



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**ANÁLISIS, SELECCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS  
SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA:**

**FRANCISCO JAVIER MARTÍNEZ MARTÍNEZ**

**ASESOR: ING. ALBINO ARTEAGA ESCAMILLA**

**CUAUTITLÁN**

**IZCALLI ESTADO DE MÉX.**

**2010**



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.

## **DEDICATORIAS**

Dedico con gran afecto y cariño esta tesis a mi mamá, Clara Martínez Saavedra, por cuidar de aquel niño y hacer de mí una persona comprometida con el trabajo, la familia, mis padres y hermanos. A mi papá, Fco Javier Martínez, por inculcarme el amor al estudio, el deseo de superación y de lucha diaria para conseguir así los objetivos que uno quiere en la vida.

La dedico a ti, Marlene Georgina Salazar Martínez: por hacerme papá y darme a mi hijo Leonardo Javier, por tu comprensión y apoyo incondicional.

A ti hijo, Leonardo Javier Martínez Salazar, por llenar mi vida de alegría desde tu llegada a esta familia.

A mis hermanas: Olivia por el sexto año de primaria que cursamos juntos y Norma Araceli por darme la oportunidad de cargarte cuando eras todavía una bebe.

Finalmente a mi hermano Alonso Aldo, por aquellos años mozos relucientes de alegría.

## **AGRADECIMIENTOS**

Es muy justo hacer público mi agradecimiento a mis padres por sostener mis estudios hasta la Universidad.

Agradezco respetuosamente a usted Ing. Albino Arteaga Escamilla por aceptar ser mi Director de Tesis, por su tiempo y sus comentarios tan valiosos.

A la U.N.A.M., especialmente a la Facultad de Cuautitlán por haberme abierto sus brazos y cambiarme la vida, en todos los aspectos, para siempre.

A mis amigos y compañeros por aquellos momentos de estudio, fiesta y trova: Miguel Moreno, Víctor Llanos G., Israel Alcántara, Eduardo, Juanito, Gilberto G, Ismael, Hugo Hernández, Carlos Gonzales, Marco (sami), David, Alejandro, Álvaro, Víctor (chico) y ofrezco una disculpa por olvidar a alguien de ustedes.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>PRÓLOGO</b>	<b>5</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Sistema eléctrico</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Tensión de generación y distribución de la energía eléctrica</b>	<b>8</b>
<b>1.2.1. Generación</b>	<b>8</b>
<b>1.2.2. Transmisión</b>	<b>8</b>
<b>1.2.3. Distribución y consumo</b>	<b>8</b>
<b>2. Calidad de la energía</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Características principales de la red de alimentación</b>	<b>10</b>
<b>2.2. La importancia de la energía eléctrica</b>	<b>12</b>
<b>2.3. Problemas eléctricos</b>	<b>13</b>
<b>2.4. Otros parámetros medibles</b>	<b>22</b>
<b>3. Los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida, SAI</b>	<b>26</b>
<b>3.1. Secciones que forman el SAI</b>	<b>26</b>
<b>3.2. Diagrama unifilar de un SAI</b>	<b>26</b>
<b>3.3. Tipos de cargas</b>	<b>29</b>
<b>3.4. Operación del Rectificador/Cargador</b>	<b>32</b>
<b>3.5. Operatividad del control</b>	<b>38</b>
<b>3.6. Operación del Inversor</b>	<b>41</b>
<b>3.6.1. Voltaje de salida</b>	<b>45</b>
<b>3.7. Interruptor estático</b>	<b>46</b>
<b>3.8. Interruptor de bypass</b>	<b>47</b>
<b>3.9. Baterías</b>	<b>48</b>
<b>3.10. Panel de control</b>	<b>52</b>
<b>3.11. Autodiagnóstico (Troubleshooting)</b>	<b>56</b>

<b>4. Tecnologías y tipos de SAI</b>	<b>58</b>
4.1. Standby	58
4.2. Línea interactiva	59
4.3. Doble conversión (True On-Line)	60
<b>5. Modos de operación del SAI</b>	<b>62</b>
5.1. Doble conversión (True On-Line)	63
5.2. Modo Bypass	64
5.3. Modo Baterías	66
<b>6. Equipos alternos de protección eléctrica</b>	<b>68</b>
6.1. Planta de emergencia (P.E.)	68
6.2. Supresor de transitorios súbitos de tensión, TVSS	69
6.3. Transformadores con factor "K"	72
6.4. Unidad de Distribución de Potencia (PDU)	73
<b>7. Procedimientos de instalaciones eléctricas</b>	<b>75</b>
7.1. Conexión a tierra	75
<b>8. Sistemas eléctricos típicos</b>	<b>85</b>
<b>9. Dimensionamiento de un SAI</b>	<b>102</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>111</b>

## PRÓLOGO

La electricidad es uno de los más grandes descubrimientos del hombre, tal ha sido su trascendencia que el día de hoy nos permite disfrutar de múltiples comodidades y cubrir necesidades en menor tiempo. En la etapa de utilización de la energía se presentan requerimientos específicos en lo que a nivel de voltaje y calidad del flujo eléctrico se refiere, pues existen equipos que debido a su tecnología y carácter estratégico en el proceso, requieren de una alimentación ininterrumpida y controlada. Por ésta razón primordial, surge la necesidad de utilizar un Sistema de Alimentación Ininterrumpida que permita mantener un suministro de energía de calidad.

La razón que me motivó a escribir sobre este tema es la relevancia que ha tenido la aplicación de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI) en mi desarrollo profesional. A lo largo de mi trayectoria he podido apreciar diferentes prácticas realizadas en campo que me invitan, en apego a mi formación universitaria, a aportar elementos que nutran tanto la información teórica básica indispensable, como la práctica responsable cuando se manejan equipos de ésta naturaleza.

De mi experiencia particular recopilo los hechos más relevantes que un profesional en el ramo y público interesado que consulte ésta obra pueda comprender y aplicar sin mayor problema.

La obra se compone de ocho capítulos, en el capítulo uno explico brevemente la generación y distribución de electricidad, etapas de un sistema eléctrico y las distintas transformaciones que sufre la tensión desde la central eléctrica hasta llegar a una toma de corriente.

En el capítulo dos describo el significado de calidad de energía y la importancia de la electricidad, los niveles de tensión eléctrica nominal, de servicio y nominal de utilización. Además explico los problemas más frecuentes que se presentan en un sistema eléctrico.

En el capítulo tres defino un Sistema de Alimentación Ininterrumpida, establezco su importancia y uso frecuente en centros de cómputo, así como la operación individual detallada de sus elementos principales.

En el capítulo cuatro expongo las diferentes tecnologías de SAIs que en la actualidad pueden encontrarse en el mercado nacional.

En el capítulo cinco describo los diferentes modos de operación del SAI doble conversión.

Diferentes equipos de protección eléctrica y respaldo son abordados en el capítulo seis, tales como una planta de emergencia y los transformadores con factor "K", entre otros.

En el capítulo siete destaco la importancia de tener una instalación eléctrica acorde a la norma mexicana NOM-001-SEDE-2005 (referente a la realización de instalaciones eléctricas).

En el capítulo ocho presento diferentes topologías de sistemas eléctricos donde se involucra un SAI de forma individual, paralela o con otros equipos de protección eléctrica y puesta a tierra. Por último, doy algunas recomendaciones y cuidados que se deben tomar al dimensionar un SAI, incluyendo las consideraciones que se deben tener en su traslado al sitio de operación.

Finalmente, pongo a consideración del lector éste material, que está concebido como una herramienta de consulta para los profesionales en el área y personas interesadas en el tema. Agradezco cualquier comentario que contribuya al enriquecimiento del presente trabajo.

Atentamente:

Francisco Javier Martínez Martínez.

## 1. Introducción.

La **electricidad** es el **movimiento de electrones** a través de trayectorias formadas por conductores eléctricos.

Esta forma de energía se genera a partir de la quema de combustibles fósiles, fisión nuclear, vapor del subsuelo, la fuerza del viento, la luz solar, la marea y las corrientes de agua. Independientemente del método de producción, en todas las plantas de generación de energía eléctrica encontramos alternadores trifásicos síncronos que nos permiten hacer llegar esta energía a los centros de consumo a través de su transporte.

En la construcción de los conductores se emplean tanto el cobre como el aluminio; el cobre se prefiere por que tiene un índice de conductividad del 100% y una densidad de 8.96 gramos por cada centímetro cúbico,  $\text{g/cm}^3$ . Alta maleabilidad, ductibilidad y resistencia mecánica. Resistente a la corrosión en ambientes salinos y corrosivos; además porque se puede reciclar. Por su parte el aluminio, presenta la ventaja en su densidad de  $2.7 \text{ g/cm}^3$  que lo hace más ligero y es útil para ciertos trabajos, menos para los ambientes salinos; tiene un índice de conductividad eléctrica de tan sólo el 60% de la del cobre.

Ambos se utilizan en redes aéreas de transmisión, subtransmisión y distribución de energía eléctrica.

### 1.1. Sistema eléctrico

La corriente fluye dentro de un **sistema eléctrico** el cual se define como el conjunto de equipos, dispositivos, aparatos, accesorios, materiales y conductores de líneas y circuitos de transmisión y distribución, comprendidos desde la fuente hasta los equipos de utilización.

Un sistema eléctrico de potencia comprende cuatro etapas fundamentales **generación, transmisión, distribución y consumo** las cuales están conectadas entre sí y operan en armonía como una unidad.

## **1.2. Tensión de generación y distribución de la energía eléctrica.**

Para que fluya la corriente eléctrica en el sistema se necesita una fuerza eléctrica llamada tensión o voltaje.

### **1.2.1. Generación.**

La generación de electricidad se realiza en media tensión en su primera etapa. El generador trifásico según su tipo proporciona tensión nominal en 4.16kV, 13.8kV, 23kV ó 34.5kV. Llega a un transformador que se encuentra en la misma planta y éste eleva el voltaje a 400kV.

### **1.2.2. Transmisión.**

Por las líneas de transmisión, de la subestación elevadora (ubicada a la salida de la etapa de generación) se transmite a un rango de extra alta tensión preferente de 400kV hasta otra subestación que la reduce a una alta tensión preferente de 69kV ó 115kV (de acuerdo a la relación de transformación) continuando su transporte a la siguiente etapa.

En este mismo contexto, a septiembre de 2009, se tenían 49,051 kilómetros de líneas de transmisión en la República Mexicana.

### **1.2.3. Distribución y consumo.**

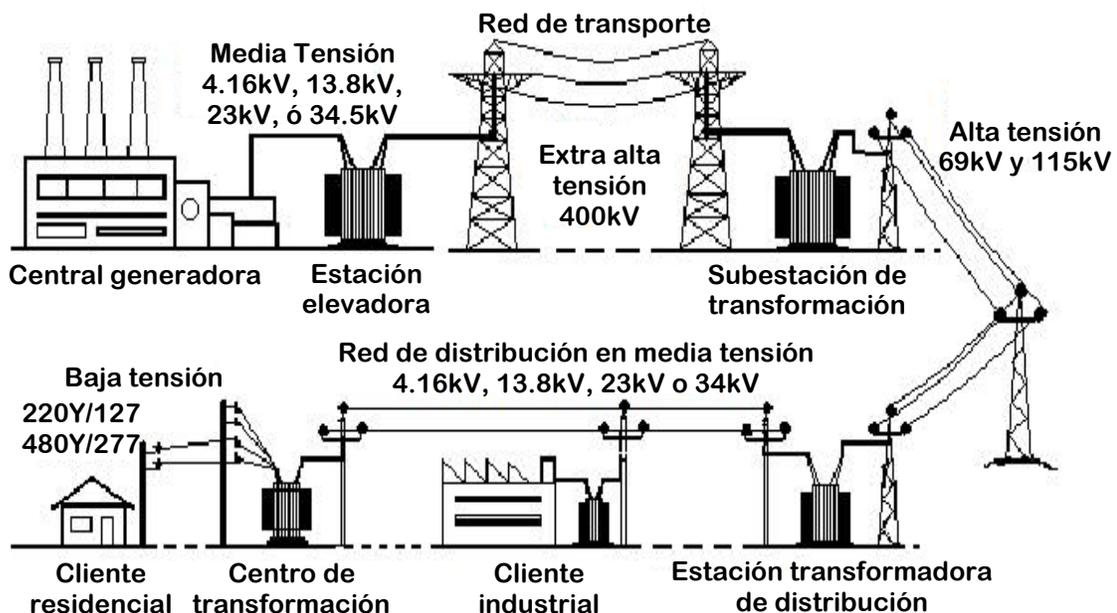
En este punto la energía la recibe la subestación de distribución donde la vuelve a reducir a un nivel de baja tensión preferente, donde es distribuida ya sea a un cliente industrial ó a un transformador de distribución para un reparto y consumo de uso residencial en dos niveles de baja tensión preferentes 220Y/127 ó 480Y/277 volts en todo el territorio de los Estados Unidos Mexicanos.

La extra alta y alta tensión se utilizan porque las distancias entre la planta generadora y el consumidor son grandes, hay menos pérdida cuando se transmite en ésta modalidad, facilita el transporte de energía en los conductores eléctricos, la corriente

que circula es menor y dependiendo de la demanda de energía es la elevación de tensión.

Las líneas de distribución aéreas son esencialmente cables fabricados de aluminio con alma de acero para que sean más ligeras. De cobre se hacen los conductores en forma de alambre o cable que se utiliza en las instalaciones eléctricas industriales y residenciales preferentemente.

La figura 1.1 muestra los componentes principales del sistema de potencia y del sistema de distribución.



**Figura 1.1** Esquema general de un Sistema Eléctrico de Potencia

## **2. Calidad de la energía.**

La energía eléctrica es un producto intangible que requiere suministrarse dentro de parámetros de calidad y seguridad normalizados. Desgraciadamente, en nuestro país, debido a factores técnicos, ambientales, entre otros, no se tiene un suministro de energía acorde a las necesidades que el escenario actual demanda.

En este contexto debemos agregar el hecho de que el uso de equipos electrónicos origina disturbios que se reflejan en las líneas eléctricas.

### **2.1. Características principales de la red de alimentación**

A partir de octubre de 2009 la Comisión Federal de Electricidad, CFE, se encarga de suministrar el servicio eléctrico a todo el país en un 94.70%, lo demás es distribuido por productores independientes de energía, PIE.

En la Ciudad de México como en los estados de la República Mexicana la CFE, se adhiere a ciertos límites de tensión y frecuencia. Estos límites vienen establecidos en la norma mexicana NMX-J-098-ANCE-1999 para sistemas eléctricos de corriente alterna a una frecuencia de 60 hertz o ciclos por segundo, los cuales se muestran en la tabla 1 para diferentes niveles de tensión.

La frecuencia raramente estará fuera de  $\pm 0.1$  Hz, la cual se cumple para todo el territorio nacional.

