conjunto y unirse al envolvente del equipo.

250-24. Suministro de energía desde la misma acometida a dos o más edificios o estructuras

a) Sistemas puestos a tierra. Cuando se suministre energía desde la misma acometida de corriente alterna a dos o más edificios o estructuras, el sistema puesto a tierra en cada edificio o estructura debe tener un electrodo de puesta a tierra como se describe en la Parte H, conectado al envolvente metálico del medio de desconexión del edificio, y al conductor puesto a tierra de la instalación de c.a., en el lado de alimentación del medio de desconexión del edificio. Cuando el conductor de puesta a tierra del equipo, descrito en 250-91(b), no vaya junto con los conductores del circuito de suministro, el tamaño nominal del conductor puesto a tierra de la instalación de c.a. en el lado de alimentación del medio de desconexión, no debe ser inferior al tamaño nominal especificado en la Tabla 250-95 para los conductores de puesta a tierra de equipo.

Excepción 1: No es necesario un electrodo de puesta a tierra en edificios o estructuras independientes cuando sólo tengan un circuito derivado y en el edificio o estructura no haya equipo que requiera la puesta a tierra.

Excepción 2: No es necesario conectar el conductor puesto a tierra del circuito al electrodo de puesta a tierra en un edificio o estructura independiente, si se instala un conductor de puesta a tierra de equipo junto con los conductores del circuito para la puesta a tierra de cualquier equipo metálico que no conduce corriente eléctrica, sistemas interiores de tubería metálica y estructuras metálicas del edificio y el conductor de puesta a tierra del equipo va conectado al electrodo de puesta a tierra del medio de desconexión de otro edificio o estructura, como se describe en la Parte H. Si no hay electrodos de puesta a tierra y el edificio o estructura recibe el suministro de más de un circuito derivado, se debe instalar un electrodo de puesta a tierra que cumpla los requisitos de la Parte H. En establos, la parte del conductor de puesta a tierra del equipo que va subterránea hasta el medio de desconexión debe ser de cobre aislado o forrado.

NOTA: En cuanto a los requisitos especiales para la puesta a tierra de edificios agrícolas, véase la Excepción de 547-8(a).

b) Sistemas no puestos a tierra. Cuando dos o más inmuebles o estructuras estén alimentados por una acometida común de un sistema no puesto a tierra desde un solo equipo de acometida, cada inmueble o estructura debe tener un electrodo de puesta a tierra, como se especifica en la Parte H, conectado a la envolvente metálica de los medios de desconexión del inmueble o estructura.

Excepción 1: No es necesario un electrodo de puesta a tierra en edificios o estructuras independientes cuando sólo se alimenta un circuito derivado y en el edificio o estructura no haya equipo que requiera la puesta a tierra.

Excepción 2: No se requiere un electrodo de puesta a tierra ni conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra a la envolvente metálica del medio de desconexión del edificio o estructura, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

a. Se instale un conductor de puesta a tierra de equipo con los conductores del circuito hasta el medio de desconexión del edificio o estructura para la puesta a tierra cualquier equipo metálico que no conduce corriente, sistemas de tuberías metálicas interiores y estructuras metálicas del edificio.

b. No existan electrodos de puesta a tierra como se describen en la Parte H.

c. El edificio o estructura se alimente solamente por un circuito derivado.

d. En establos, la parte del conductor de puesta a tierra del equipo que vaya subterránea hasta el medio de desconexión, debe ser de cobre aislado o forrado.

NOTA: Véase la Excepción de 547-8(a), para los requisitos especiales de puesta a tierra en edificios agrícolas.

c) Medios de desconexión situados en edificios o estructuras separadas pero en la misma instalación del usuario. Cuando haya uno o más medios de desconexión que suministren energía a uno o más edificios o estructuras bajo la misma administración y esos medios de desconexión estén situados fuera de esos edificios o estructuras según lo establecido en 225-8(b), Excepciones 1 y 2, deben cumplirse las siguientes condiciones:

1) No debe realizarse la conexión del conductor puesto a tierra del circuito al electrodo de puesta a tierra en un edificio o estructura independiente.

2) Debe tenderse, junto con los conductores del circuito hasta un edificio o estructura independiente, un conductor de puesta a tierra para equipo metálico no energizado normalmente, para sistemas tubería metálica interiores y para estructuras metálicas de edificios, y conectarse a los electrodos de puesta a tierra existente descritos en la Parte H o, si no existieran esos electrodos, se debe instalar un electrodo de puesta a tierra que cumpla los requisitos de la Parte H, cuando se suministre energía desde un edificio o estructura independiente a más de un circuito derivado.

3) La unión del conductor de puesta a tierra del equipo al conductor del electrodo de puesta a tierra a un edificio o estructura independiente, se debe hacer en una caja de conexión, panel de alumbrado y control o envolvente similar situado inmediatamente dentro o fuera del otro edificio o estructura.

Excepción 1: No es necesario un electrodo de puesta a tierra en edificios o estructuras independientes cuando sólo se alimente un circuito derivado y en el edificio o estructura no haya equipo que requiera la puesta a tierra.

Excepción 2: En establos, la parte del conductor de puesta a tierra del equipo que vaya subterránea hasta el medio de desconexión, debe ser de cobre aislado o forrado.

d) Conductor de puesta a tierra. El tamaño nominal del conductor de puesta a tierra hasta el electrodo o electrodos de puesta a tierra, no debe ser inferior a lo indicado en la Tabla 250-95 y su instalación debe cumplir con lo establecido en 250-92(a) y (b).

Excepción 1: No se exige que el conductor de puesta a tierra tenga un tamaño nominal mayor que el mayor de los conductores no puestos a tierra del suministro.

Excepción 2: Cuando se conecte a electrodos de puesta a tierra fabricados, como se indica en 250-83(c) o (d), no se exige que la parte del conductor de puesta a tierra que constituya la única conexión entre el electrodo o electrodos de puesta a tierra y el conductor de puesta a tierra o puesto a tierra o la envolvente metálica del medio de desconexión del edificio, sea de mayor tamaño nominal de 13,3 mm² (6 AWG) en cobre o que 21,2 mm² (4 AWG) en aluminio.

250-26. Puesta a tierra de los sistemas de c.a. derivados separadamente. Un sistema de c.a. derivado separadamente que requiera ser puesto a tierra, debe hacerse según se especifica a continuación:

a) Puente de unión. Se debe instalar un puente de unión, de tamaño nominal que cumpla lo establecido en 250-79 (d) para los conductores de fase derivados para conectar los conductores de puesta a tierra del quipo del sistema derivado al conductor puesto a tierra. Excepto como se permite en las Excepciones 4 o 5 de 250-23(a), esta conexión se debe hacer en cualquier punto del sistema derivado separadamente, desde su fuente hasta el primer medio de desconexión o dispositivo de protección contra sobrecorriente del sistema o en la fuente del sistema derivado separadamente que no tenga medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente.

Excepción 1: El tamaño nominal del puente de unión de un sistema que suministre energía a un circuito de Clase 1, Clase 2 o Clase 3 y que se derive de un transformador de no más de 1 000 VA nominal, no debe ser inferior al de los conductores de fase derivados y en ningún caso inferior a 2,08 mm² (14 AWG).