Clasificación	Tensión eléctrica nominal del sistema (1) V			Tensión eléctrica de servicio V		Tensión eléctrica nominal de utilización V (3)
	1 fase 3 hilos	3 fases 3 hilos	3 fase 4 hilos	máximo	mínimo	
Baja tensión	<u>120/240</u> ... ... ...	... ... ... 480	... <u>220 Y/127</u> <u>480 Y/277</u> ...	126/252 231/133.3 504/291 504	108/216 198/114.3 432/249.4 432	<u>115/230</u> <u>220 Y/127</u> <u>460 Y/265</u> 460
Media tensión		2 400 <u>4 160</u> ... <u>13 800</u> ... <u>23 000</u> ... <u>34 500</u> ...	... (2) ... ... ... <u>800 Y/7 970</u> ... <u>23 000 Y/13 280</u> ... <u>34 000/19 920</u>	2 520 4 368 7 245 14 490 14 490/8 366 24 150 24 150/13 943 36 225 36 225/20 915	2 160 3 744 6 210 12 420 12 420/7 171 20 700 20 700/11 951 31 050 31 050/17 927	2 300 <u>4 000</u> 6 600 <u>13 200</u>
Alta tensión		<u>69 000</u> 85 000 <u>115 000</u> 138 000 161 000 <u>230 000</u>		72 450 89 250 120 750 144 900 169 050 241 500	62 100 76 500 103 500 124 200 144 900 207 000	
Extra alta tensión		<u>400 000</u>		420 000	360 000	
<p>NOTAS</p> <p>1 En esta tabla se muestran las tensiones congeladas que están en uso actualmente, por que la tendencia es su desaparición (ver Apéndice A)</p> <p>2 El valor máximo y mínimo de la tensión eléctrica de servicio se obtiene aplicando la tolerancia de +5% y -10% al valor de la tensión eléctrica nominal del sistema.</p> <p>3 La tolerancia de +5% y -10% para obtener la tensión eléctrica de servicio, es recomendada, ya que permite disminuir la diferencia entre las bandas de tensión eléctrica (por ejemplo 120 V vs. 127 V), sin embargo prevalece la establecida en el Reglamento de la ley de Servicio Público de la Energía Eléctrica.</p> <p>4 Los niveles aquí establecidos y sus tolerancias sólo aplican para niveles de tensión eléctrica sostenidos y no para fallas momentáneas que puedan resultar de causas tales como operación de maniobra, corrientes de arranque de motores o cualquier otra condición transitoria.</p> <p>(1) Las tensiones nominales preferentes son las que se presentan subrayadas, el resto son tensiones restringidas.</p> <p>(2) Tensión eléctrica nominal de distribución subterránea en media tensión.</p> <p>(3) La tolerancia de la tensión eléctrica nominal de utilización está en función eléctrica máxima y de servicio y de la caída máxima permisible en la instalación del usuario.</p>						

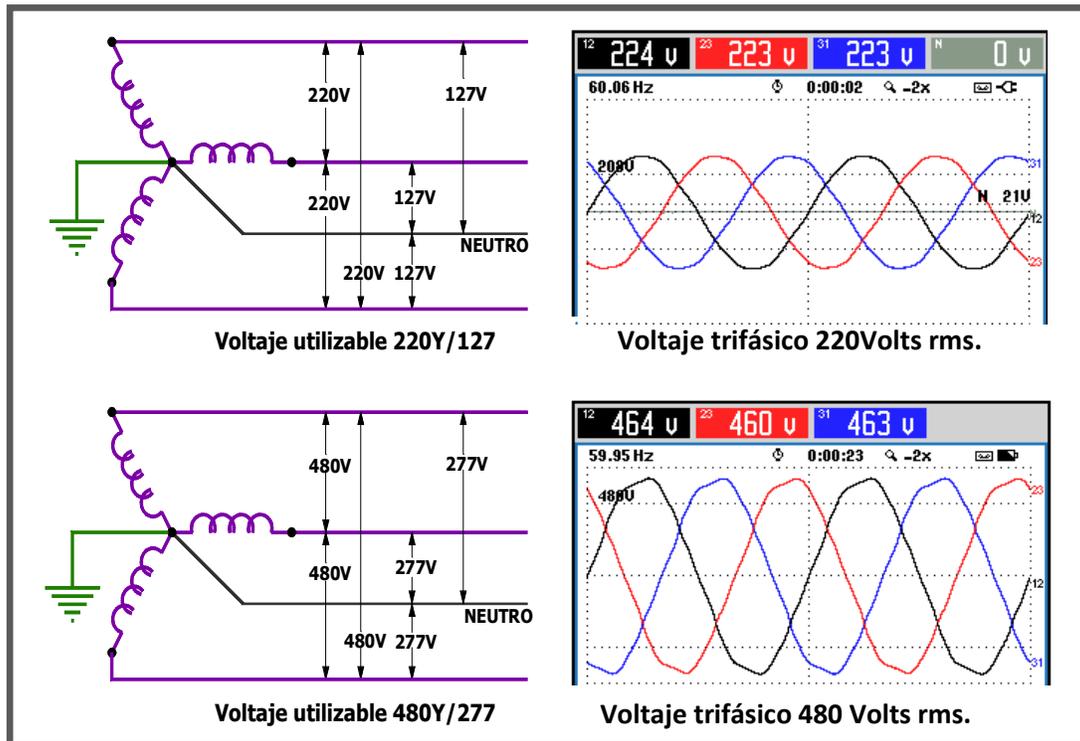
**TABLA 1.** Tensiones eléctricas normalizadas en México.

Las tensiones nominales de distribución más ampliamente utilizados son de tres fases y neutro 220Y/127V (o cuatro hilos) y el de tres fases y neutro 480Y/277V (o cuatro hilos). Se hace un resumen de sus límites de tolerancia para ambos sistemas en la tabla 2.

Tensión eléctrica nominal del sistema (Volts)	Tensión eléctrica de servicio (Volts)		Tensión eléctrica nominal de utilización (Volts)
	máximo +5%	mínimo -10%	
3 fases 4 hilos	231/133.3	198/114.3	208 Y/120
220 Y/127	231/133.3	198/114.3	208 Y/120
480 Y/277	504/291	432/249.4	460 Y/265

**TABLA 2.** Voltajes nominales más usuales en México en baja tensión.

En la figura 1.2 se muestra el arreglo que debe existir en el devanado secundario del transformador de las subestaciones, para disponer de las tensiones de distribución anteriores.



**Figura 1.2** Conexión del devanado secundario de un transformador de distribución.

## 2.2. La importancia de la energía eléctrica.

El uso de la electricidad no es exclusivo de las grandes ciudades pero es aquí donde más se utiliza. Son pocos los procesos que no dependen de la energía eléctrica. En el

hogar, la oficina, la industria, los hospitales, los laboratorios, la diversión, el comercio, en la construcción y demás actividades se usa la electricidad para transformarla en otro tipo de energía y así satisfacer una necesidad a través de un equipo eléctrico ó electrónico.

De ésta manera su uso puede ser voluntario o involuntario y su necesidad es tan indispensable en todos los rubros por igual como para la permanencia de la vida en un quirófano. La falta de ella, entonces, repercute en resultados negativos que perjudican y se refleja en pérdidas cuantiosas.

### **2.3. Problemas eléctricos.**

Ya que tenemos la electricidad a punto, es decir en nuestro tablero de distribución de la industria, edificio o residencia, esta debe ser de buena calidad para utilizarla. La **calidad de energía** hoy en día significa tener los parámetros eléctricos adecuados en tensión, corriente y frecuencia previamente establecidos y contar de forma ininterrumpida con ella.

Si la tensión que llega a la etapa de consumo varía constantemente en su banda de tolerancia, se sale de los parámetros en tiempos repentinos o demasiado prolongados, ó si hay cortes de energía, podemos decir que la calidad de la energía es baja o deficiente.

Estos son sólo algunos de los disturbios que podemos encontrar en los sistemas de distribución. Para comprender de una forma más clara el origen, manifestación y solución de estos problemas, se expone a detalle los factores que dañan las cargas y corrompen datos almacenados en una red de cómputo, por citar un ejemplo.

- ◆ **Falla o Corte de Energía** (Power Failure). Es la pérdida total del suministro primario de energía eléctrica de una duración breve de tiempo ó demasiado prolongados. En la figura 2.1 se muestra el disturbio.

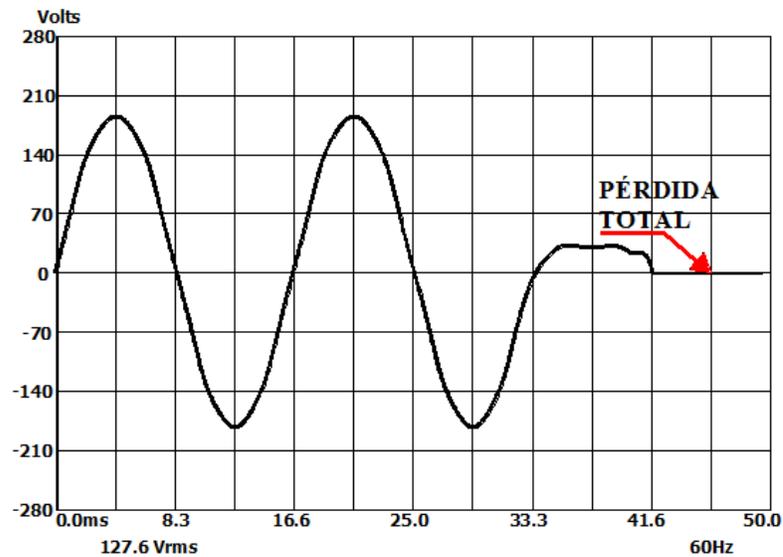


Figura 2.1 Pérdida de tensión de la fuente principal.

- ◆ **Energía Baja (Power Sag).** Es un periodo corto donde el voltaje nominal baja más allá de sus límites permitidos. Su duración es de medio ciclo hasta unos segundos. Ver la figura 2.2.

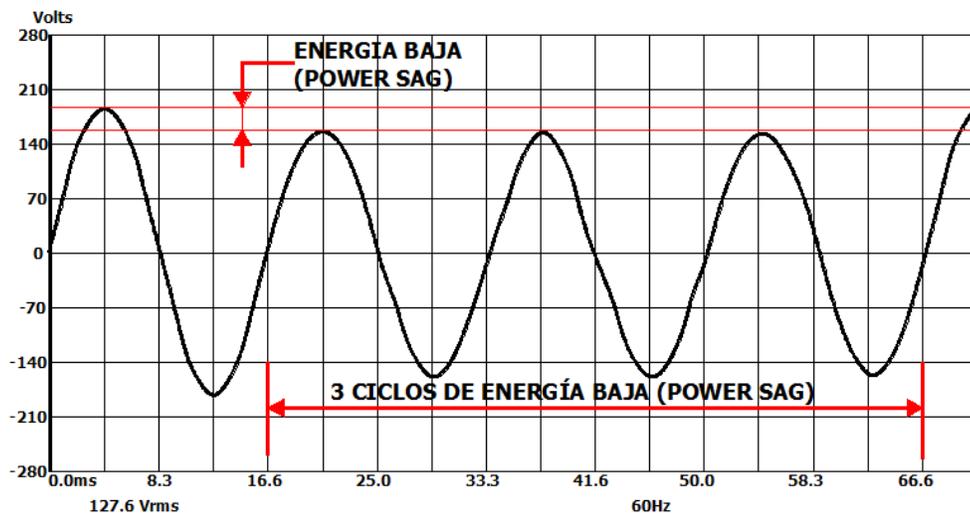
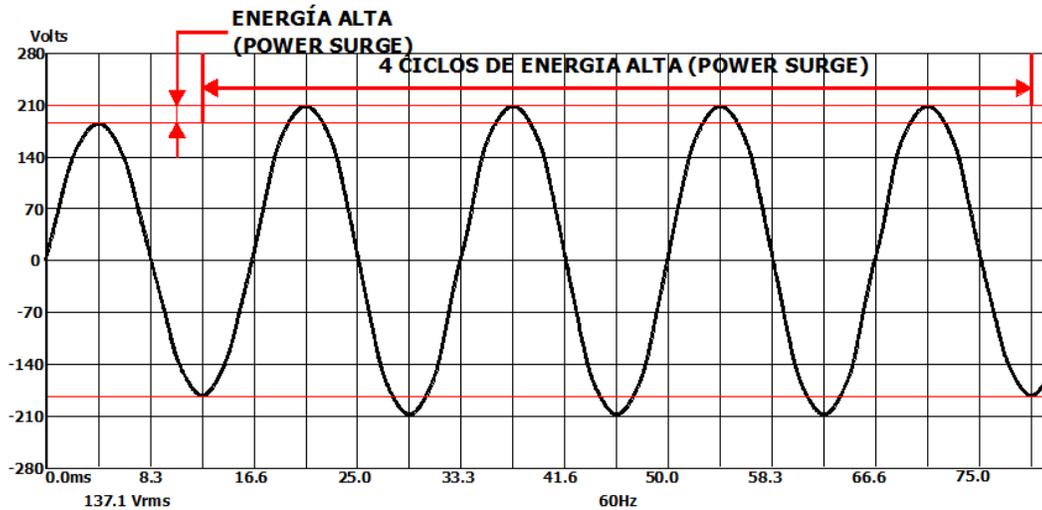


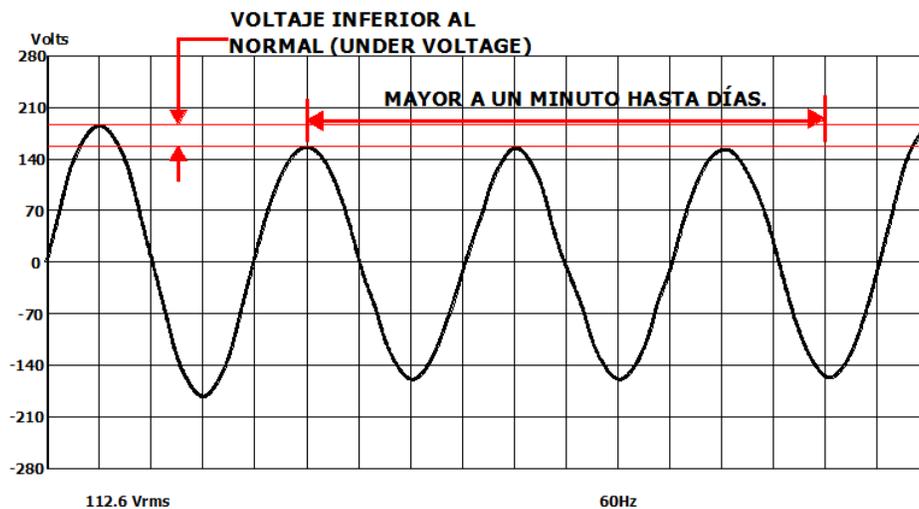
Figura 2.2 Tensión baja de la fuente principal.

- ◆ **Energía alta (Power Surge).** Es un período corto donde el voltaje nominal sube más allá de sus límites permitidos en un 105%. Su duración es de medio ciclo hasta unos segundos. En la figura 2.3 se observa con más detalle el disturbio.



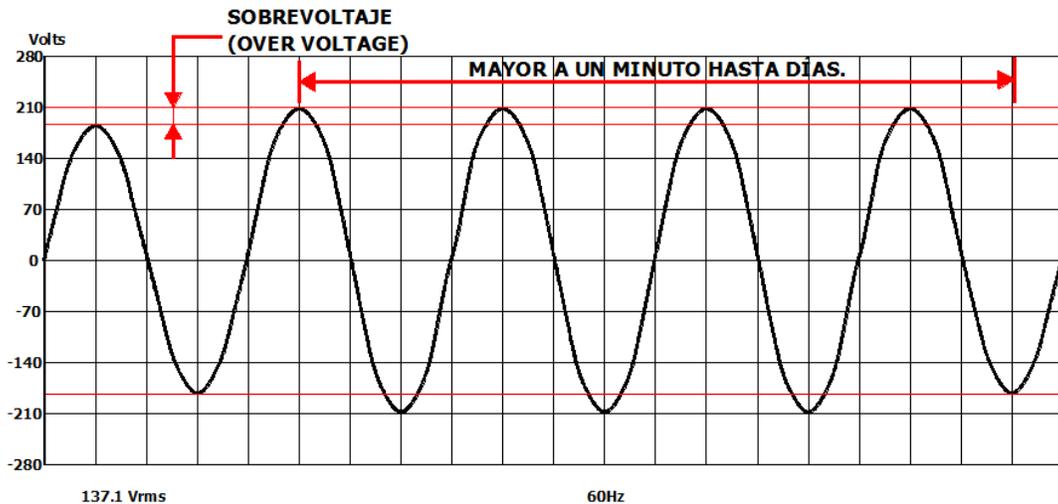
**Figura 2.3** Registro que ilustra la bajada y subida de tensión por un corto tiempo.

- ◆ **Voltaje Inferior al Normal (Under Voltage).** El voltaje de la línea está reducido por un período de tiempo extendido de unos minutos hasta días, ver la figura 2.4.



**Figura 2.4** Tensión inferior al normal por minutos hasta días.

- ◆ **Voltaje Excesivo o Sobrevoltaje (Over Voltage).** Incremento en el voltaje permitido por períodos de tiempo extendidos de unos minutos hasta días, se muestra el disturbio en la figura 2.5.