Excepción 2: Lo establecido en 250-27, 250-153 y 250-5(b), Excepción 5 para los requisitos de puesta a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.

b) Conductor del electrodo de puesta a tierra. Se debe utilizar un conductor del electrodo de puesta a tierra de tamaño nominal acorde con lo establecido en 250-94 para los conductores de fase derivados para conectar el conductor puesto a tierra del sistema derivado con el electrodo de puesta a tierra, como se especifica a continuación en (c). Excepto lo que se permita en 250-23(a), Excepción 4, esta conexión se debe hacer en cualquier punto del sistema derivado separadamente, desde su fuente hasta el primer medio de desconexión o dispositivo de protección contra sobrecorriente del sistema o en la fuente del sistema derivado separadamente que no tenga medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente.

Excepción 1: No es necesario un conductor hasta el electrodo de puesta a tierra en un sistema que suministre energía a circuitos de la Clase 1, Clase 2 o Clase 3 y se derive de un transformador de no más de 1 000 VA nominales, siempre que el conductor puesto a tierra del sistema se conecte a la estructura o al envolvente del transformador por medio de un puente de unión de tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en 250-26, Excepción 1 para el anterior caso (a), y la estructura o el envolvente del transformador estén puestos a tierra por cualquiera de los medios especificados en 250-57.

Excepción 2: Lo establecido en 250-27, 250-153 y 250-5(b), Excepción 5, para los requisitos de puesta a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.

c) Electrodo de puesta a tierra. El electrodo de puesta a tierra debe ser lo más accesible posible y estar preferiblemente en la misma zona que la conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra al sistema. El electrodo de puesta a tierra debe ser: (1) el elemento metálico de la estructura o edificio más cercano puesto a tierra eficazmente o (2) la tubería metálica de agua puesta a tierra eficazmente que esté más cerca o (3) cuando no se disponga de los electrodos especificados en los anteriores incisos (1) y (2) deben usarse los electrodos especificados en 250-81 y 250-83.

NOTA: Para los requisitos de unión de los sistemas derivados separadamente, véase 250-80(a).

d) Métodos de puesta a tierra. En todos los demás aspectos, los métodos de puesta a tierra deben cumplir los requisitos establecidos en otras partes de esta norma.

250-46. Separación de los conductores de bajada de los pararrayos. Las canalizaciones, envolventes, estructuras y partes metálicas de equipo eléctrico que no transporten normalmente corriente eléctrica, se deben mantener alejadas 1,8 m como mínimo de los conductores de bajada de los electrodos de puesta a tierra de los pararrayos o deben unirse cuando la distancia a los conductores de bajada sea inferior a 1,8 m.

NOTA: Para el sistema de los electrodos de puesta a tierra de pararrayos, véase 250-86. Véanse también separación de los conductores de bajada de los pararrayos, en 800-13 y 820-10(f)(3).

250-74. Conexión de la terminal de puesta a tierra de un receptáculo a la caja. Se debe realizar una conexión de la terminal de puesta a tierra de un receptáculo a la caja de conexiones efectivamente puesta a tierra.

Excepción 1: Cuando la caja vaya montada en una superficie con contacto metálico directo entre el soporte y la propia caja, se permite la puesta a tierra del receptáculo a la caja. Esta excepción no se aplica a los receptáculos montados en las tapas, a no ser que la caja y la tapa estén aprobadas y listadas como un conjunto que proporcione una continuidad satisfactoria a tierra entre la caja y el receptáculo.

Excepción 2: Se permite que los dispositivos o soportes de contacto diseñados, aprobados y listados para este fin formen, junto con los tornillos que los sujetan, el circuito de puesta a tierra entre el soporte del dispositivo y la caja montada en la pared.

Excepción 3: Las cajas en el piso diseñadas y aprobadas para ofrecer una continuidad satisfactoria a tierra entre la caja y el dispositivo.

Excepción 4: Cuando sea necesario para reducir el ruido eléctrico (interferencias electromagnéticas) en el circuito de puesta a tierra, se permite un receptáculo en el que la terminal de puesta a tierra esté aislada intencionadamente de los medios de montaje del contacto. El receptáculo debe ser puesto a tierra por medio de un conductor aislado que vaya con los conductores del circuito. Este conductor de puesta a tierra puede pasar a través de uno o más tableros de alumbrado y control sin necesidad de conectarlo a las terminales de puesta a tierra de los mismos, como se permite en 384-20, excepto que termine dentro del mismo edificio o estructura, directamente en la terminal de un conductor de puesta a tierra de equipo de la correspondiente acometida o del sistema derivado separadamente.

NOTA: El uso de un conductor de puesta a tierra aislado para equipo no exime del requisito de poner a tierra la canalización y la caja.

250-81. Sistema de electrodos de puesta a tierra. Si existen en la propiedad, en cada edificio o estructura perteneciente a la misma, los elementos (a) a (d) que se indican a continuación y cualquier electrodo de puesta a tierra prefabricado instalado de acuerdo con lo indicado en 250-83(c) y 250-83(d), deben conectarse entre sí para formar el sistema de electrodos de puesta a tierra. Los puentes de unión se deben instalar de acuerdo con lo indicado en 250-92(a) y 250-92(b), deben dimensionarse según lo establecido en 250-94 y deben conectarse como se indica en 250-115.

Se permite que el conductor del electrodo de puesta a tierra sin empalmes llegue hasta cualquier electrodo de puesta a tierra disponible en el sistema de electrodos de puesta a tierra. Debe dimensionarse de acuerdo con el conductor para electrodo de puesta a tierra exigido entre todos los electrodos disponibles. La conexión entre los electrodos se hará independientemente del uso de cada uno.

NOTA: En el terreno o edificio pueden existir electrodos o sistemas de tierra para equipos de cómputo, pararrayos, telefonía, comunicaciones, subestaciones o acometida, apartarrayos, entre otros, y todos deben conectarse entre sí.

Excepción 1: Se permite empalmar el conductor del electrodo de puesta a tierra mediante conectores a presión aprobados para este fin o mediante el proceso de soldadura exotérmica.

La tubería metálica interior para agua situada a más de 1,5 m del punto de entrada en el edificio, no debe utilizarse como parte de la instalación del electrodo de puesta a tierra o como conductor para conectar electrodos de puesta a tierra que formen parte de dicha instalación.

Excepción 2: En las construcciones industriales y comerciales, cuando las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que sólo personal calificado atiende la instalación y la tubería metálica interior para agua que se vaya a utilizar como conductor esté expuesta en toda su longitud.

NOTA: Para los requisitos especiales de conexión y puesta a tierra en edificios agrícolas, véase 547-8.

Los electrodos permitidos para puesta a tierra son los que se indican de (a) a (d). En ningún caso se permite que el valor de resistencia a tierra del sistema de electrodos de puesta a tierra sea superior a 25Ω .

a) Tubería metálica subterránea para agua. Una tubería metálica subterránea para agua en contacto directo con la tierra a lo largo de 3 m o más (incluidos los ademes metálicos de pozos efectivamente unidos a la tubería) y con continuidad eléctrica (o continua eléctricamente mediante la unión de las conexiones alrededor de juntas aislantes, o secciones aislantes de tubos) hasta los puntos de conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra y de los conductores de unión. La continuidad de la trayectoria de puesta a tierra o de la conexión de unión de la tubería interior no se debe hacer a través de medidores de consumo de agua, filtros o equipo similares. Una tubería metálica subterránea para agua se debe complementar mediante un electrodo adicional del tipo especificado en 250-81 o 250-83. Se permite que este electrodo de puesta a tierra suplementario esté unido al conductor del electrodo de puesta a tierra, al conductor de la acometida puesto a tierra, la canalización de la acometida puesta a tierra o cualquier envolvente de la acometida puesta a tierra.

Cuando este electrodo suplementario sea prefabricado como se establece en 250-83(c) o 250-83(d), se permite que la parte del puente de unión que constituya la única conexión con dicho electrodo suplementario no sea mayor que un cable de cobre de $13,3\text{ mm}^2$ (6 AWG) o un cable de aluminio de $21,2\text{ mm}^2$ (4 AWG).

Excepción: Se permite que el electrodo de puesta a tierra suplementario vaya conectado a la tubería metálica interior para agua en cualquier punto que resulte conveniente, como se explica en la Excepción 2 de 250-81.

b) Estructura metálica del edificio. La estructura metálica del edificio, cuando esté puesta a tierra eficazmente.

c) Electrodo empotrado en concreto. Un electrodo empotrado como mínimo 50 mm en concreto, localizado en y cerca del fondo de un cimiento o zapata que esté en contacto directo con la tierra y que conste como mínimo de 6 m de una o más varillas de acero desnudo o galvanizado o revestido de cualquier otro recubrimiento eléctricamente conductor, de no menos de 13 mm de diámetro o como mínimo 6,1 m de conductor de cobre desnudo de tamaño nominal no inferior a $21,2\text{ mm}^2$ (4 AWG).

d) Anillo de tierra. Un anillo de tierra que rodee el edificio o estructura, en contacto directo con la tierra y a una profundidad bajo la superficie no inferior a 800 mm que conste como mínimo en 6 m de conductor de cobre desnudo de tamaño nominal no inferior a $33,6\text{ mm}^2$ (2 AWG).

250-83. Electrodos especialmente contruidos. Cuando no se disponga alguno de los electrodos especificados en 250-81, debe usarse uno o más de los electrodos especificados en los incisos a continuación, en ningún caso el valor de resistencia a tierra del sistema de electrodos de puesta a tierra debe ser superior a 25Ω . Cuando sea posible, los electrodos de puesta a tierra contruidos especialmente deben enterrarse por debajo del nivel de humedad permanente. Los electrodos de puesta a tierra especialmente contruidos deben estar libres de recubrimientos no conductores, como pintura o esmalte. Cuando se use más de un electrodo de puesta a tierra para el sistema de puesta a tierra, todos ellos (incluidos los que se utilicen como electrodos de puesta a tierra de pararrayos) no deben estar a menos de 1,8 m de cualquier otro electrodo de puesta a tierra o sistema para puesta a tierra. Dos o más electrodos de puesta a tierra que estén efectivamente conectados entre sí, se deben considerar como un solo sistema de electrodos de puesta a tierra.

a) Sistema de tubería metálica subterránea de gas. No se debe usar como electrodo de puesta a tierra un sistema de tubería metálica subterránea de gas.

b) Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos. Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos, como tubería y tanques subterráneos.

c) Electrodos de varilla o tubería. Los electrodos de varilla y tubo no deben tener menos de 2,4 m de longitud, deben ser del material especificado a continuación y estar instalados del siguiente modo:

1) Los electrodos de puesta a tierra consistentes en tubería o tubo (conduit) no deben tener un tamaño nominal inferior a 19 mm (diámetro) y, si son de hierro o acero, deben tener su superficie exterior galvanizada o revestida de cualquier otro metal que los proteja contra la corrosión.

2) Los electrodos de puesta a tierra de varilla de hierro o de acero deben tener como mínimo un diámetro de 16 mm. Las varillas de acero inoxidable inferiores a 16 mm de diámetro, las de metales no ferrosos o sus equivalentes, deben estar aprobadas y tener un diámetro no inferior a 13 mm.

3) El electrodo de puesta a tierra se debe instalar de modo que tenga en contacto con el suelo un mínimo de 2,4 m. Se debe clavar a una profundidad no inferior a 2,4 m excepto si se encuentra roca, en cuyo caso el electrodo de puesta a tierra se debe clavar a un ángulo oblicuo que no forme más de 45° con la vertical, o enterrar en una zanja que tenga como mínimo 800 mm de profundidad. El extremo superior del electrodo de puesta a tierra debe quedar a nivel del piso, excepto si el extremo superior del electrodo de puesta a tierra y la

conexión con el conductor del electrodo de puesta a tierra están protegidos contra daño físico, como se especifica en 250-117.

d) Electrodo de placas. Los electrodos de puesta a tierra de placas deben tener en contacto con el suelo un mínimo de 0,2 m² de superficie. Los electrodos de puesta a tierra de placas de hierro o de acero deben tener un espesor mínimo de 6,4 mm. Los electrodos de puesta a tierra de metales no ferrosos deben tener un espesor mínimo de 1,52 mm.

e) Electrodo de aluminio. No está permitido utilizar electrodos de aluminio.

250-84. Resistencia de electrodos de varillas, tubería y placas. Un electrodo que consista en una varilla, tubería o placa, debe tener una resistencia a tierra de 25 Ω o menor una vez enterrado. En caso de que la resistencia a tierra sea mayor que 25 Ω debe complementarse con uno o más electrodos adicionales de cualquiera de los tipos especificados en 250-81 o 250-83 hasta obtener este valor de resistencia permisible.

Cuando se instalen varios electrodos de barras, tubos o placas para cumplir los requisitos de esta Sección se deben colocar a una distancia mínima de 1,8 m entre sí y deben estar efectivamente conectados entre sí. El valor de la resistencia a tierra de los electrodos no debe ser mayor que 25 Ω para casas habitación, comercios, oficinas o locales considerados como de concentración pública.

NOTA: La instalación en paralelo de varillas de más de 2,4 m aumenta la eficiencia si se separan más de 1,8 m.

250-92. Instalación. Los conductores de puesta a tierra deben instalarse como se especifica en los siguientes incisos:

a) Conductor del electrodo de puesta a tierra. Un conductor del electrodo de puesta a tierra o su envolvente debe sujetarse firmemente a la superficie sobre la que va instalado. Un conductor de cobre o aluminio de 21,2 mm² (4 AWG) o superior debe protegerse si está expuesto a daño físico severo. Se puede llevar un conductor de puesta a tierra de 13,3 mm² (6 AWG) que no esté expuesto a daño físico, a lo largo de la superficie del edificio sin tubería o protección metálica, cuando esté sujeto firmemente al edificio; si no, debe ir en tubo (conduit) metálico tipo pesado, semipesado, ligero, en tubo (conduit) no metálico tipo pesado o un cable armado. Los conductores de puesta a tierra de tamaño nominal inferior a 13,3 mm² (6 AWG) deben alojarse en tubo (conduit) metálico tipo pesado, semipesado, ligero, en tubo (conduit) no metálico tipo pesado o en cable armado.