**Figura 2.5** Tensión elevada por periodos extendidos.

- ◆ **Ruido en la Línea (Line Noise).** Alta frecuencia en la forma de onda causada por interferencia RFI o EMI. Interferencia de radiofrecuencia (RFI) ó interferencia electromagnética (EMI), pueden considerarse como sinónimos, básicamente son causados por equipos electrónicos de potencia e inductivos como los motores usados en aire acondicionado y refrigeración, ventiladores, los switches estáticos que contienen dispositivos como los rectificadores de silicio controlado (SCR) o IGBT. Los fenómenos naturales como las tormentas eléctricas también generan interferencia, la cual puede pasar a las líneas de transmisión, de ahí a la acometida y después a la instalación eléctrica de la casa o edificio, para finalmente llegar a la carga o equipo del usuario. Antenas de comunicación y equipos de radiocomunicación también emiten ondas RFI. Sin embargo, así como hay equipos que generan interferencia, también hay equipos que son susceptibles a la interferencia, por lo tanto, debe haber un equilibrio o compatibilidad entre los equipos que se encuentran conectados a la misma instalación eléctrica. Todo depende del grado de susceptibilidad del primero respecto a la generación de ondas electromagnéticas del segundo. En la figura 2.6 se muestra las diferentes formas que puede tener una interferencia.

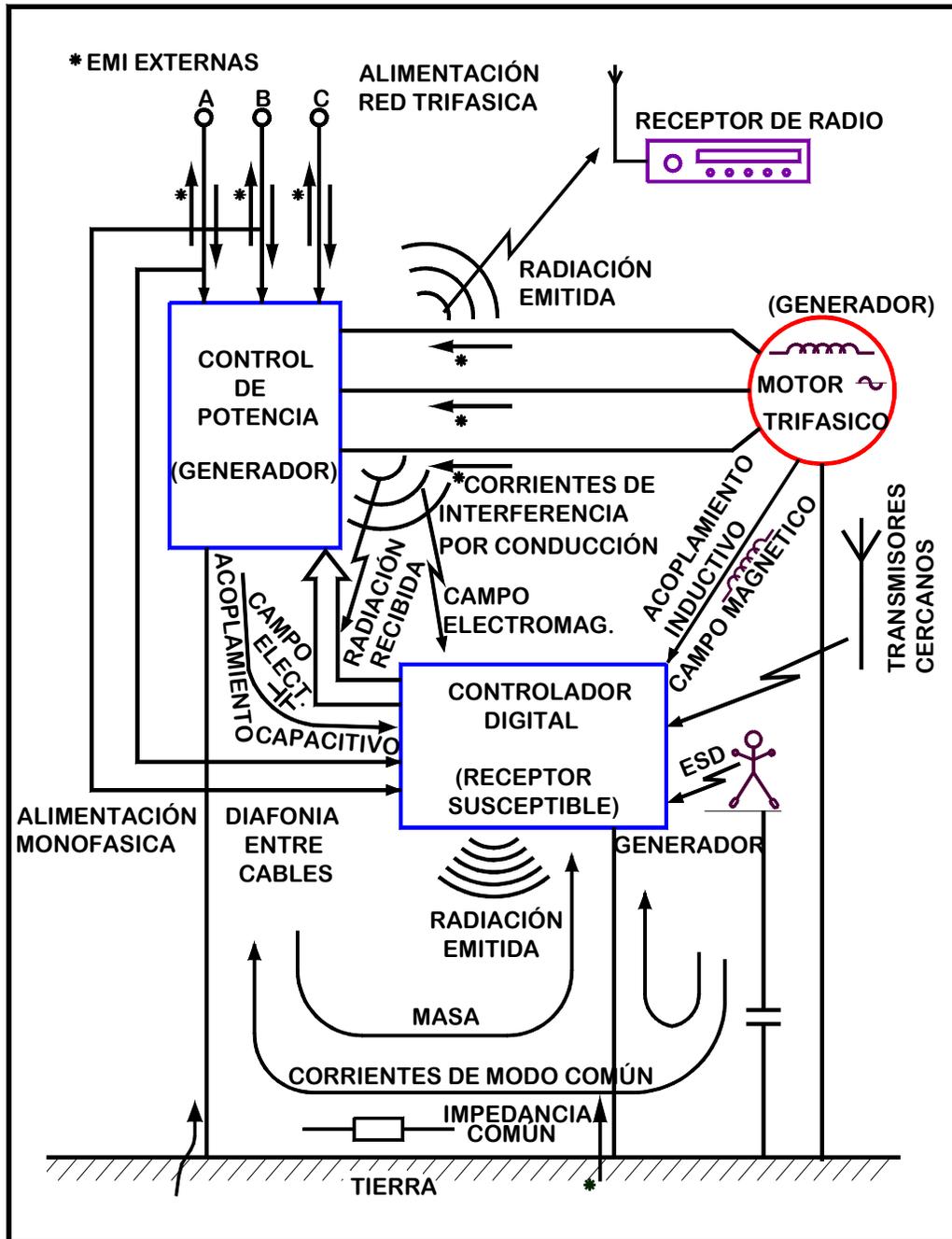


Figura 2.6 Imagen que muestra las diferentes formas que puede tener una interferencia.

- ◆ **Variación en la Frecuencia** (Frequency Variation). Es un cambio en la estabilidad de la frecuencia de 60Hz constantes. Normalmente se mantiene estable y rara vez varía más allá de  $\pm 0.1 \text{ Hz}$ , como lo notamos en la figura 2.7.

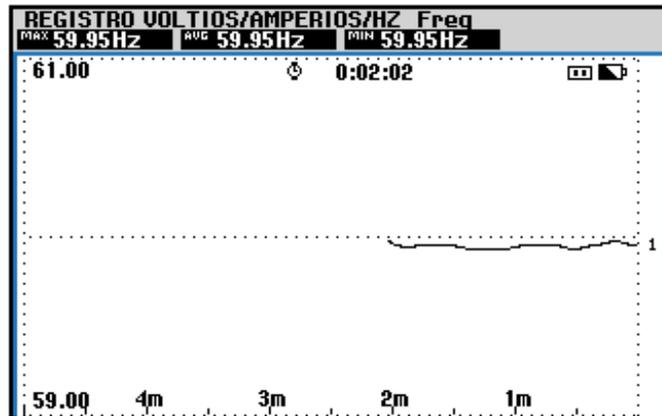


Figura 2.7 Grafico que ilustra la poca o nula variación de la frecuencia.

- ◆ **Transitorios** (Switching Transient or Transient Voltage). Voltaje destinado a no perdurar mucho tiempo. Es un voltaje súbito o corte de energía instantáneo, en el rango de nanosegundos en la forma de onda senoidal que la hace discontinua, este puede ser de una u otra polaridad, aditiva o sustractiva. Los transitorios ocurren cuando hay un cambio súbito en el voltaje o corriente en el sistema eléctrico de potencia. Las características que lo definen son amplitud pico ó máxima, tiempo de subida y bajada que duró el transitorio y la frecuencia de oscilación. Se muestra en la figura 2.8 el problema eléctrico.

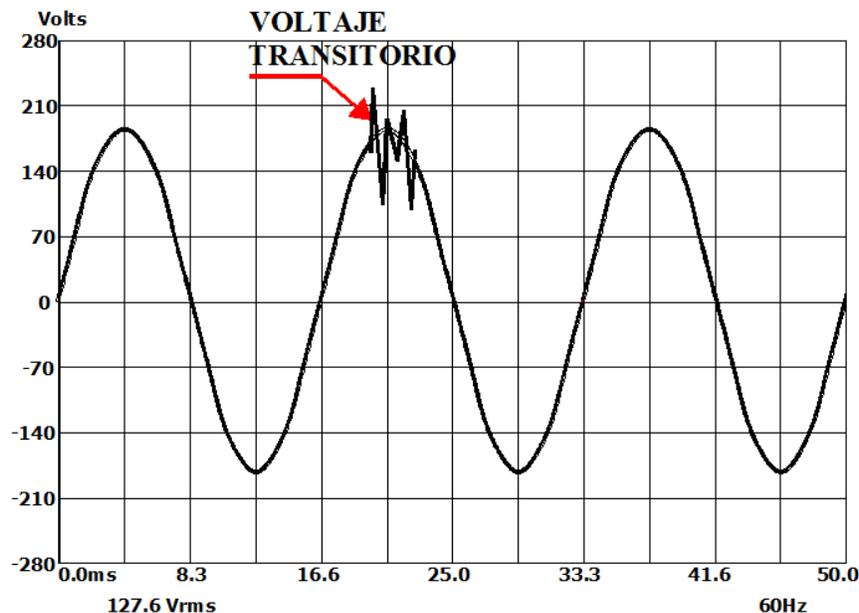
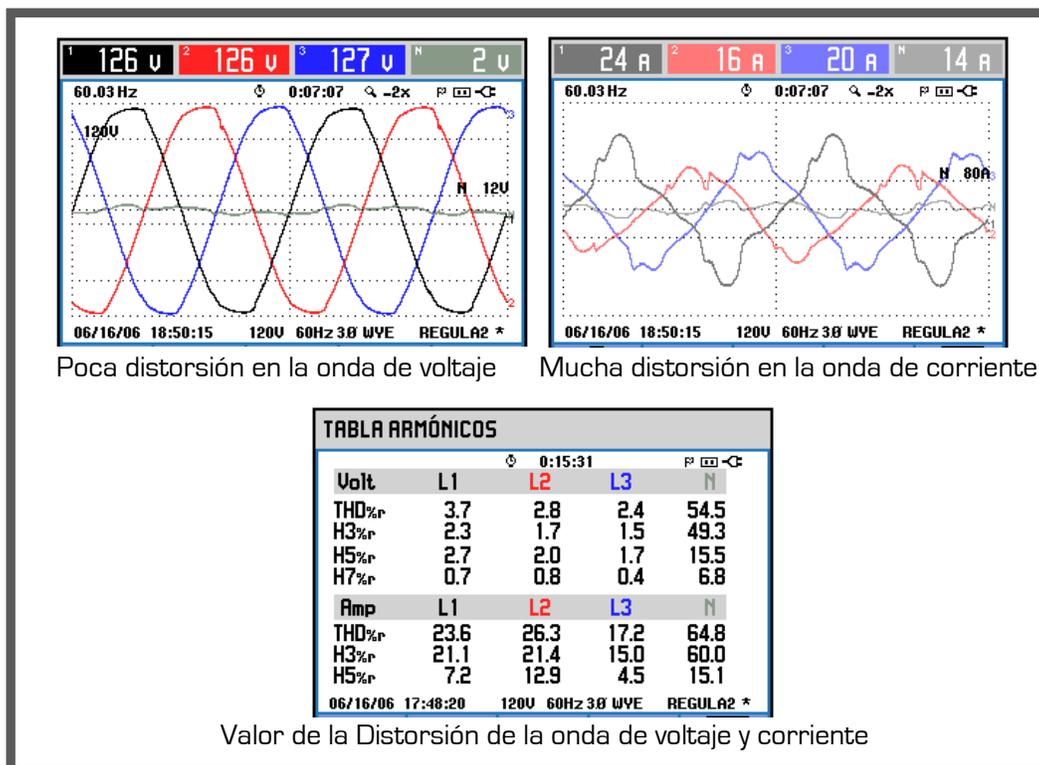


Figura 2.8 Imagen que muestra transitorios de voltaje.

- ◆ **Distorsión Armónica** (Harmonic Distorsion). Su representación cuantitativa indica la deformación de la onda de tensión o corriente respecto a una onda senoidal pura. Y quiere decir que uno o todos los circuitos de una instalación eléctrica están contaminados con ondas senoidales de menor amplitud pero de una frecuencia mayor, llámese armónicas, a la de la fundamental y sumadas a la onda senoidal del suministro la distorsionan. Cada armónica se expresa en términos de su orden. Una armónica de orden 5 tiene una frecuencia 5 veces superior a la fundamental de 60Hz, es decir tiene  $5 \times 60 = 300\text{Hz}$ . La figura 2.9 es un claro ejemplo de la distorsión que puede existir en la onda de voltaje y corriente.



**Figura 2.9** Distorsión armónica de la onda de voltaje y de corriente.

Existe también una norma que regula la distorsión armónica dentro de un circuito eléctrico. En México está la especificación CFE L0000-45 denominada "Perturbaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente del suministro de energía

eléctrica”. En la figura 2.10 se observa los límites de distorsión que puede tener la onda de voltaje.

**CFE L0000-45**

<b>Límites de Distorsión Armónica en Voltaje en % del voltaje nominal</b>		
<b>Nivel de tensión en la acometida (<math>V_n</math>)</b>	<b>Distorsión armónica individual</b>	<b>Distorsión armónica total THD <math>V_n</math></b>
$V_n \leq 1\text{kV}$	5.0%	8.0%
$1 < V_n \leq 6\text{kV}$	3.0%	5.0%
$69\text{kV} < V_n \leq 138\text{kV}$	1.5%	2.5%
$V_n > 138\text{kV}$	1.0%	1.5%

$$\text{THD}_{V_n} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_n} \times 100\%$$

donde:

- $V_h$ : Magnitud de la componente armónica individual
- $h$ : Orden armónico
- $V_n$ : Voltaje nominal fundamental del sistema

**Figura 2.10** Límites de Distorsión Armónica en Voltaje.

En la figura 2.11 se muestra los límites de distorsión permitidos que puede tener la onda de corriente.

**CFE L0000-45**

**Limites de la distorsión armónica en corriente en la acometida**

$I_{cc}/I_L$	TDD	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$
$V_n \leq 69 \text{Kv}$						
$I_{cc}/I_L < 20$	5.0%	4.0%	2.0%	1.5%	0.6%	0.3%
$20 < I_{cc}/I_L < 50$	6.0%	7.0%	3.5%	2.5%	1.0%	0.5%
$50 < I_{cc}/I_L < 100$	12.0%	10.0%	4.5%	4.0%	1.5%	0.7%
$100 < I_{cc}/I_L < 1000$	15.0%	12.0%	5.5%	5.0%	2.0%	1.0%
$I_{cc}/I_L \geq 1000$	20.0%	15.0%	7.0%	6.0%	2.5%	1.4%
$69 \text{ kV} < V_n \leq 161 \text{ kV}$						
$I_{cc}/I_L < 20$	2.5%	2.0%	1.0%	0.75%	0.3%	0.15%
$20 \leq I_{cc}/I_L < 50$	4.0%	3.5%	1.75%	1.25%	0.5%	0.25%
$50 \leq I_{cc}/I_L < 100$	6.0%	5.0%	2.25%	2.0%	0.75%	0.35%
$100 \leq I_{cc}/I_L < 1000$	7.5%	6.0%	2.75%	2.5%	1.0%	0.5%
$I_{cc}/I_L \geq 1000$	10.0%	7.5%	3.5%	3.0%	1.25%	0.7%
$V_n > 161 \text{Kv}$						
$I_{cc}/I_L < 50$	2.5%	2.0%	1.0%	0.75%	0.3%	0.15%
$I_{cc}/I_L \geq 50$	3.75%	3.0%	1.5%	1.15%	0.45%	0.22%

- ◆ Para las armónicas pares, los límites son el 25% de los valores especificados en la tabla
- ◆ Los límites deben ser usados como el caso más favorable de operación normal. Para arranque de hornos eléctricos de arco, que toman un tiempo máximo de un minuto, se permite exceder los límites en 50%.
- ◆ No se permiten corrientes de carga con componentes de corriente directa.  
La distorsión de demanda total TDD está definida como:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100\%$$

Donde:

- $I_h$ : Magnitud de la armónica individual
- $I_L$ : Demanda máxima de la corriente fundamental de la carga
- $h$ : Orden armónico impar

**Figura 2.11.** Limites de Distorsión Armónica en Corriente.

Dos son los parámetros principales que se pueden medir a través de un analizador de energía:

THD%i: Distorsión armónico de corriente total. Es en porcentaje (%) la distorsión armónica de corriente de la demanda máxima de la corriente de carga.

THD%v: Distorsión armónico de voltaje total. Es en porcentaje (%) la distorsión de voltaje armónico del voltaje nominal.

H, h : Orden armónico.