No deben utilizarse como conductores de puesta a tierra, conductores aislados o desnudos de aluminio que estén en contacto directo con materiales de albañilería o terreno natural o si están sometidos a condiciones corrosivas. Cuando se utilicen a la intemperie, los conductores de puesta a tierra de aluminio no deben instalarse a menos de 45 cm. del terreno natural.

b) Envolventes para conductores del electrodo de puesta a tierra. Las envolventes metálicas del conductor del electrodo de puesta a tierra deben ser eléctricamente continuas desde el punto de conexión a los envolventes o equipo hasta el electrodo de puesta a tierra, y deben estar sujetas firmemente a las abrazaderas o herrajes de tierra. Las envolventes metálicas que no sean continuas físicamente desde el envolvente o equipo hasta el electrodo de puesta a tierra, se deben hacer eléctricamente continuas mediante la unión de sus dos extremos al conductor de puesta a tierra. Cuando se utilice una canalización como protección del conductor de puesta a tierra, su instalación debe cumplir los requisitos del Artículo correspondiente a las canalizaciones.

c) Conductor de puesta a tierra de equipo. Un conductor de puesta a tierra de equipo se debe instalar como sigue:

1) Cuando consista en una canalización, un soporte tipo charola para cables, armadura o forro de cables o cuando sea un conductor dentro de una canalización o cable, debe instalarse cumpliendo las disposiciones aplicables de esta norma utilizando accesorios para uniones y terminales que estén aprobados para utilizarlos con el tipo de canalización o cable utilizados.

Todas las conexiones, uniones y accesorios deben fijarse firmemente con los medios adecuados.

2) Cuando haya un conductor de puesta a tierra de equipo independiente, como establece la Excepción de 250-50(a) y 250-50(b) y la Excepción 2 de 250-57(b) debe instalarse de acuerdo con lo indicado en 250-92(a) en lo que respecta a las limitaciones del aluminio y a la posibilidad de daño físico.

Excepción: No es necesario que los cables inferiores a 13,3 mm² (6 AWG) se alojen dentro de una canalización o armadura cuando se instalen por los espacios huecos de una pared o cuando vayan instalados de modo que no sufran daño físico.

250-95. Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo. El tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo, de cobre o aluminio, no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-95.

Cuando haya conductores en paralelo en varias canalizaciones o cables, como se permite en 310-4, el conductor de puesta a tierra de equipo, cuando exista, debe estar instalado en paralelo. Cada conductor de puesta a tierra de equipo instalado en paralelo debe tener un tamaño nominal seleccionado sobre la base de la corriente eléctrica nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente que proteja los conductores del circuito en la canalización o cable, según la Tabla 250-95.

Cuando el tamaño nominal de los conductores se ajuste para compensar caídas de tensión eléctrica, los conductores de puesta a tierra de equipo, cuando deban instalarse, se deben ajustar proporcionalmente según el área en mm² de su sección transversal.

Cuando sólo haya un conductor de puesta a tierra de equipo con varios circuitos en el mismo tubo (conduit) o cable, su tamaño nominal debe seleccionarse de acuerdo con el dispositivo de sobrecorriente de mayor corriente eléctrica nominal de protección de los conductores en el mismo tubo (conduit) o cable.

Si el dispositivo de sobrecorriente consiste en un interruptor automático de disparo instantáneo o un protector de motor contra cortocircuitos, como se permite en 430-52, el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra de equipo se puede seleccionar de acuerdo con la capacidad nominal del dispositivo de protección del motor contra sobrecarga, pero no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-95.

Excepción 1: Un conductor de puesta a tierra de equipo no debe ser menor que 0,824 mm² (18 AWG) de cobre y no menor que el tamaño nominal de los conductores del circuito y que forme parte de cables de aparatos eléctricos, según se establece en 240-4.

Excepción 2: No es necesario que el conductor de puesta a tierra de equipo sea de mayor tamaño nominal que el de los conductores de los alimentadores de equipo.

Excepción 3: Cuando se use como conductor de puesta a tierra de equipo un tubo (conduit) o armadura o blindaje de cable, como se establece en 250-51, 250-57(a) y 250-91(b).

250-115. Conexión a los electrodos. El conductor de puesta a tierra se debe conectar al electrodo de puesta a tierra mediante soldadura exotérmica, zapatas, conectores a presión, abrazaderas u otros medios aprobados. No deben utilizarse conexiones que dependan únicamente de la soldadura. Las abrazaderas de tierra deben estar aprobadas para el material del electrodo de puesta a tierra y para el conductor del electrodo de puesta a tierra y, cuando se utilicen en tubería, varillas u otros electrodos enterrados, deben estar también aprobadas para su uso enterradas directamente en el terreno natural. No debe conectarse al electrodo de puesta a tierra con la misma abrazadera o accesorio más de un conductor, excepto si la abrazadera o accesorio está aprobada(o) para utilizarla con varios conductores. La conexión debe hacerse por uno de los métodos explicados en los incisos siguientes:

- a) **Abrazadera sujeta con pernos.** Abrazadera aprobada de latón o bronce fundido o hierro dulce o maleable.
- b) **Accesorios y abrazaderas para tubería.** Un accesorio, abrazadera u otro mecanismo aprobado, sujeto con pernos a la tubería o a sus conexiones.
- c) **Abrazadera de tierra de tipo solera.** Una abrazadera de tierra aprobada de tipo solera, con una base de metal rígido que asiente en el electrodo y con una solera de un material y dimensiones que no sea probable que cedan durante o después de la instalación.
- d) **Otros medios.** Otros medios sustancialmente iguales a los descritos y aprobados.

921-18. Resistencia a tierra de electrodos. Disposiciones generales. El sistema de tierras debe consistir de uno o más electrodos conectados entre sí. Debe tener una resistencia a tierra baja para minimizar los riesgos al personal en función de la tensión eléctrica de paso y de contacto (se considera aceptable un valor de 10 Ω ; en terrenos con alta resistividad este valor puede llegar a ser hasta de 25 Ω . Para los tipos de electrodos véase 250-84.

a) **Plantas generadoras y subestaciones.** Cuando estén involucradas tensiones y corrientes eléctricas altas, se requiere de un sistema enmallado de tierra con múltiples electrodos y conductores enterrados y otros medios de protección. Véase Artículo 921 Parte D Subestaciones.

b) **Sistemas de un solo electrodo.** Los sistemas con un solo electrodo deben utilizarse cuando el valor de la resistencia a tierra no exceda de 25 Ω en las condiciones más críticas. Para instalaciones subterráneas el valor recomendado de resistencia a tierra es 5 Ω .

c) Sistemas con múltiples conexiones de puesta a tierra. El neutro, debe estar conectado a un electrodo en cada transformador y sobre la línea, cada 400 m máximo independiente del sistema del servicio de los usuarios.

921-25. Características del sistema de tierra. Las características de los sistemas de tierra deben cumplir con lo aplicable del Artículo 250.

NOTA: Para definir un método adecuado para calcular el sistema de puesta a tierra, como el cálculo para sistemas de tierras en plantas y subestaciones, véase el Apéndice B1 (NRF-011-CFE-2002).

a) Disposición física. El cable que forme el perímetro exterior del sistema, debe ser continuo de manera que encierre el área en que se encuentra el equipo de la subestación.

En subestaciones tipo pedestal, de conexión estrella-estrella, se requiere que el sistema de tierra quede confinado dentro del área que proyecta el equipo sobre el suelo.

La resistencia del sistema a tierra total debe cumplir con los valores indicados en el inciso (b) de esta Sección.

b) Resistencia a tierra del sistema. La resistencia eléctrica total del sistema de tierra incluyendo todos los elementos que lo forman, deben conservarse en un valor menor que lo indicado en la tabla siguiente:

Resistencia (Ω)	Tensión eléctrica máxima (kV)	Capacidad máxima del transformador (kVA)
5	mayor que 34,5	mayor que 250
10	34,5	mayor que 250
25	34,5	250

Deben efectuarse pruebas periódicamente durante la operación en los registros para comprobar que los valores del sistema de tierra se ajustan a los valores de diseño; asimismo, para comprobar que se conservan las condiciones originales, a través del tiempo y de preferencia en época de estiaje.

c) Sistemas con transformador. Cuando se requiera de un transformador para obtener la referencia a tierra aplicar lo indicado en 450-5.

Anexo 3

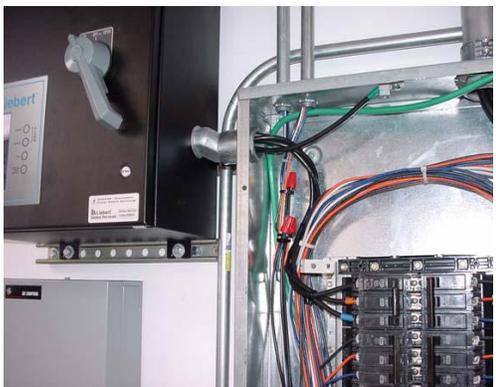
Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



Filtro de entrada de un UPS, con presencia de corriente armónicas

Anexo 3

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



- Conexión típica de los supresores de transitorios (TVSS) marca Liebert

Anexo 3

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones

Figure 1 Conventional built-up system

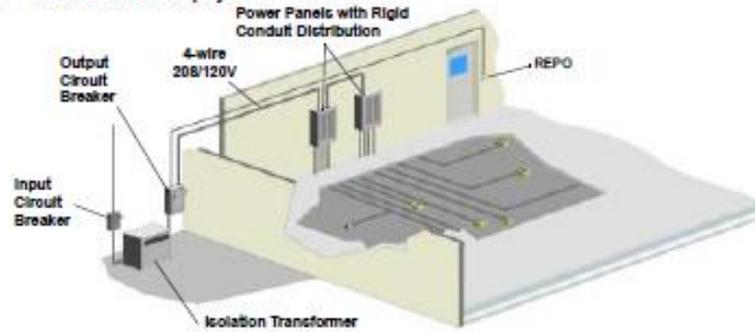


Figure 2 Liebert Precision Power Center

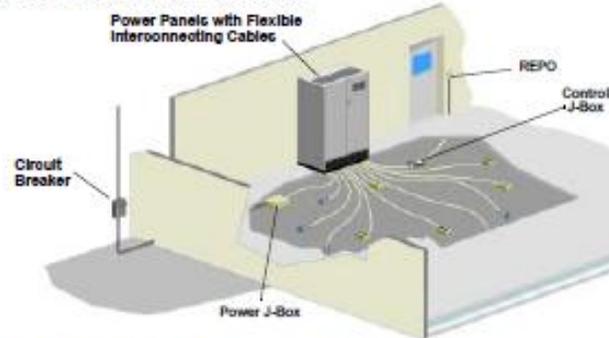
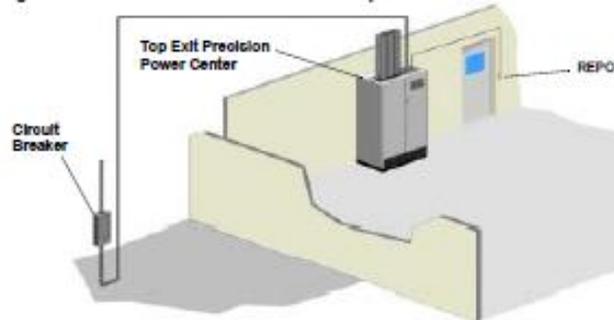


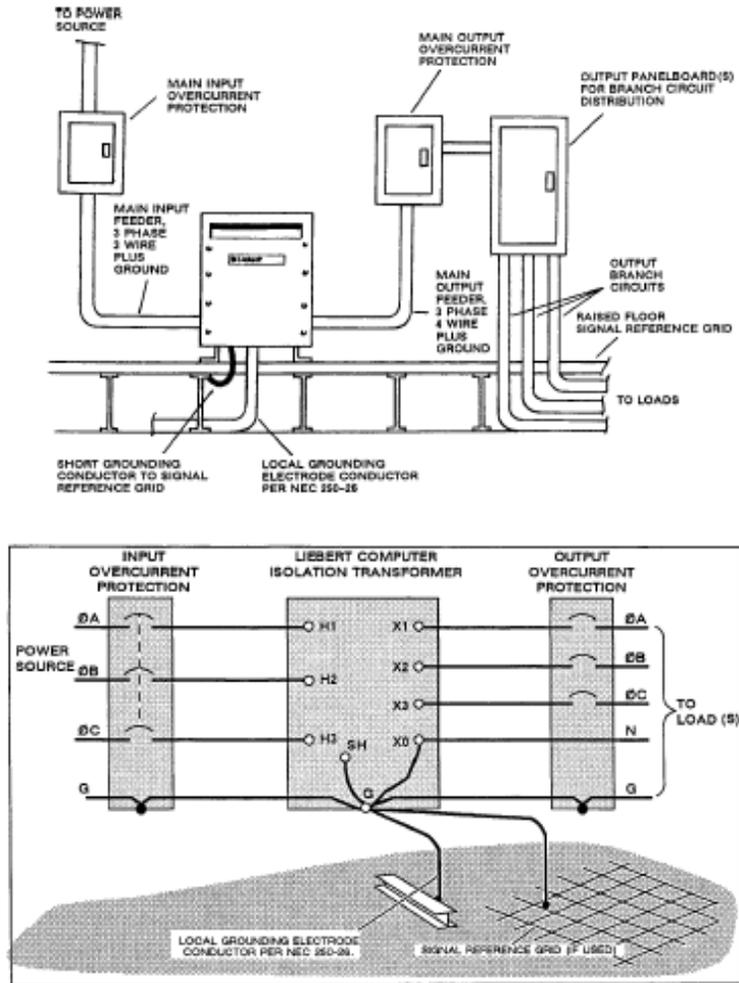
Figure 3 Liebert Precision Power Center—Top Exit



- Fig. 1 Instalación convencional con transformador de aislamiento
- Fig. 2 Utilización de Precisión Power Centre (PPC)