## 2.4. Otros parámetros medibles

- ♦ **Sobrecorrientes.** Es aquella corriente eléctrica mayor a la nominal a la que soporta un equipo eléctrico ó conductor y que puede presentarse en un circuito eléctrico. Causadas por sobrecarga, cortocircuito y falla a tierra, la definición es la siguiente:

Sobrecarga: es el incremento de la corriente en un circuito eléctrico que alimenta a uno o varios equipos por la demanda de los mismos, manteniéndose constante, subdimensionando los conductores, dando lugar al calentamiento de los mismos. La figura 2.12 muestra un caso de sobrecarga.

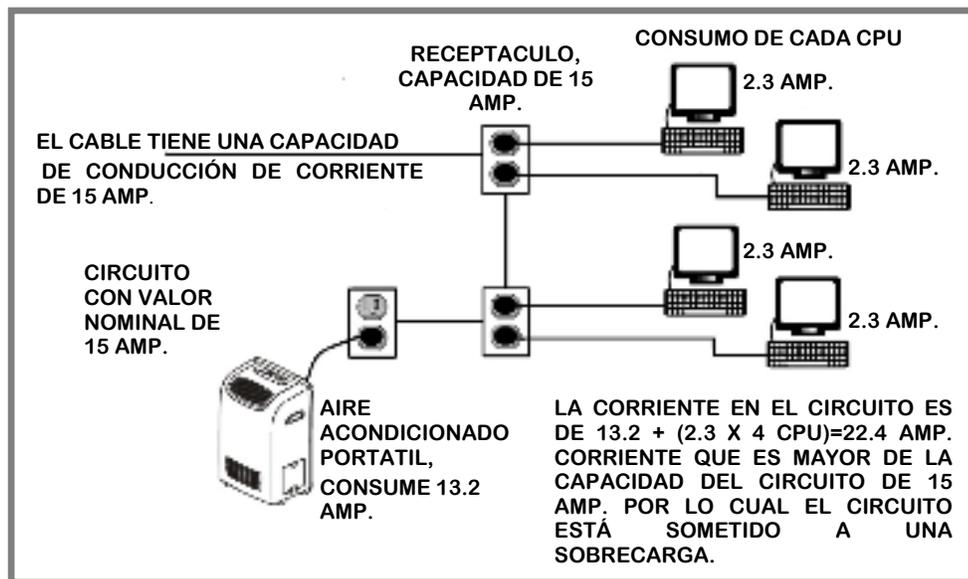
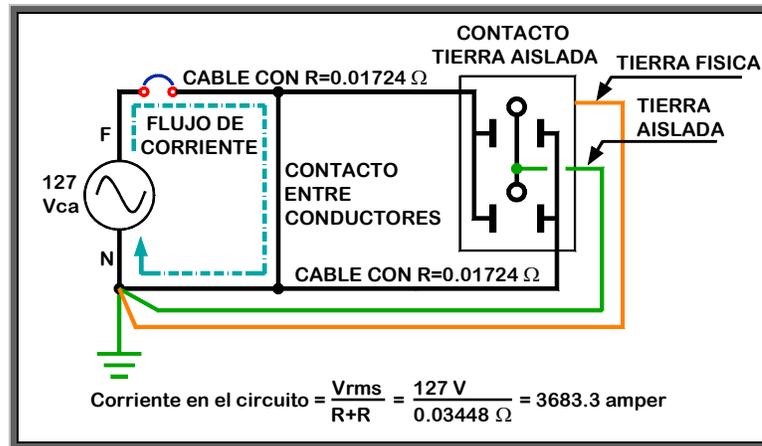


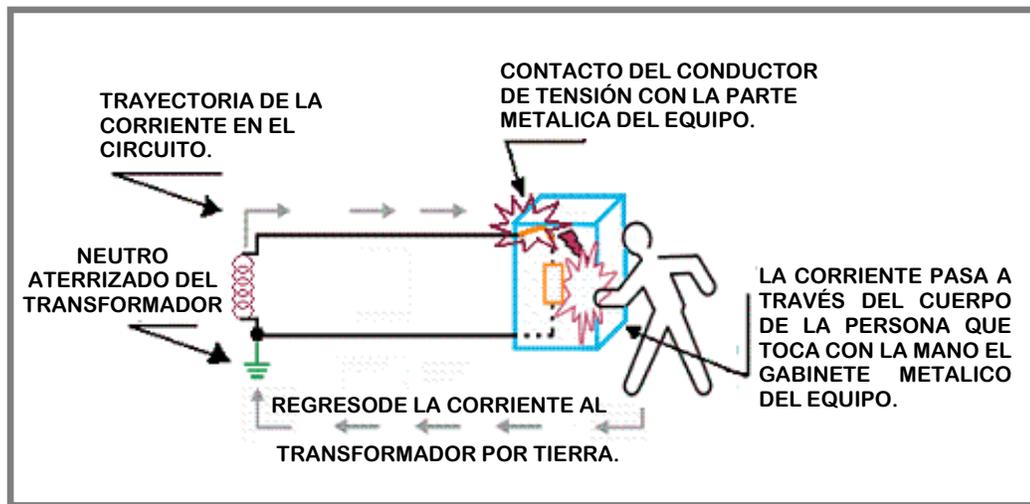
Figura 2.12 Sobrecarga de un circuito eléctrico.

Cortocircuito: se debe de entender como el contacto de dos o más conductores de un circuito, lo cual origina una corriente alta instantánea no controlada, la figura 2.13 se da a notar con detalle un cortocircuito.



**Figura 2,13** Cortocircuito entre el cableado línea y neutro.

Fallas a tierra: se dice del contacto entre un conductor con tensión eléctrica y una parte metálica de un equipo, la cual no está diseñada para conducir corriente en condiciones normales. Esto es provocado por una falla de aislamiento entre la parte metálica y el conductor con tensión. Este tipo de fallas pueden ser muy peligrosas, ver la figura 2.14.



**Figura 2.14** Falla a tierra de un equipo eléctrico.

- ◆ **Parpadeo (Flicker):** Es la variación de la tensión de suministro con una duración suficiente que se detecta visualmente por el cambio en la intensidad

de una fuente de luz. El cual afecta a la vista. Su forma cuantitativa puede expresarse como:

$$f = \frac{\text{Tensión de incremento} - \text{Tensión de caída}}{\text{Tensión de suministro}} \times 100\%$$

Por ejemplo si hay un suministro de 127Vca y se incrementa a 131Vca, entonces cae hasta 122Vca:

$$f = \frac{131 - 122}{127} \times 100\% = 7.08\%$$

El parpadeo ó flicker es de  $f=7.08\%$ .

- ♦ **Corriente de magnetización (Inrush):** Corriente demasiado grande que demanda un equipo eléctrico cuando inicialmente se enciende para luego estabilizarse y su duración es de microsegundos. Usualmente este incremento es de 4 a 7 veces la corriente nominal como se muestra en la figura 2.15. Se presenta principalmente en cargas de tipo inductiva como los motores, impresoras, etc.

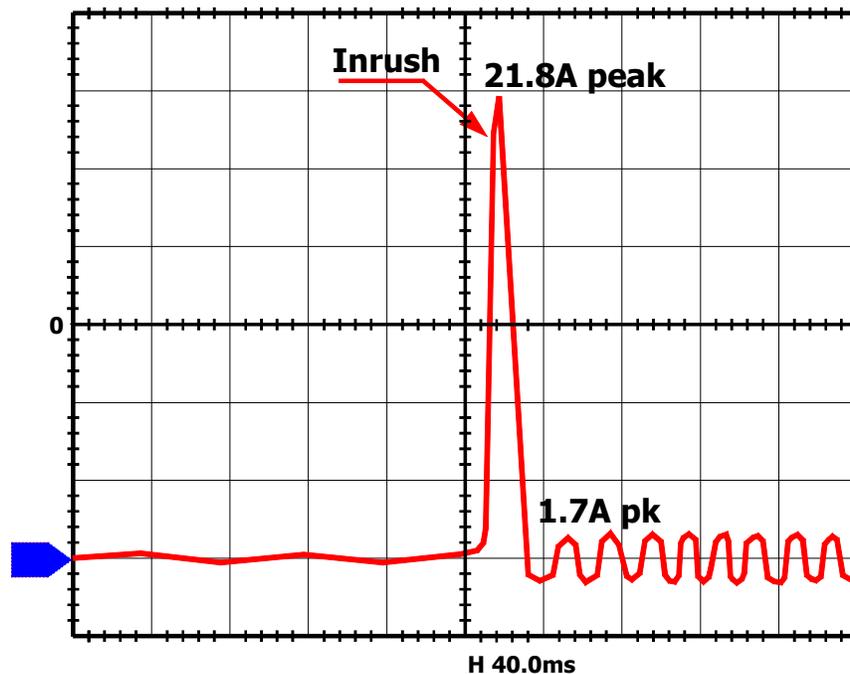


Figura 2.15 Registro de una corriente de magnetización, Inrush.

Una vez definidos los disturbios que afectan la calidad en el suministro de energía, procedo a describir las características de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI), que se sustituye como una solución a los fenómenos que impactan la calidad del servicio.

### **3. Los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida, SAI.**

Un **sistema de alimentación ininterrumpida, SAI**, corrige (regula) ó ajusta desviaciones del voltaje nominal, manteniendo fijo el nivel de voltaje a la salida; amortigua ó aísla la carga de la línea, eliminando ruido y transitorios; permite el suministro de energía eléctrica sin interrupción cuando falla la línea principal, proporcionando electricidad a través de un banco de baterías por un tiempo específico hacia la carga crítica.

Este tiempo adicional limitado de suministro de energía se usa principalmente para finalizar un trabajo en proceso y al término apagar el equipo o varios en forma adecuada y escalonada; evitándolo de forma repentina que los dañaría irreparablemente.

También sirve para mantener durante un período de tiempo suficiente las cargas hasta permitir el arranque y puesta en servicio de grupos de emergencia que tardan uno o dos minutos en el proceso de puesta en marcha.

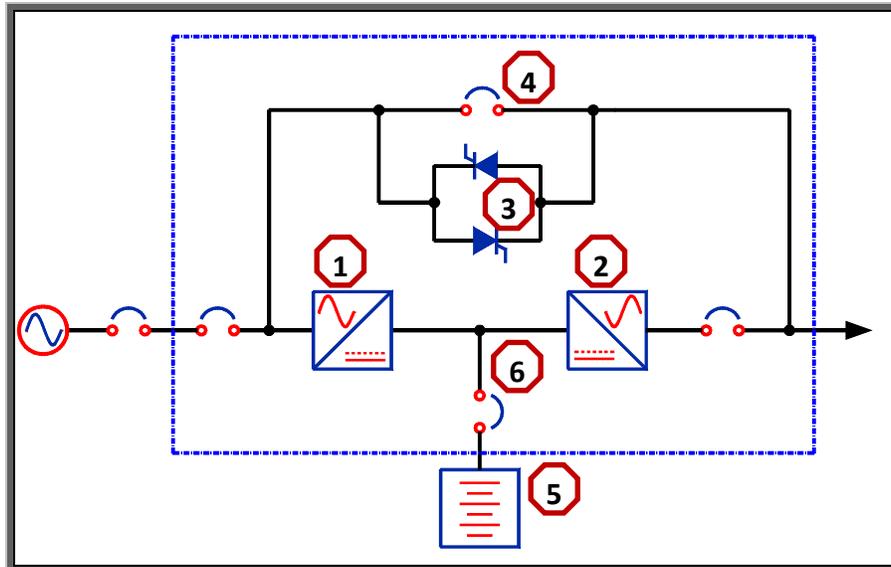
#### **3.1. Secciones que forman el SAI.**

Los SAI están hechos de un conjunto de dispositivos electrónicos, montados en una ó varias tarjetas (PCB) e interconectados por líneas planas fijas de cobre de diferente grosor y longitud; intercomunicadas por un bus ó varios que permiten distribuir datos o corrientes de alimentación.

#### **3.2. Diagrama unifilar de un SAI.**

Un SAI se compone de un rectificador, un inversor, banco de baterías y bypass, en su forma más básica.

En la figura 3.1 se muestra un diagrama unifilar de un SAI en el que se enumeran las etapas que lo constituyen.



**Figura 3.1** Diagrama unifilar de un SAI con sus componente principales

A continuación se describe a detalle cada una de ellas:

- 1. La etapa de potencia rectificadora/cargadora.** Formado por semiconductores de potencia, SCR ó IGBT, se encarga de convertir el suministro de corriente alterna a uno de corriente directa para proveer de energía al inversor y mantener el voltaje de flotación de las baterías.
- 2. La etapa de potencia inversora.** Constituido por semiconductores IGBT principalmente. Recibe energía de corriente directa de la etapa rectificadora/cargadora ó del banco de baterías y la *convierte* a una de corriente alterna con una calidad fija y estable la cual es la salida hacia la carga.
- 3. La etapa del Interruptor estático.** Integrado por dos SCR ó transistores conectados en paralelo inverso por fase lo forman. Es extremadamente rápido, operando en un tiempo inferior a  $5\mu s$ . Hace la transferencia de la trayectoria rectificador-inversor a bypass; para esto, la frecuencia de la tensión de salida de ambas trayectorias debe estar permanentemente sincronizada; cuando sucede esto, la etapa de control empata simultáneamente los niveles de voltaje sin afectar la operación de las cargas críticas.

4. **La etapa de bypass.** Interruptor electromecánico. Es rápido, cierra en forma automática de 5 a 10 ms después que la carga ha sido transferida de la línea *rectificador-inversor* a la línea por el *interruptor estático*, sustituyéndolo permanentemente.
5. **Baterías de respaldo.** Cargadas de energía de corriente directa del rectificador/cargador, son capaces de acumularla y guardarla; liberándola para alimentar el inversor cuando se requiera.
6. **Barras colectoras de corriente directa.** Es un bus de corriente directa que interconecta los bornes ó zapatas mecánicas del rectificador al inversor a su vez con la batería.
7. **La etapa de control.** Su principal componente es un microcontrolador ó microprocesador que gobierna todo el sistema. Verifica la presencia y secuencia de fases para un arranque correcto; monitorea los diferentes niveles de tensión y corriente en forma de entradas analógicas. Envía en forma secuencial los niveles lógicos positivos a los SCR's e IGBT para activarlos ya sea al rectificador, inversor o interruptor estático.
8. **Panel de control, operación y monitoreo.** Constituido por una pantalla de LCD, botones e indicadores luminosos (LEDs). Muestra de forma amigable el estado del SAI en cada una de las etapas, permitiendo privilegios esenciales y limitados para el técnico calificado ó usuario común. Indica los valores rms de corriente y voltaje fase a fase, fase a neutro, VCD; potencia aparente, VA; potencia activa, W. Y advierte de alarmas que se presenten.

Las etapas 7 y 8 normalmente no se muestran en el diagrama unifilar, sin embargo de forma implícita se incluyen.

Un **sistema de alimentación ininterrumpida** por su constitución, es una solución a los problemas de interrupciones y variaciones de energía del suministro principal ya que

**garantiza** una operación continua a los equipos o cargas que están conectados a él. Los equipos que alimenta son delicados o críticos. Estos problemas cuando se presentan en uno o varios circuitos eléctricos degradan y reducen la vida útil de los equipos y causan demasiados problemas al usuario. Equipos que la mayoría son electrónicos y digitales, los cuales tienen integrados a su construcción capacitores, resistencias, transistores y microprocesadores. Una variación fuera de los límites permitidos en el suministro principal, repercutiría en una descompostura, con un costo demasiado alto.

Entonces, **un SAI dependiendo de su tecnología y características de fabricación**, puede proteger y ofrecer hasta nueve soluciones en total para cómputo y otras cargas críticas principalmente:

- ◆ **Falla o Corte de Energía** (Power Failure) de poca duración.
- ◆ **Energía Baja** (Power Sag).
- ◆ **Energía Alta** (Power Surge).
- ◆ **Voltaje Inferior al Normal** (Under Voltage).
- ◆ **Voltaje Excesivo o Sobrevoltaje** (Over Voltage).
- ◆ **Ruido en la Línea** (Line Noise).
- ◆ **Variación en la Frecuencia** (Frequency Variation).
- ◆ **Transitorios** (Switching Transient or Transient Voltage).
- ◆ **Distorsión Armónica** (Harmonic Distorsion).