Anexo 3

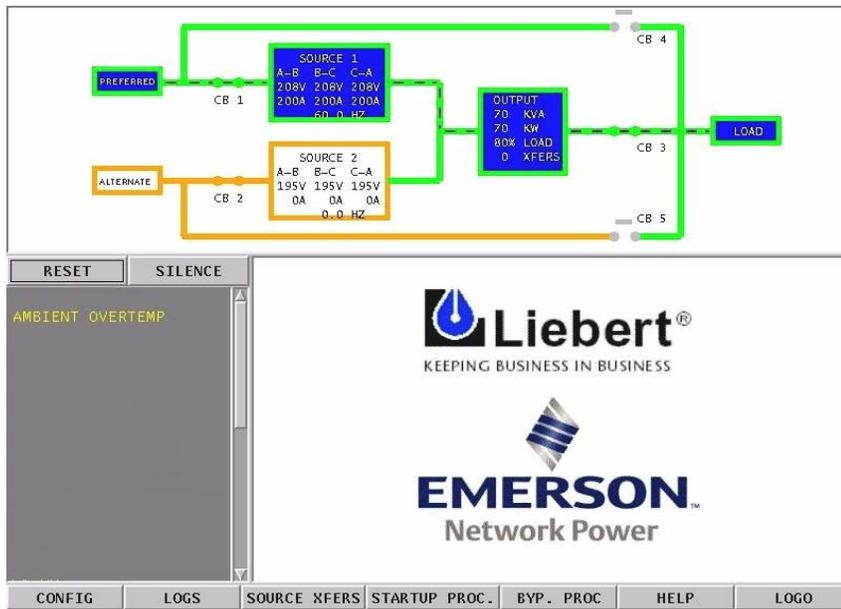
Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



- Instalación típica de un transformador de aislamiento

Anexo 3

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



- Switch de Transferencia estático (STS)

Anexo 3

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



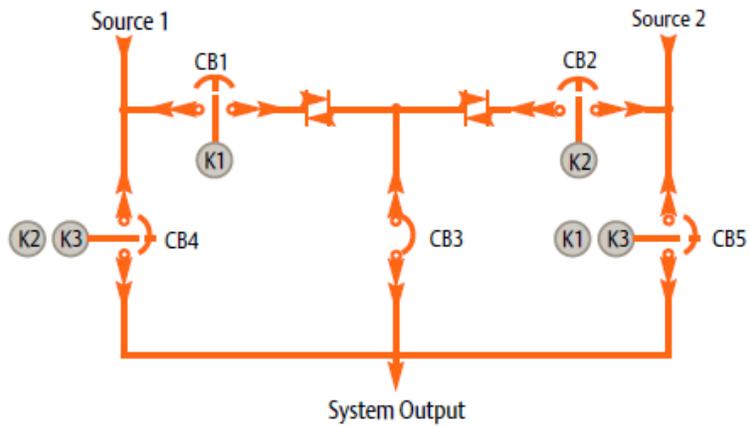
- Switch de Transferencia estático (STS)

Anexo 3

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



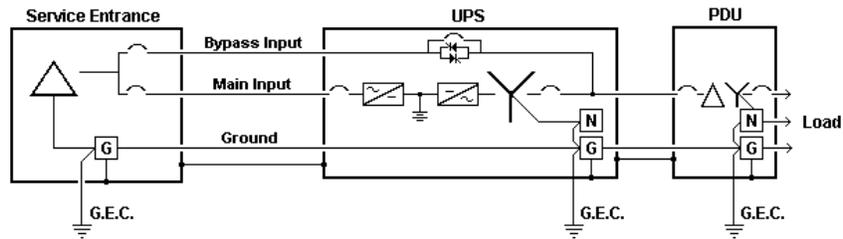
One-Line Diagram



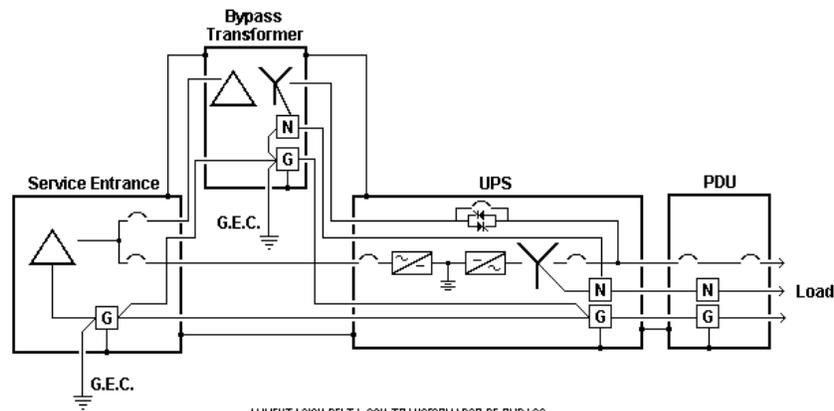
- Switch de Transferencia estático (STS)

Anexo 3

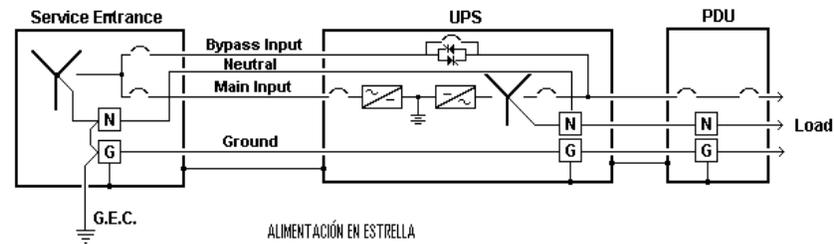
Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



ALIMENTACIÓN DELTA CON PDU, CARGA AISLADA



ALIMENTACION DELTA CON TRANSFORMADOR DE BYPASS

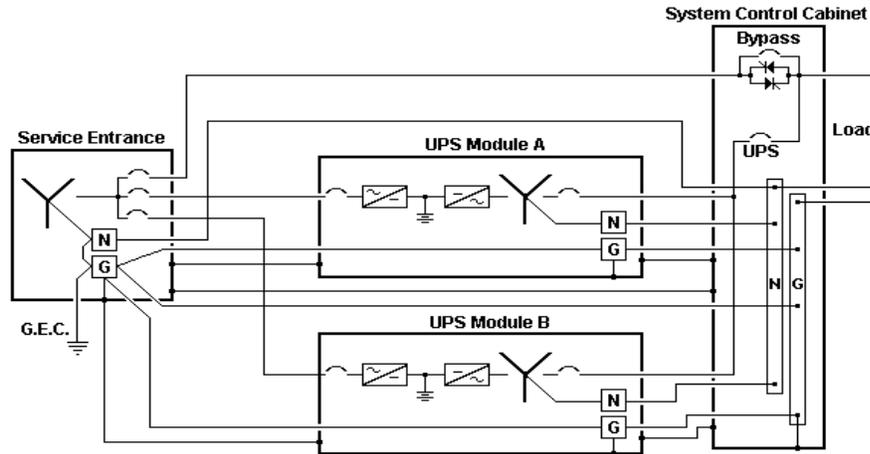


ALIMENTACIÓN EN ESTRELLA

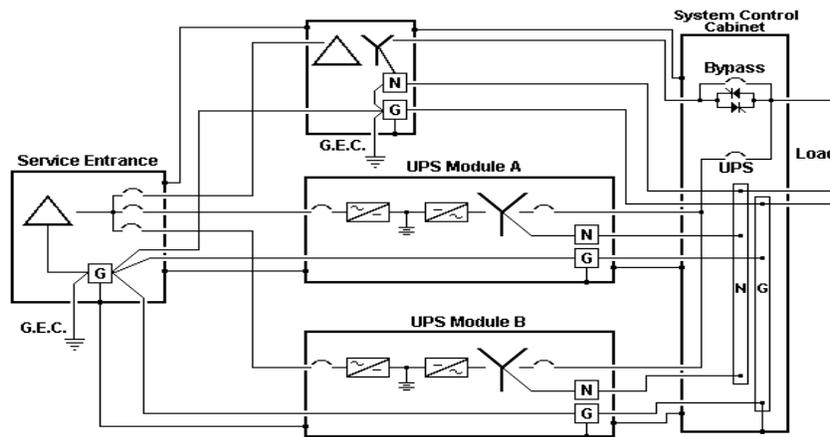
- Alimentación a un UPS con distintas formas de alimentación

Anexo 3

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



SISTEMAS MULTIMODULOS CON ALIMENTACION ESTRELLA

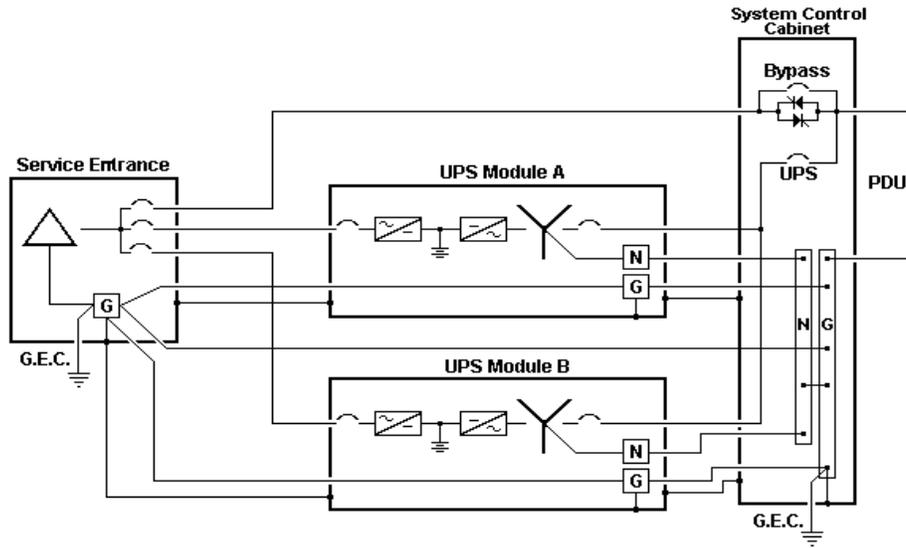


SISTEMA MULTIMODULOS CON CONEXIÓN EN DELTA CON TRANSFORMADOR DE BYPASS

- Alimentación a un UPS con distintas formas de alimentación

Anexo 3

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



SISTEMA MULTIMODULOS CON ALIMENTACIÓN EN DELTA

- Alimentación a un UPS con distintas formas de alimentación

Anexo 3

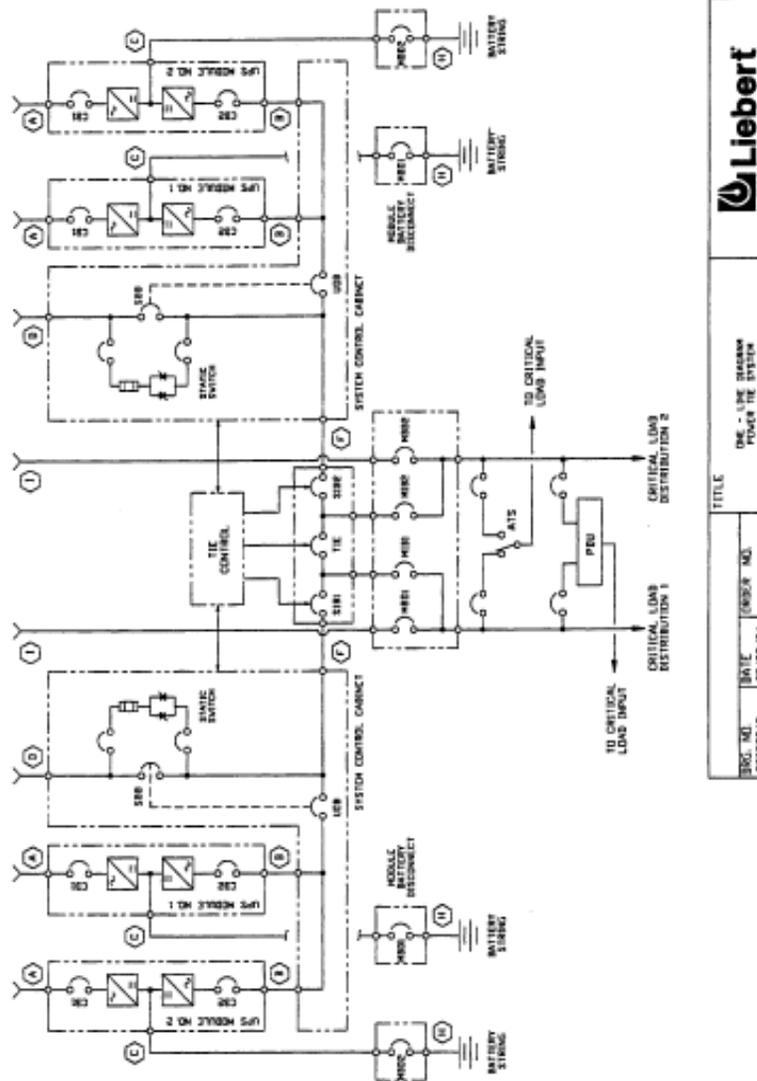
Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



- Redundancia total, dos sistemas con 3 UPS en paralelo, con sus gabinetes de control y el power tie que permite transferir la carga de un sistema a otro