### **3.3. Tipos de cargas.**

La categoría de cargas que un SAI puede tener en su sistema de suministro eléctrico pueden definirse como sigue:

- ◆ **Crítica o sensible:** por su función o trabajo es principalmente equipo electrónico muy sensible a la variación del voltaje de línea y frecuencia. Que no puede ser interrumpida por más de un cuarto de ciclo (de una  $f=60\text{Hz}$ ) ó 4.16 ms y debe ser alimentada por una onda de voltaje cercana a una senoidal pura. Con esto no sólo se garantiza que trabaje sino que ejecute sus funciones apropiadamente cuando se presenten problemas en el suministro eléctrico.

- ◆ **Esencial ó de emergencia:** de acuerdo a su actividad no puede ser interrumpida por más de 10 segundos. Es una situación seria que sucede inesperadamente y requiere solución inmediata.
- ◆ **No esencial:** puede ser interrumpida por minutos, horas o durante toda la falla de la línea normal hasta su restablecimiento.

Dentro de los usos principales de un SAI, protege las siguientes unidades:

Equipo de cómputo:

- ◆ Laptops: minicomputadora portátil personal.
- ◆ Servidor de cómputo: guarda y da servicio e información electrónica útil e importante.
- ◆ Computadoras de escritorio, CPU: servidor individual que guarda trabajos personales.
- ◆ Monitores: utilizados en videoconferencia entre ciudades, países o ambos.
- ◆ Impresoras de matriz: para la impresión de facturas u órdenes de compra o venta.
- ◆ Modem: equipo que sirve para conectar la línea telefónica con la computadora a internet.
- ◆ Scanner: permite copiar y guardar en un CPU documentos originales en forma de imagen o fotografía para ser transmitidos electrónicamente o tenerlos permanentemente.
- ◆ Plotters: para la impresión de planos en licitaciones públicas o privadas.
- ◆ Impresora laser: sirve para la impresión de documentos contables, comprobaciones fiscales o notarias.
- ◆ Router o enrutadores: hardware que sirve para comunicar una red LAN con otras redes o la internet.

Telefonía:

- ◆ Fax, transmisión telefónica de imágenes ya sea manuscritos, molde o esquemas.

- ◆ PBX ó conmutador, realiza toda la comunicación telefónica en el interior de una empresa.

#### Negocios

- ◆ Cajas registradoras electrónicas.

#### Medicina

- ◆ Monitor de signos vitales.
- ◆ Insuflador electrónico.
- ◆ Desfibrilador electrónico.

#### Otros equipos

- ◆ Sistemas de alarma.
- ◆ Sensores electrónicos.
- ◆ Estudios de grabación.
- ◆ Maquinaria industrial, controladores lógicos programables (PLC).
- ◆ Sistema de control de una central termonuclear.

Estas cargas permiten el funcionamiento de instalaciones complejas como dependencias públicas, aeropuertos, hospitales, fábricas e industrias es sus diferentes ramos como:

Construcción, alimentos, farmacéutica, textil, plástico, electrodomésticos, fragancias y sabores, diseño de sistemas electrónicos, componentes para automóviles, desarrollo de software.

Empresas de investigación de la opinión pública y estudios de mercado, centro de atención de llamadas (call center), centros comerciales, de empeño e instituciones financieras, entre otras.

Y de acuerdo a su ramo cada usuario tiene intereses diferentes y bien definidos, para un ingeniero eléctrico habrá ciertos equipos, como una impresora, por ejemplo, que no

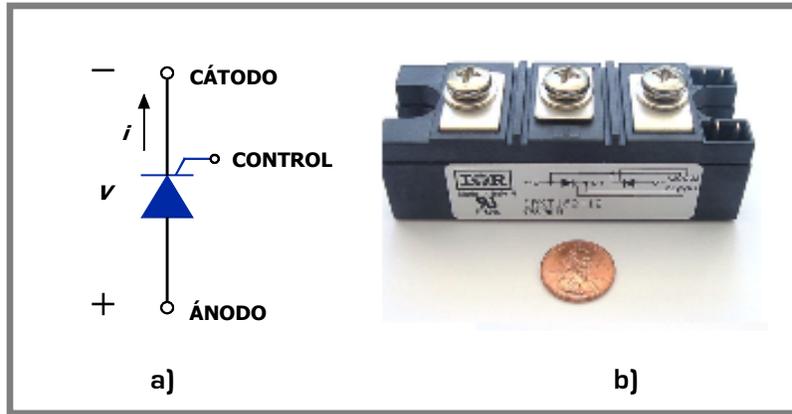
deberían de conectarse a un SAI por no considerarse una carga crítica, sin embargo, **el cliente es quien define** si un elemento es importante dentro de sus actividades principales **lo que le da un carácter crítico a esa carga**. Considerando que hay equipos, como la impresora, que demandan una corriente demasiado alta al encenderse y es recurrente al procesar su trabajo, necesitamos ser cuidadosos al clasificarlos como críticos o no, predeterminado a conectarse o no, aún más, al sugerir la capacidad del SAI para proteger y respaldar dicha carga. No debemos perder de vista que de estos factores depende la capacidad del SAI, así como su costo, lo que tendrá que valorar el cliente en función del costo-beneficio (necesidades y posibilidades). Más adelante mencionaré los cuidados que se deben tomar para obtener la capacidad de un SAI para determinadas cargas.

### **3.4. Operación del Rectificador/Cargador.**

En los SAI el rectificador/cargador desempeña una función dual, de tal forma que en la práctica debe garantizar el suministro de energía y satisfacer la demanda de potencia:

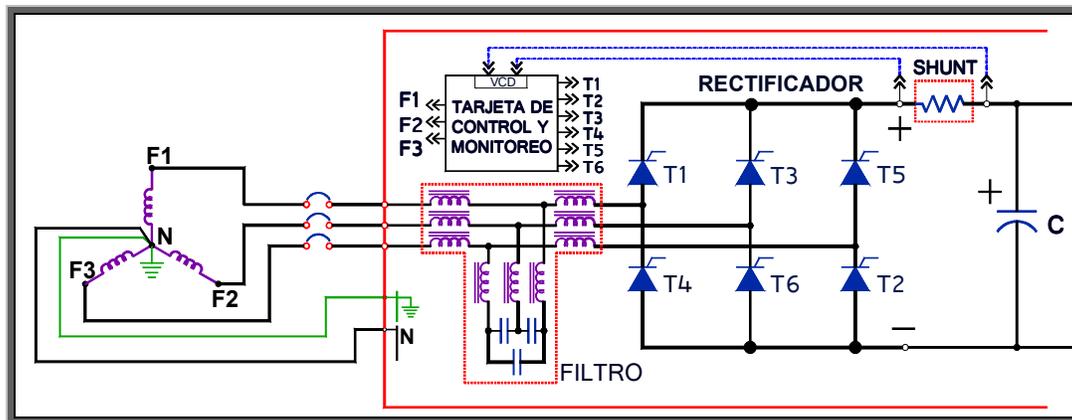
- ◆ Del inversor, debido al alto consumo de corriente alterna que demanda la carga crítica.
- ◆ De las baterías, para:
  - a) Mantenerlas cargadas a su plena capacidad.
  - b) Recargarlas en el menor tiempo posible después de una descarga súbita y alta de corriente.

Un rectificador está formado por semiconductores de potencia llamados rectificadores de silicio controlado o SCR como el que se muestra en la figura 3.2. Tiene tres terminales ánodo, cátodo y control. Conducen altas corrientes del ánodo hacia el cátodo, para esto el pin de control sirve para activar al SCR, cuando recibe una señal o voltaje lógico positivo de un microprocesador o microcontrolador, en ese momento se activa. En corriente alterna (c.a.) sólo conducen en el semiciclo positivo.



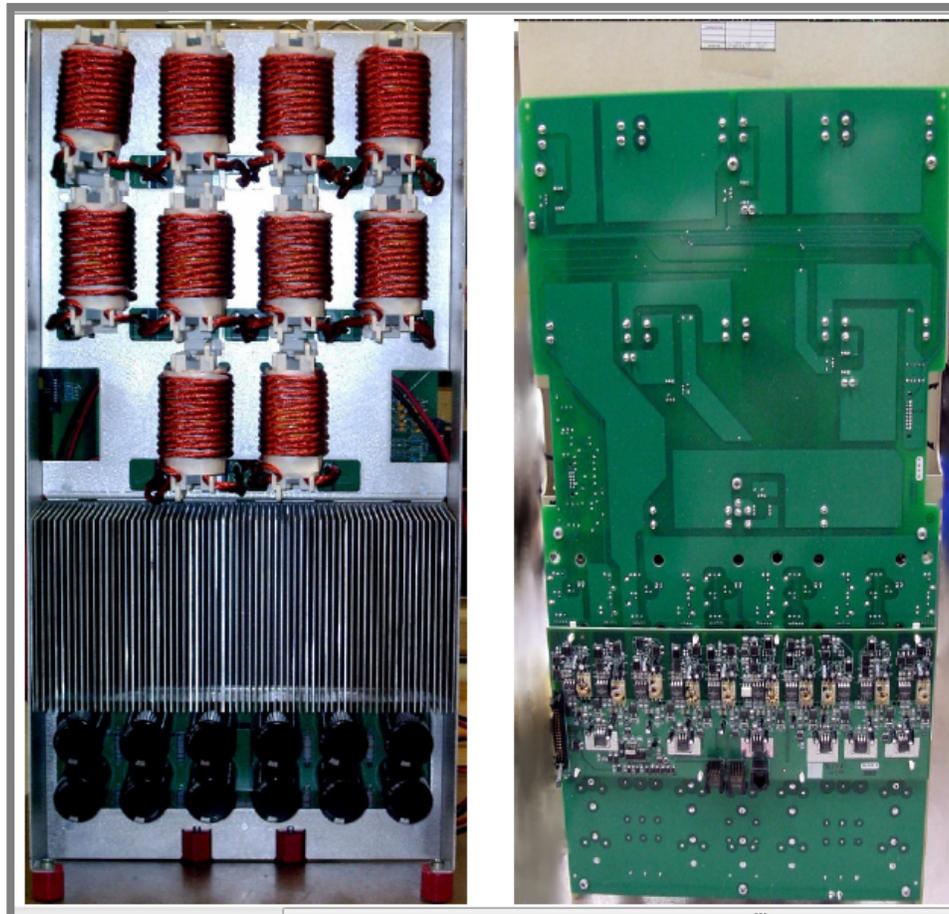
**Figura 3.2** (a) Símbolo de un SCR. (b) SCR IRKT162-12 160A 1200V Módulo de dos SCR de alta potencia.

El rectificador más común es trifásico de seis SCR o pulsos, ver figura 3.3, el cual recibe un voltaje de 220VCA ó 480VCA y frecuencia de 60Hz según sea el caso. Esta etapa convierte el voltaje de c.a. proveniente de la acometida principal, a un voltaje de c.d. para alimentar al inversor y mantener el voltaje de flotación adecuado, que mantiene cargadas las baterías. La energía, primeramente pasa por un filtro de entrada, que reduce de la línea significativamente armónicas de corriente del 5º y 7º orden; ondas senoidales de amplitud inferior y con una frecuencia de 300 y 420 hertz respectivamente de la fundamental. Las cuales son dañinas para el SAI y la carga.



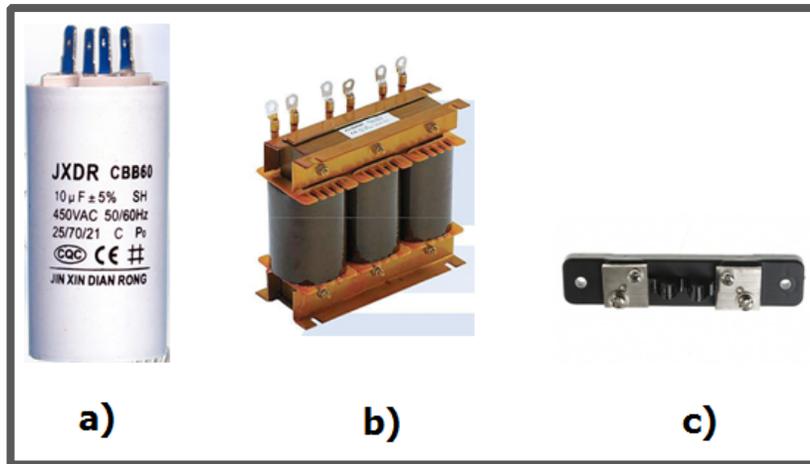
**Figura 3.3** Rectificador trifásico con filtro supresor de armónicas, resistencia shunt para medir corriente de cd y filtro “c” de salida [supresor de rizo].

En la figura 3.4 se muestra un modulo de potencia real que constituye un rectificador trifásico que pertenece a un SAI.



**Figura 3.4** Modulo de potencia de un rectificador trifásico, se observa el filtro y disipadores de calor.

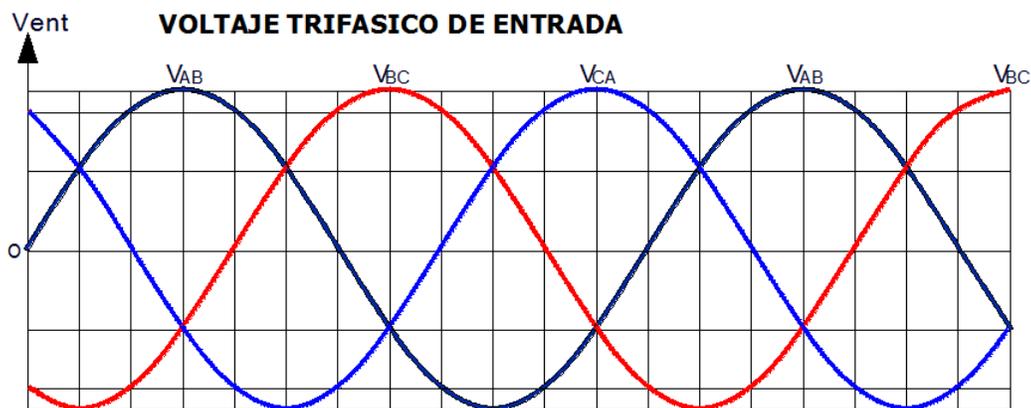
En la siguiente figura 3.5 se observan los elementos que forman comúnmente un filtro de armónicas a la entrada del rectificador.



**Figura 3.5** Elementos de filtro supresor de armónicas a) Capacitor de c.a. 450Vca 60Hz  
 b) Inductancia, L. c) Resistencia shunt para medir c.d.

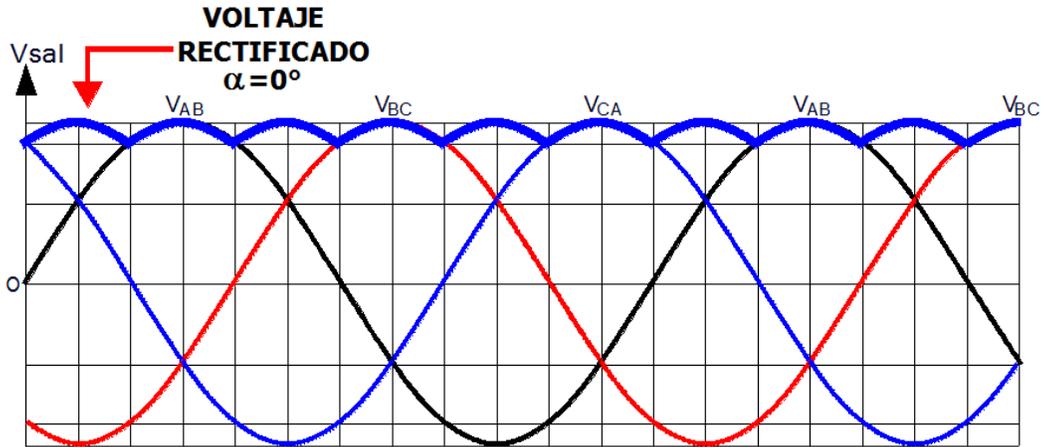
Suprimiendo ésta anomalía, llega la energía al puente rectificador en donde se rectifican los semiciclos negativos línea a línea, más tres semiciclos positivos línea a línea dan un voltaje de salida de c.d. de un rizo de seis pulsos, por cada ciclo de entrada. Posteriormente pasa por una resistencia shunt la cual sirve para medir la corriente en directa entre sus terminales. Luego sigue un filtro o capacitor que reduce el rizo del voltaje de c.d.