Anexo 3

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones

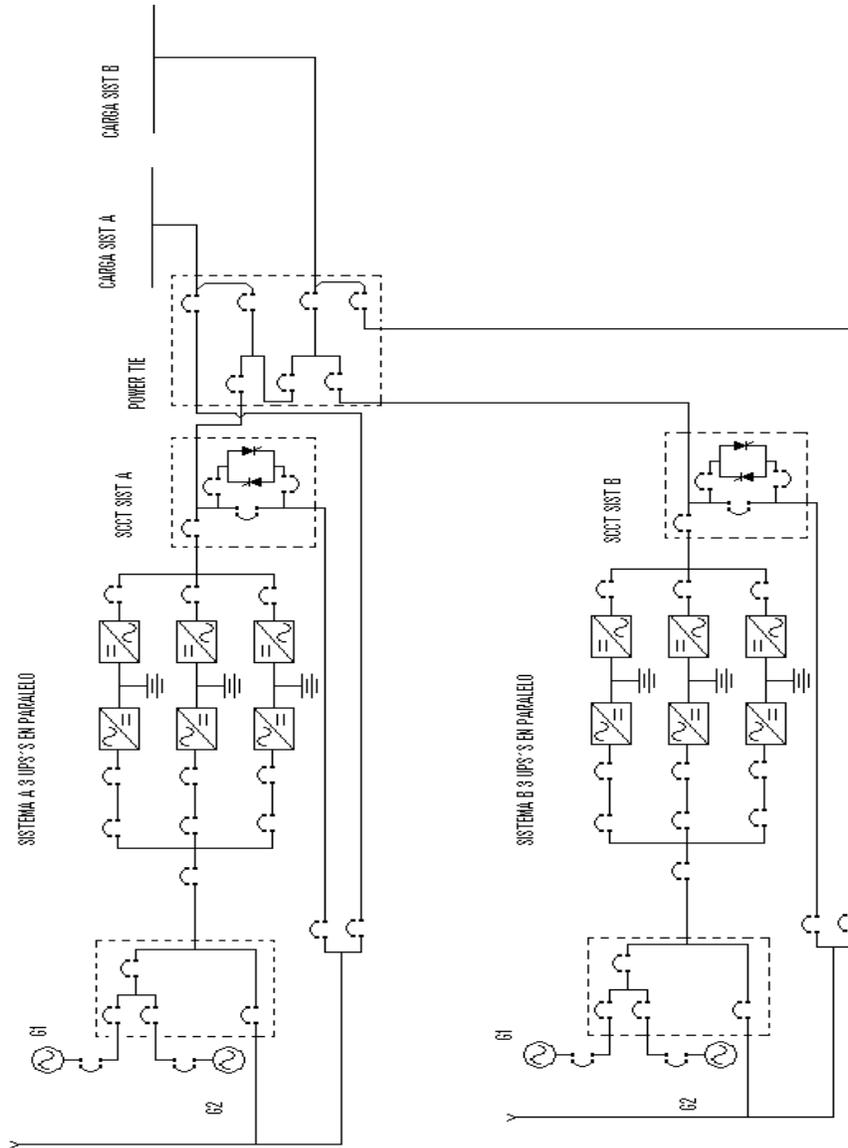


ENG. NO. E2000248	DATE 02/25/94
DRESSER NO.	TITLE ONE - LINE DIAGRAM POWER TIE SYSTEM

- Redundancia total: dos sistemas con 2 UPS, SCC con cargas independientes, Power Tie, STS, PDU

Anexo 3

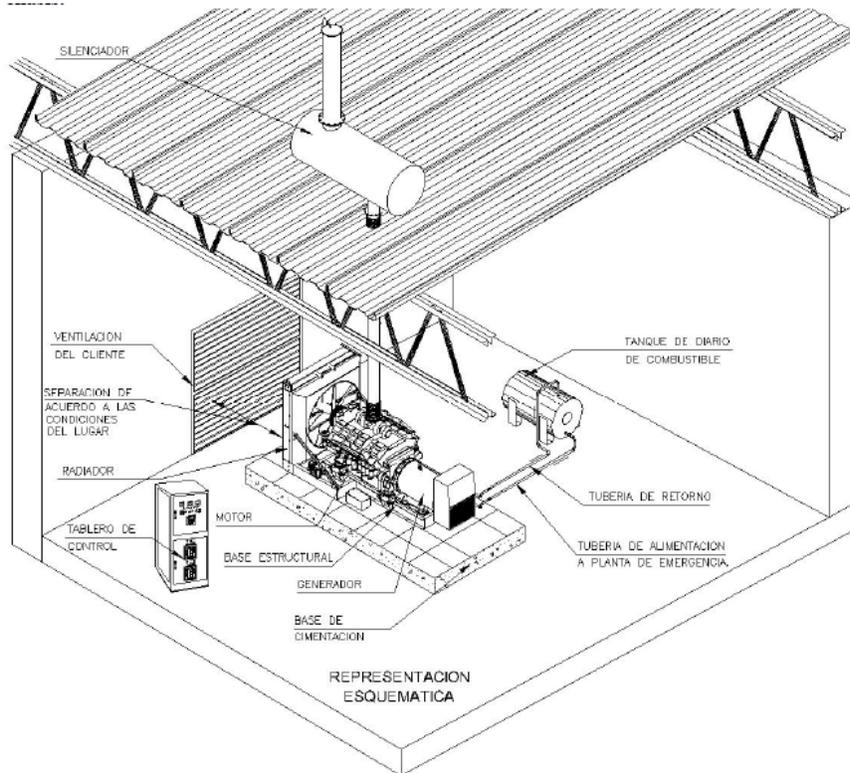
Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



- Dos sistemas multimódulos, cada uno con cargas independiente, El power Tie puede sincronizar las cargas y transferir de un sistema a otro sin interrupciones con la finalidad de apagar uno de los sistemas para mantenimiento o reparación

Anexo 3

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



- Planta de emergencia IGSA

Anexo 3

Importancia de la calidad de energía eléctrica para cargas críticas y comunicaciones



- Plantas de emergencia de la marca Ottomotores

BIBLIOGRAFIA

- Manual de calidad de la energía
Industrias SICA s.a.i.c
- RODRIGUEZ, Baile Javier
Convertidores de corriente directa a corriente alterna o inversores
ITESM, Ingeniería eléctrica.
- JIMENEZ, Rodrigo
Perspectiva de calidad de la energía eléctrica y su importancia en México
Asociación de normalización y certificación A.C
- UPS y estabilizadores cmos
www.cmos.com.ar
- UPS. estabilizadores de tensión
Manual de venta UPS
www.cmos.com.ar
- MONTES, Leonardo
Calidad de la energía eléctrica
Risoul y cia.
- TRUJILLO, Landeros Francisco
Sistemas de tierras físicas para sitios sensibles y comunicaciones
Grounding electrode system
- Entendiendo pruebas de resistencia de tierras
AEMC instruments
- AGULLEIRO, Ignacio
Técnicas modernas para mediciones de puesta a tierra en zonas urbanas
- ENRIQUEZ, Harper Gilberto
Aspectos de calidad de la energía
CFE 2007
- HIBBARD, John F. LOWENSTEIN, Michael Z.
IEEE – 519 ARMONICAS
“Recommended Practices and requirements for harmonic control in electric power systems”

- S.BERNAID - J.N. FLORINA
THD filtering and the control of harmonics Upstream of UPS
MGE UPS systems
- Momentary Power Tie configuration user manual
Series 610 Multi-module UPS
Emerson Network power
Liebert
- Static Transfer Switch (STS)
Installation and operation manual
Liebert Power Protection
Emerson Network power
- Grounding
Emerson network power
Liebert Power Protection
- Transient voltage surge, installation operation and maintenance manual
Liebert control concepts corporation
Emerson network power
- Liebert surge prespective device, installation operation and maintenance manual
Liebert Power Protection
Emerson network power
- Npower UPS installation manual
Emerson Network power
Liebert
- Npower UPS
Operation and maintenance manual 30-130Kva single module system
Emerson Network power
Liebert
- Manual de operación y mantenimiento de plantas eléctricas
Maquinaria IGSA s.a de c.v.
División plantas diesel-eléctricas
- Plantas generadoras eléctricas
Ottomotores s.a. de c.v.