En la figura 3.6 se observa el voltaje trifásico línea a línea que entra al rectificador.



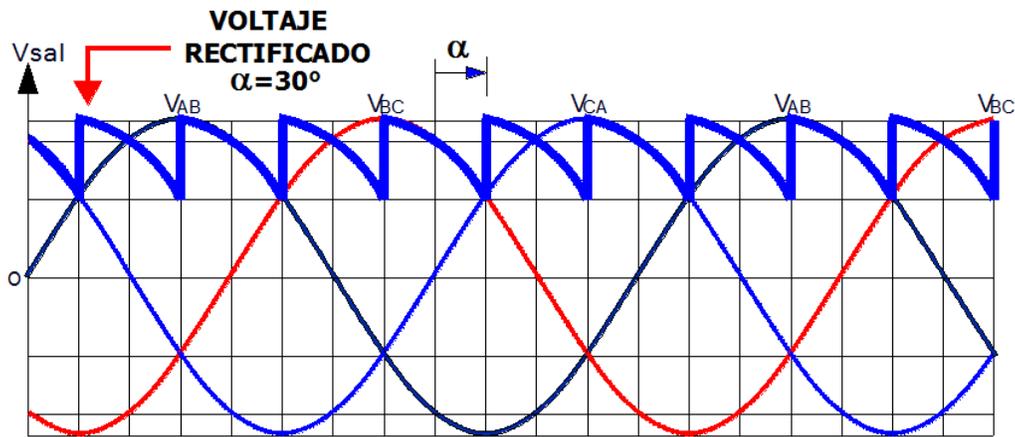
**Figura 3.6** Esquema de las formas de onda del voltaje de entrada trifásico.

Se muestra en la figura 3.7 el voltaje de salida de cd del rectificador, cuando el ángulo de  $\alpha=0^\circ$ , ésta forma también es producida cuando el puente es solamente de diodos.



**Figura 3.7** Esquema de las forma de onda del voltaje rectificado de salida de c.d con  $\alpha = 0^\circ$ .

Ahora, cuando el ángulo de disparo  $\alpha=30^\circ$  (retardado), en la forma de onda de salida aparece una hendidura, ver figura 3.8.



**Figura 3.8** Esquema de las forma de onda del voltaje rectificado de salida de c.d con  $\alpha = 30^\circ$ .

La señal lógica secuencial para los seis SCR es, desde un microcontrolador que siempre está monitoreando la frecuencia de entrada, el voltaje de línea, el voltaje y corriente de salida del rectificador y solicita de un pin configurado como señal de entrada analógica el momento en que la onda senoidal cruza por cero para iniciar el conteo de retardo para encender uno de los seis SCR a la vez. Recordemos que el período de una  $f=60\text{Hz}$  es  $16.667\text{ms}$ , y cada SCR se enciende a los  $2.77\text{ms}$  con  $\alpha=0^\circ$  si fuera el caso, el apagado se hace por el efecto del voltaje inverso que bloquea a cada SCR. Naturalmente el voltaje de c.d. va a cambiar de acuerdo con el ángulo de disparo,  $\alpha$ .

El valor del voltaje de c.d. va a depender del voltaje de las baterías, las cuales si están cargadas hasta su límite superior el ángulo de disparo es retardado, por el contrario si las baterías están demasiado descargadas el ángulo estará cerca del cero.

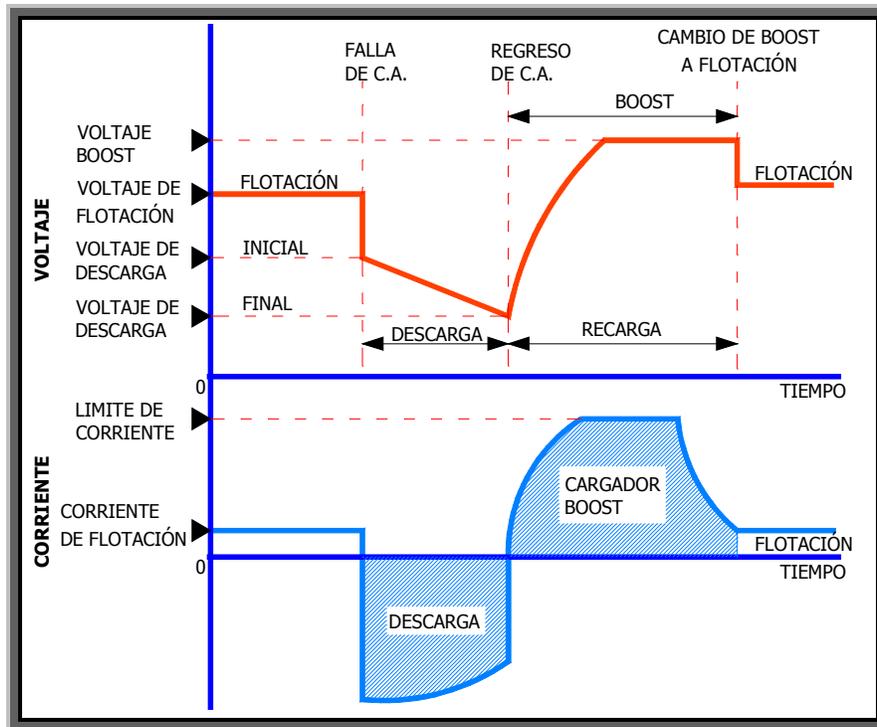
El rectificador/cargador está diseñado para proporcionar un **voltaje de salida constante de c.d. y** al mismo tiempo es el voltaje de recarga adecuado para las baterías. Dado que están en un proceso de carga y descarga, la etapa de control del SAI siempre está monitoreando su voltaje para dosificar una corriente de recarga que constantemente regula de acuerdo a su voltaje de flotación, y es diferente de un equipo a otro.

Después de recuperarse la línea principal y aún cuando las baterías estén completamente descargadas; el rectificador/cargador automáticamente reanuda la alimentación al inversor y reinicia gradualmente la recarga; la corriente típica de recarga inicial es de un 10% y la final de 20% de los amper-hora nominal de la batería en un tiempo de 24 horas aproximadamente. El voltaje, corriente y tiempo de recarga son preestablecidos y controlados en la lógica de control del SAI por el fabricante.

Usualmente, cuando sufre una descarga la batería, su voltaje de flotación queda en 2.1-2.2 volts por celda y empezarla a recargar hasta alcanzar su plena capacidad tomará un tiempo considerable. En varios de los casos esto es inaceptable y el potencial constante del cargador es equipado con un elevador de voltaje "boost", el cual regresa a su plena capacidad a la batería en un tiempo más rápido, a una corriente constante. El voltaje de un "boost" usualmente es de 2.4 a 2.6 volts por celda.

Cuando una batería está descargada completamente, el voltaje del "boost" es aceptable y antes de suministrarle una corriente alta, el diseño del cargador limitará dicha corriente inicial para prevenirlo de sobrecargas. Aclaremos que el voltaje máximo para un cargador con limitador de corriente es normalmente de 2.35 volts por celda.

En la figura 3.9, se observa el ciclo de descarga y recarga de la batería.



**Figura 3.9** Ciclo de descarga y recarga del voltaje y corriente de la batería con cargador boost.

Si se quisiera aumentar el voltaje y la corriente ó alguno de los dos parámetros más allá del límite permitido para reducir el tiempo de recarga, la temperatura en la batería aumenta y su vida útil se reduce considerablemente.

### 3.5. Operatividad del control.

La tarjeta del sistema de control principal contiene un microcontrolador, cerebro electrónico del SAI, tiene recursos en los que destacan convertidores A/D, comparadores analógicos y PWM, módulos de comunicación y temporizadores. Contiene una unidad aritmética lógica, ALU, memoria FLASH, EEPROM y SRAM. Tiene grabado un programa realizado en un lenguaje de alto nivel como "lenguaje C", el cual contiene todas las instrucciones y rutinas de operación. El microcontrolador es el encargado de ordenar la ejecución de las funciones respectivas.

Cada pin del microcontrolador ya está programado como entrada o salida, digital o analógica y lo acompañan optoacopladores para aislar entradas de alto voltaje de c.a.

y c.d., un cristal de cuarzo genera la frecuencia de trabajo que le permite temporizar tareas internas y externas, subsistemas de control y otros dispositivos electrónicos como protecciones constituidos por varistores y filtros LC.

Los subsistemas de control son tres prácticamente, aún cuando se pudiera tener otros, estos serían los más relevantes:

- ◆ Subsistema de control del puente rectificador de seis pulsos (3 fases, 6 SCR).
- ◆ Subsistema de control del puente inversor completo (IGBT) controlado por PWM.
- ◆ Subsistema de control del interruptor estático, el cual controla los SCR y contactores de bypass respectivos.

Entonces la tarjeta de control principal se encarga de administrar a los subsistemas de control ejecutando las siguientes funciones:

- ◆ Mide los parámetros del SAI de voltaje, corriente y frecuencias.
- ◆ Envía datos hacia una PC o red vía una interfaz RS-232 ó USB.
- ◆ Compara valores de mediciones con límites específicos.
- ◆ Dispara el interruptor estático para permitir el paso del suministro principal a la carga.
- ◆ Dispara el interruptor de cese instantáneo del SAI (apaga).
- ◆ Registra y guarda los eventos en la EEPROM.
- ◆ Habilita contactos secos a través de relevadores para interfaz de alarma.
- ◆ Produce los pulsos PWM.
- ◆ Habilita la señal hacia los IGBT para que el inversor inicie la segunda conversión de corriente directa a alterna. Con la misma frecuencia de la línea principal y con el nivel de tensión deseada.
- ◆ Hace la realimentación para corregir el voltaje de salida del inversor.
- ◆ Dosifica la corriente del inversor.
- ◆ Activa los circuitos para proporcionar la corriente por conexión en paralelo.

- ◆ Recibe y envía datos al panel de control.

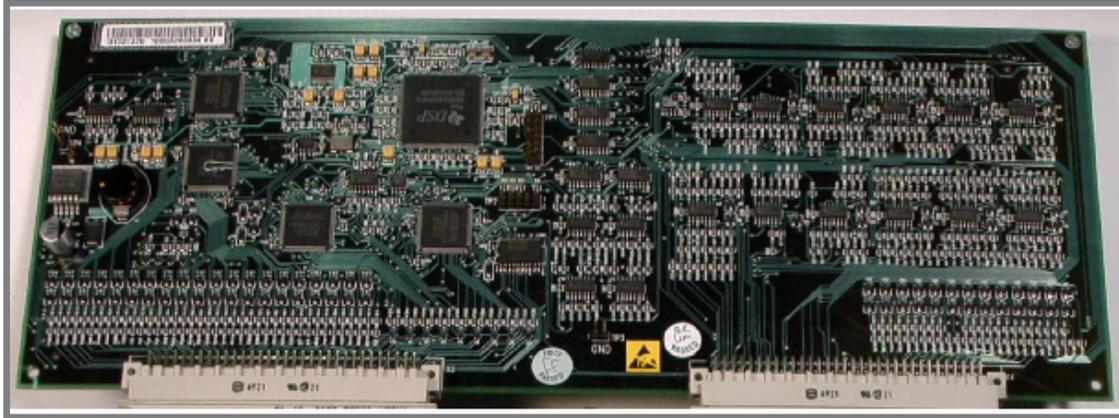
Los siguientes son parámetros eléctricos que circuitos electrónicos analógicos miden y transmiten a la tarjeta de control que los convierte en datos digitales para procesarlos y usarlos para controlar y monitorear el SAI:

- ◆ Medición de las tensiones de entrada al rectificador de a.c.
- ◆ Medición de las tensiones de entrada al bypass de a.c.
- ◆ Medición del voltaje de entrada al inversor de c.d.
- ◆ Medición de las tensiones de salida de a.c.
- ◆ Medición de corriente de entrada al rectificador de a.c.
- ◆ Medición de la temperatura.
- ◆ Medición de la frecuencia de bypass y salida del inversor.
- ◆ Monitorea la secuencia de fases de entrada.

Estrictamente el microcontrolador ejecuta las siguientes funciones:

- ◆ Monitorea la secuencia de fases de la acometida para iniciar su proceso de verificación de subsistemas de control.
- ◆ Recibe las tres secuencias de fases AB, BC, y CA para formar los intervalos de tiempo y enviar las señales lógicas de encendido a cada pin de control de los seis SCRs e iniciar la primera conversión de corriente alterna a directa.
- ◆ De acuerdo a la señal realimentada, cambia el ángulo de trabajo para cada uno de los 6 SCRs y mantiene estabilizado el voltaje de salida o de corriente.
- ◆ A través de un amplificador monitorea el voltaje de salida del rectificador y voltaje de flotación de la batería y lo compara con un voltaje realimentado, el resultado cambiará la dirección de la corriente para estabilizarla y mantenerla recargada.
- ◆ Hace un rastreo (track) de la frecuencia permanentemente para sincronizar y acoplar la salida del inversor con el interruptor estático para realizar una transferencia instantánea. Si esto no sucede causará un corto circuito en el SAI.

Indicadores luminosos (LEDs) permiten al ingeniero ó técnico calificado observar si la tarjeta o PCB de control trabaja correctamente o falla. Se reproduce en la figura 3.10 una tarjeta de control de un SAI.

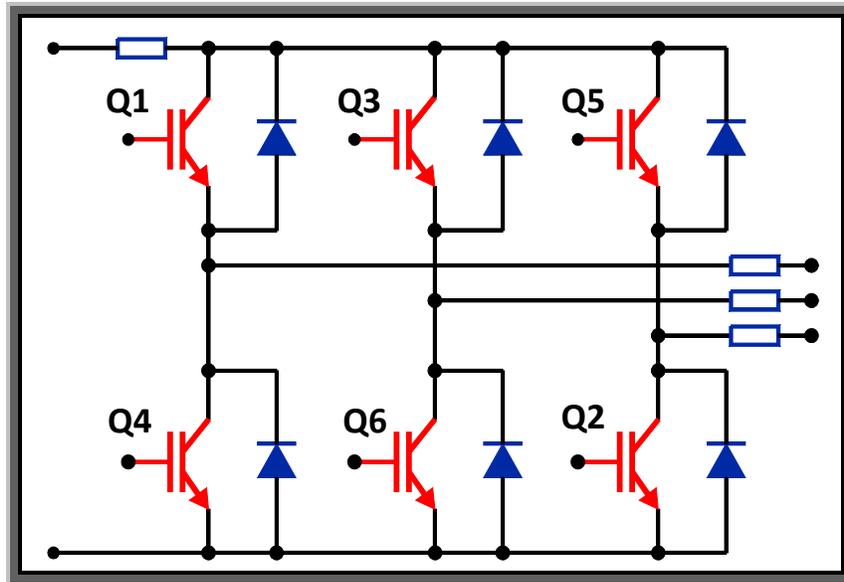


**Figura 3.10** Tarjeta electrónica de control.

### **3.6. Operación del Inversor.**

Proporciona una tensión de salida regulada y permanente. La potencia que demanda la carga crítica la toma del bus de corriente directa que proviene desde la salida del rectificador/cargador o de la energía almacenada en las baterías para realizar la **segunda conversión** eléctrica de directa a alterna. Transforma la corriente proporcionada por la batería hasta que se descargue a un voltaje de entrada mínimo aceptable por el inversor antes de que un porcentaje grande de corriente sea demandado y dañe tanto al inversor como a las baterías. En este momento el SAI se apaga para autoprotegerse.

El inversor está compuesto normalmente por seis transistores bipolares de compuerta aislada, IGBT, hacen la función inversa, es decir, convierten el voltaje de c.d. a un voltaje alterno ó de c.a. en modo regulado proveniente del rectificador ó desde el banco de baterías que tiene energía almacenada. El diagrama del inversor se muestra en la figura 3.11.



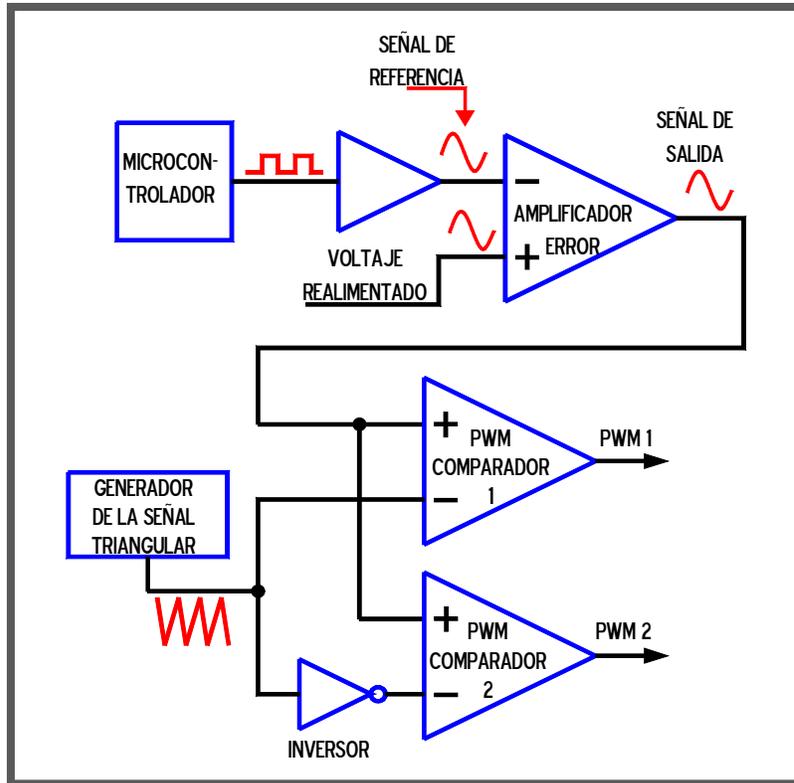
**Figura 3.11** Esquema del inversor trifásico compuesto de seis IGBT, fusible de entrada de c.d. y fusibles de salida por fase.

La técnica más empleada para controlarlos es por **modulación por ancho de pulso, PWM**, o duración de impulsos. Con esta técnica se **regula** de forma eficaz el voltaje de salida del inversor.

Para esto se necesita tres partes esenciales para cualquier modulación por ancho de pulso, PWM, específicamente para los inversores trifásicos:

- ◆ El dispositivo electrónico que conecta la corriente a la carga en este caso el puente de transistores IGBT.
- ◆ Un generador de onda portadora triangular, que en general funciona a frecuencia constante, por ejemplo a 12kHz, una señal de referencia senoidal, ambas desfasadas  $120^\circ$  eléctricos cada una. La frecuencia de la onda triangular es modificable al definir una tensión de salida diferente de 120Vca de más uso por una de 115, 127Vca u otra diferente proporcionada por el SAI.
- ◆ Comparadores que analizan una señal triangular de voltaje en una entrada con un voltaje de referencia en la otra entrada.

En la figura 3.12 se muestra uno de los posibles esquemas electrónicos.



**Figura 3.12** Circuito electrónico modulador PWM.

La forma de trabajar es la siguiente:

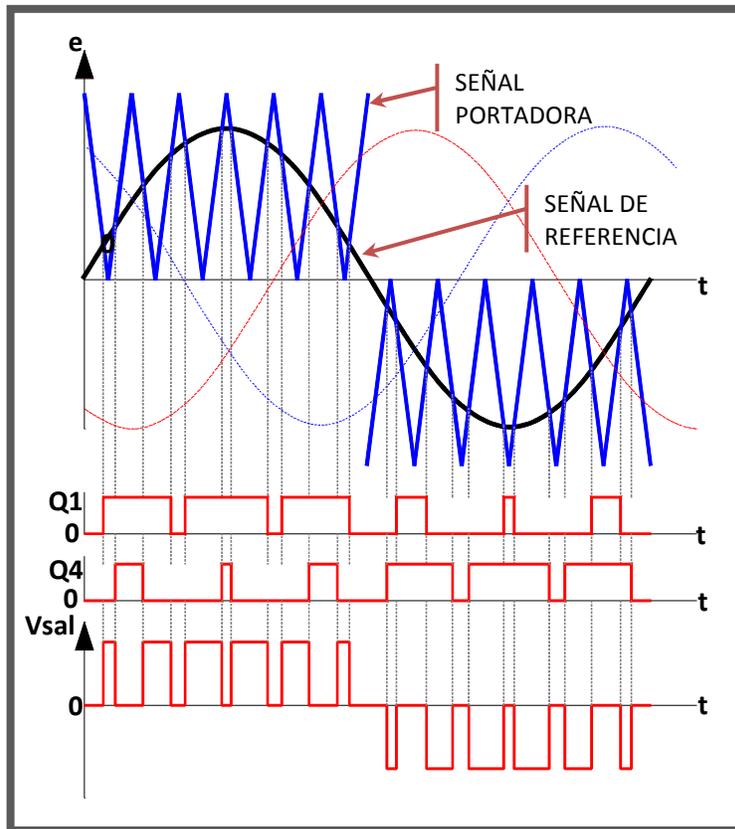
El microcontrolador principal genera el pulso digital que determina la magnitud, fase y frecuencia de la salida del inversor.

Estos pulsos pasan primero a través de un filtro pasa bajas para formar una señal de referencia senoidal para transmitirlos al amplificador de error.

El amplificador de error compara la señal de referencia con el voltaje realimentado de la salida del inversor. La señal de salida es enviada a los comparadores 1 y 2, el cual comparan señales triangulares, una directa y otra inversa, para generar dos señales moduladas por ancho de pulso.

Los pulsos lógicos de encendido se hace de forma secuencial (uno a la vez). La figura 3.13 muestra una señal senoidal de referencia y una portadora triangular que activan Q1 y Q4 seis veces por **ciclo**; donde hay seis pulsos de salida por **semiciclo**.

Al voltaje de salida todavía le hace falta pasar por un filtro para que se obtenga una señal senoidal antes de aplicarse a la carga.



**Figura 3.13** Forma de onda del voltaje de salida por modulación de ancho de pulso;  $N=6$ .

El encendido de dos IGBT corresponde a la fase uno, dos a la fase dos y dos a la fase tres. La tabla 3 y la tabla 4 muestran claramente cuando se encienden y apagan los IGBTs Q1 y Q4 para ambos semiciclos, los flancos de subida y bajada del pulso de tensión de salida:

Q1	Q4	Q4	Q1	Q1	Q4	Q4	Q1
Enciende			Apaga	Enciende			Apaga
	Enciende	Apaga			Enciende	Apaga	
Tensión de salida		Tensión de salida		Tensión de salida		Tensión de salida	

**Tabla 3.** Semiciclo positivo.

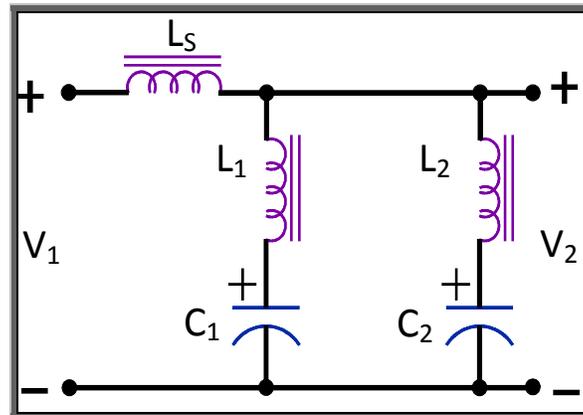
Q4	Q1	Q1	Q4	Q4	Q1	Q1	Q4
	Enciende	Apaga			Enciende	Apaga	
Enciende			Apaga	Enciende			Apaga
Tensión de salida		Tensión de salida		Tensión de salida		Tensión de salida	

**Tabla 4.** Semiciclo negativo.

Los transistores IGBT presentan la siguientes características: cuando están activados, su corriente es grande, pero su voltaje en terminales es casi cero, igualmente el consumo interno de potencia. Si están apagados el voltaje entre sus terminales es grande y su corriente es cero, por lo tanto también su potencia interna. En esencia, en ambos modos la potencia sigue siendo cero.

### 3.6.1. Voltaje de salida.

Ya que se produce un voltaje a la salida del rectificador con una forma casi senoidal que contiene la onda senoidal fundamental de 60Hz más **componentes armónicas**. Se suprimen voltajes armónicos por medio de filtros, por ejemplo en la figura 3.14 se muestra un filtro para una fase.



**Figura 3.14** Un filtro típico para eliminar armónicas.

El voltaje a la entrada  $V_1$  contiene la onda senoidal fundamental de 60Hz más componentes de la 5ta y 7ma armónica (300Hz y 420Hz) respectivamente.  $L_1$  y  $C_1$  suprimen la componente de 300Hz;  $L_2$  y  $C_2$  restringen la de 420Hz. Cada filtro

presenta una baja impedancia y pueden ser más complejos para suprimir otras armónicas.

### **3.7. Interruptor estático.**

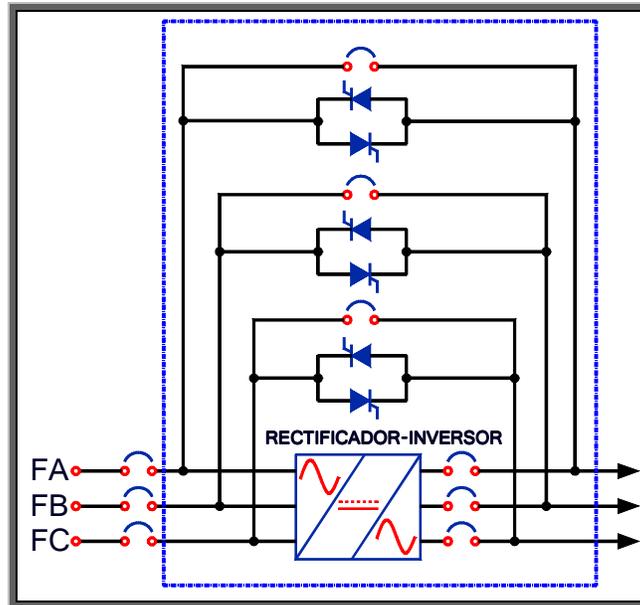
Forma una trayectoria de reserva (stand-by) de la línea principal, segura y activada de forma electrónica para sostener la carga ocasionalmente. Se encuentra en paralelo con el bus del rectificador-inversor y el interruptor de bypass, ver la figura 3.15. Su ventaja radica en su muy alta velocidad de conmutación de un estado a otro, silencioso y no tiene ningún rebote de contactos al cierre. Características esenciales para tomar la carga y pasar inadvertida la transferencia.

Para ello la frecuencia y las fases del inversor siempre están sincronizadas con la línea principal.

Si no hay una segunda línea principal, la primera entonces alimenta tanto al rectificador y a la línea de bypass, el voltaje de salida es el mismo que el de entrada frecuentemente.

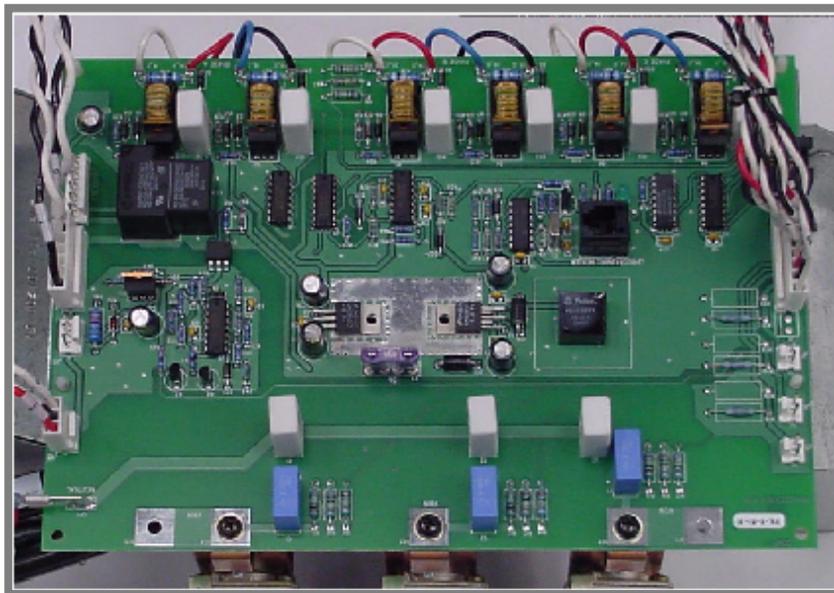
Su uso consiste en conmutar la carga:

- ◆ A la línea de bypass cuando la línea de bus del rectificador-inversor:
  - a) Falla.
  - b) Tiene una sobrecarga.
  - c) Se le demanda una corriente de magnetización (Inrush).
- ◆ A una línea de bypass externo, si existe, para conectar y desconectar el SAI por mantenimiento ó cambio del banco de baterías por uno nuevo.



**Figura 3.15** Diagrama trifilar de un interruptor estático de tres fases.

En la figura 3.16 se muestra una tarjeta de control electrónica del interruptor estático.



**Figura 3.16** Tarjeta electrónica controladora del interruptor estático.

### **3.8. Interruptor de bypass.**

De activación electromecánica y automático, depende de una señal digital para activar su relevador y cerrar sus contactos. Actúa cuando la transferencia está hecha a través

del interruptor estático hasta entonces se cierran los contactos del interruptor de bypass. El cierre es seco y audible.

### **3.9. Baterías de respaldo.**

En un SAI es la parte sustancial para realizar un respaldo de energía confiable, tiene baterías conectadas al bus de c.d. con una capacidad en ampers-hora (A-hr), requerida para permitir una operación típica de 5 a 15 minutos de respaldo y facilitar ordenadamente la desconexión de las cargas sensibles. En su interior se desarrolla la conversión de energía química a eléctrica de c.d.

Cuando la línea **rectificador-inversor** alimenta a la carga y la energía almacenada en las baterías está a su plena capacidad, están listas para cualquier contingencia. A la primera oportunidad de interrupción de la fuente principal de c.a. las baterías continúan el suministro ininterrumpido y liberan súbitamente la potencia almacenada en su interior hacia el inversor y éste a la carga por un tiempo limitado, dependiendo de la capacidad de las baterías.

Cuando se reanuda el consumo de electricidad de modo normal y las baterías estén parcial o completamente descargadas, el rectificador/cargador automáticamente **reinicia gradualmente** la recarga de las baterías y alimenta al inversor de forma simultánea sin causar interrupción alguna hacia la carga crítica.

En el mercado existen dos tipos de baterías:

- ◆ Primaria: no recargable.
- ◆ Secundaria: recargable.

La batería recargable más usada en los SAI es del tipo **plomo-ácido** (*lead-acid*) cuyas características son:

- ◆ Proporciona una alta corriente de descarga.
- ◆ Disponibles en altas capacidades, medidas en amper-hora, A-hr, regularmente.

- ◆ Recargable.
- ◆ Libres de mantenimiento.
- ◆ A prueba de fugas o filtraciones.
- ◆ Ocupan menos espacio.
- ◆ Económica.

Estas características han sido las principales razones por las cuales las encontramos hoy con más frecuencia en los SAI de baja y gran capacidad. Después sigue la de **níquel-cadmio**, proporciona una corriente mucho más alta de descarga, tiene un costo mayor, es más grande, ocupa el doble de espacio, necesita mantenimiento y tiene una vida útil más amplia.

Teniendo ya una referencia explícita de los dos tipos de baterías que se usan, se detalla las características químicas y eléctricas de la batería **plomo-ácido**.

Regularmente la batería secundaria **plomo-ácido** utilizada es de un voltaje nominal de 12 volts. Está compuesta por seis celdas o pilas internas conectadas en serie; una pila está formada por dos placas (electrodos) diferentes, positiva (peróxido de plomo,  $PbO_2$ ) y negativa (plomo esponjoso,  $Pb$ ), más una solución química conductora llamada electrólito (ácido sulfúrico,  $SO_4H_2$ ); ambos metales están introducidos en la solución con lo que se produce un voltaje entre ellos, originando un flujo de corriente al formar un circuito con una carga conectada correctamente. La recarga se hace a través de una fuente con el voltaje adecuado y corriente limitada en dirección opuesta a la corriente de descarga e invirtiéndose las reacciones químicas entre las placas.

Conociendo su estructura interna, la batería debe cumplir con las siguientes características eléctricas expuestas en la tabla 5.

Características eléctricas	Batería Plomo-ácido (6 celdas)	Celda Plomo-ácido
Voltaje nominal	12 volts	2 volts
Voltaje de recarga**	13.8 a 14.1 volts	2.30 - 2.35 volts
Voltaje de flotación (circuito abierto)	13.1 - 13.5 volts (26°C)	2.18 - 2.25 volts (26°C)
Voltaje final	10.5 volts	1.75 volts
Resistencia interna*		0.001 ohms
Vida útil	10 - 12 años	
Tasa de corriente de recarga inicial**	$\frac{\text{Ahr}^{***}}{10}$	
Tasa de corriente de recarga final**	$\frac{\text{Ahr}^{***}}{20}$	
Tiempo de recarga** ▲	24 horas	
<p>* Para altas capacidades y cargadas completamente. Se incrementa durante la descarga.  ** Dependerá del diseño del cargador.  *** Capacidad de la batería en amper-hora.  ▲ Descargadas 100%. Tiempo aproximado.</p>		

**Tabla 5.** Características eléctricas de la batería plomo-ácido.

Una batería **plomo-ácido** puede ser de 7, 9, 26, 35, 90 amper-hora (A-hr) entre otras capacidades, la figura 3.17 muestra la variedad de baterías que existen en capacidad y tamaño. Y un SAI usa un rango variable de baterías. La diferencia de usar de una capacidad u otra radica en:

¿Cuánta potencia quiero liberar?

¿Por cuánto tiempo es necesario liberarla? y

¿Qué tasa de corriente de recarga tiene el cargador del SAI?

El voltaje final de la batería es hasta 10.5 volts, inferior a éste no permitiría al inversor proporcionar un nivel de tensión adecuado a la salida, de todas maneras, el SAI monitorea el voltaje y automáticamente se apaga cortando la alimentación hacia la carga. En varios casos sólo proporciona potencia durante el tiempo que grupos de emergencia les tome encenderse, evitando una descarga profunda de baterías.



**Figura 3.17.** Baterías plomo-ácido de diferentes capacidades.

Un voltaje de recarga típico es de 13.8 volts, luego sigue el de 14.6 volts proporcionado por un "boost", más alto causa demasiada electrólisis y daño, lo cual requerirá ventilación forzada. Cuando se desconecta queda en su voltaje de flotación de 13.1 a 13.5 volts. La tasa de corriente de recarga es 10% inicial reduciéndose a 20% de los amper-hora nominal de la batería. Tanto el voltaje como la tasa de corriente de recarga ya son proporcionados por el SAI.

El tiempo de recarga es de 24 horas aproximadamente cuando estén completamente descargadas.

Una batería secundaria siempre estará en un proceso de carga y descarga. Este proceso cíclico es la capacidad que tiene de liberar y realmacenar energía una y otra vez.

Hay otras pilas secundarias, la de **níquel-hidrógeno** y de **níquel-hidruro metálico (Ni – MH)**. La primera en la actualidad está limitada principalmente para aplicaciones de vehículos espaciales donde se requiere baterías fuertes y confiables de alta densidad de energía y que resistan una gran capacidad de ciclos de carga/descarga durante un periodo relativamente largo.

La pila de **níquel-hidruro metálico (Ni – MH)** es una combinación de las pilas de **níquel-cadmio** y de **níquel-hidrógeno** el cual crea una pila con un ciclo demasiado alto en un envase pequeño y de vida amplia. Ésta pila híbrida se usa en las computadoras portátiles. Pero no está restringida para otros usos o aplicaciones, para respaldar equipos de comunicación o repetidoras ubicadas en postes en sitios remotos y despoblados se necesita una batería en los SAI que aumente su confiabilidad, reduciendo peso y eliminando mantenimiento preventivo, sustituyendo su batería de **plomo-ácido** por una de **Ni-MH**. Está en la etapa de pruebas la utilización de dichas baterías en los SAI de reducida capacidad; en el futuro se podrá ver alguna batería de mejor rendimiento.

### **3.10. Panel de control.**

El panel de control, el cual se muestra en la figura 3.18, se encuentra sobre la parte frontal de la puerta del SAI, y contiene:

- ◆ Una pantalla de cristal líquido (LCD) para observar el estatus del sistema y mediciones.
- ◆ Botones táctiles (pushbutton switches) para controlar la operación y moverse a través del menú.
- ◆ Indicadores de luz (LED) que muestran el estatus del sistema.
- ◆ Indicador audible (timbre) para señalar alarmas en tiempo real.

De este modo es la interfaz y actúa como un intérprete del sistema de control con el usuario, permitiendo la comunicación con él. Mensajes, alarmas y condiciones de error son delegados al usuario a través del panel de control mostrándolos en la pantalla LCD y de alarmas audibles.



**Figura 3.18** Pantalla LCD y sus componentes principales.

Se describe un panel típico de control que monitorea el SAI, que incluye el siguiente equipo de control: mediciones, controles, alarmas e indicadores de luz.

#### **Mediciones:**

Sobre la pantalla LCD despliega las siguientes mediciones:

- Valores RMS de voltaje y corriente de entrada, fase a fase ó fase a neutro.
- Valores de c.d. del voltaje y corriente de la batería.
- Tiempo de permanencia en minutos de vida de la batería que le queda de descarga.
- Valores RMS de voltaje y corriente de salida, fase a fase ó fase a neutro.
- Valores RMS de voltaje y corriente de bypass, fase a fase ó fase a neutro.
- Valor de la potencia aparente en KVA.
- Valor de la potencia real en KW.
- Valor del factor de potencia FP.
- Valor de la frecuencia en Hz, de la salida del inversor y del bypass.
- Tiempo actual en dd.mm.aaaa y hh:mm:ss del período de funcionamiento del equipo.
- Temperatura en °C del interior del SAI.

- Registro de observaciones (LOG); (un SAI puede guardar hasta 500 eventos, sobrescribiendo y mostrando el más actual).

#### ◆ **Controles:**

Los siguientes movimientos se podrán controlar y habilitar con los botones táctiles directamente o navegar a través del menú y la pantalla LCD despliega el estado actual:

- Encendido y apagado del sistema de control para activar el SAI. En algunos equipos se debe sostener el botón adentro tres segundos para abortar la operación.
- Transferencia de modo normal a bypass y viceversa (rectificador-inversor a bypass).
- Calibración del voltaje regulado rms de salida en  $\pm 5\%$ .
- Corte de energía de emergencia con cubierta protectora, (emergency power off, EPO).
- Prueba de los indicadores visuales, luminosos (led) y audible (zumbador).
- Apagado de alarma audible (un led alarma permanecerá encendido hasta que el problema sea resuelto).

#### ◆ **Alarmas:**

El panel de control proporcionará un nivel de alarmas las cuales serán visibles en la pantalla LCD y actuará en conjunto con indicadores de luz (LEDs):

- Alarma de sobrecarga
- Alarma de corte por sobrecarga
- Alarma de sobretemperatura en el equipo.
- Alarma de temperatura alta en el medio ambiente circundante.
- Alarma de fusible defectuoso.
- Alarma de falla en algún ventilador.
- Alarma de interruptor de baterías abierto.
- Alarma de baterías descargándose.
- Alarma de baterías bajas.
- Alarma de sobrevoltaje de d.c.

- Alarma de falla en la línea principal.
- Alarma de falla de potencia de control.
- Alarma de sobrevoltaje o bajo voltaje a la salida.
- Alarma de interruptor estático deshabilitado.
- Alarma de carga sobre la línea de bypass.

Las alarmas audibles se habilitan cuando alguna de las alarmas de arriba se activa.

♦ **Indicadores de luz (LED):**

Su función principalmente es indicar el estatus del SAI. Estos se iluminan y actúan en conjunto con las alarmas que se presenten. Su código de colores indica al usuario de forma fácil y rápida su grado y el área de atención de la alarma.

**Rojo** indica una falla o estado anormal, **verde** indica operación normal y **ámbar** señala un estado emergente sin afectar la carga y no es deseable sostenerlo permanentemente.

Si un led en color **verde** parpadea indica que debe atenderse dicha área, posiblemente no sea de cuidado pero lo importante es atenderla como recomendación. La tabla 6 indica el estatus que pueden tener los leds.

LED	SIGNIFICADO	COLOR
Normal	La línea de potencia rectificador-inversor alimenta a la carga.	● Verde
Bypass	La carga crítica está sostenida por la línea de bypass.	● Ámbar
Batería	La carga crítica está sostenida por la línea batería-inversor.	● Ámbar
Alarma	Cuando un área específica requiere una alta atención, por lo cual requiere observar la pantalla LCD que la muestra.	● Rojo
Sobrecarga (OVERLOAD)	Hay una sobrecarga, sostenible por un tiempo breve.	● Rojo
Sincronización (SYNC)	El inversor está sincronizado.	● Verde
Cargador	Operación del cargador.	● Verde

**TABLA 6.** Indicadores de luz (LEDs) principales.

### **3.11. Autodiagnóstico (Troubleshooting).**

El SAI tiene la capacidad de autodiagnosticarse cuando se presenta algún suceso inesperado en su interior, la alarma sonará y se exhibirá un mensaje de emergencia en la pantalla LCD del panel de control, y existirá la posibilidad de tomar un curso de acción para corregirla. El SAI contiene un manual de usuario el cual ofrece alguna acción recomendada para estabilizar o solucionar el evento que presenta el sistema, por citar algunos mensajes con sus recomendaciones que determinan el curso de acción a seguir se presenta la tabla 7 de forma demostrativa:

DESCRIPCIÓN DEL MENSAJE	ESTATUS Ó NOTICIA DE LA UNIDAD	ACCIÓN RECOMENDADA
CONFIGURATION ERROR	El sistema está configurado inapropiadamente.	Verificar la capacidad del sistema. Volver a reconfigurarlo. Configurarlos en paralelo o individual. Número de unidades.
BATTERY LOW	La batería está baja. El voltaje se redujo considerablemente.	Revisar el interruptor y baterías, posiblemente alguna está abierta. Revise fusibles.
INPUT FAULT	El voltaje de entrada es bajo. El voltaje de entrada es alto. No hay voltaje de entrada.	Mida la tensión de entrada del SAI. Verifique interruptor automático. Esperar a que se establezca automáticamente y regrese a modo normal. Bajar el TAP del transformador si lo hay.
BYPASS FAULT	El voltaje de bypass es bajo. El voltaje de bypass es alto. No hay voltaje de bypass.	Mida el voltaje de entrada de bypass. Esperar a que se establezca la tensión principal y automáticamente regrese a modo normal. Bajar el TAP del transformador si lo hay.
OVERLOAD	Sobrecarga.	Alguna fase está sobrecargada transfiera la unidad a la línea de bypass. La carga crítica será transferida de bypass a inversor cuando la carga se corrija.
FRONT PANEL SELF-TEST FAILURE	La comunicación con el panel frontal se ha perdido.	Revise el panel, los cables de comunicación. Reemplácelo por uno diferente e idénticas características.
INVERTER FAULT	Mal funcionamiento del inversor. No hay tensión de salida.	Revisar el módulo de potencia (IGBTs), la tarjeta controladora de los disparos a los pines de control. Hacer varios intentos para reconectar hacia el inversor.
OVER TEMPERATURE	Sobre-temperatura.	Ventile el local. Transfiera la carga a bypass. Verifique los sistemas y posibles anomalías físicas en el interior.
BATTERIES NOT CONNECTED	La batería no está conectada	Revise la posición del interruptor de baterías y las conexiones de y hacia las baterías.
BATTERIES UNDER LOAD	Falta de la línea principal. El inversor está operando sobre baterías.	Un beep pausado indica que está iniciando la descarga. Un beep rápido y un indicador de luz indicarán que la batería está próxima a agotarse.
BYPASS FREQ. FAULT	La frecuencia de bypass excede o es inferior de los límites permitidos.	Mida la frecuencia de entrada. Posiblemente trabaje sobre una frecuencia independiente del inversor y se sincronizará cuando la frecuencia regrese a modo normal.
FAULT CONDITION SERVICE REQUIRED	Un test automático tuvo un resultado negativo.	Llamar al técnico de servicio calificado.
RECTIFIER FAULT	El voltaje de c.d. esta fallando.	Llamar al técnico de servicio calificado.
INPUT PHASE ROTATION ERROR	Las fases no están en la secuencia correcta.	Verificar la secuencia de las fases.
CHECK FAN	Un ventilador está fallando.	Verifique todos los ventiladores, cableado que no esté dañado y LEDs indicadores en el interior.

**TABLA 7.** Mensajes y acciones recomendadas generales.

## 4. Tecnologías y tipos de SAI.

Los SAI disponibles en el mercado pueden ser clasificados dentro de tres grupos principales, considerando su estructura y el modo de operación. Cada fabricante ofrece de alguna manera sus propios diseños y enmarcados dentro de esta clasificación:

- ◆ Standby ó Off-Line.
- ◆ Línea interactiva.
- ◆ Doble conversión True On-Line.

Todos los sistemas contienen baterías en su interior o en un banco externo.

### 4.1. Standby.

La tecnología Standby incluye un rectificador/cargador, un inversor estático, un interruptor de transferencia automático y un filtro como principales componentes, como se ilustra en la figura 4.1. La fuente preferente de alimentación a los equipos es la línea principal filtrada.

Cuando está en **modo normal de operación** el flujo de corriente alterna sigue la línea continua, luego pasa por un filtro y después por el interruptor de transferencia para continuar su camino hacia la carga crítica.

El interruptor de transferencia automático sólo opera para elegir la línea **batería-inversor**, cuando la fuente de energía principal falle y hasta que sucede esto, el inversor se enciende, mientras está aguardando (sleep), de aquí el nombre "Standby".

Es el tipo más utilizado para Computadoras Personales, sus beneficios son su bajo costo y los hay en capacidades pequeñas solamente. Algunos pueden proveer una filtración de ruido adecuada y supresión de transitorios. **No tienen aislamiento de carga ni regulación de frecuencia.**

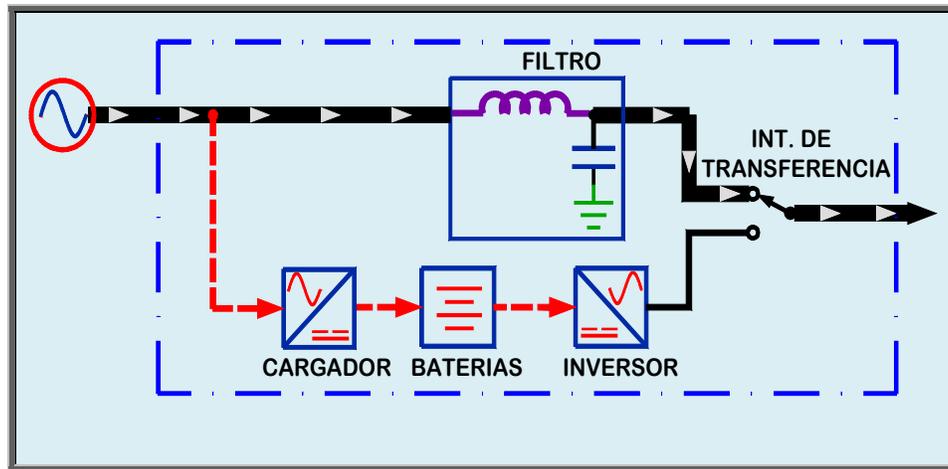


Figura 4.1. Sistema de alimentación ininterrumpida STANDBY.

#### 4.2. Línea interactiva.

Como componentes tiene un inversor, baterías e interruptor de transferencia automático. En la figura 4.2 se presenta un esquema por bloques de la estructura general de este tipo de SAI. El **inversor siempre está conectado a la salida y encendido todo el tiempo**. En modo normal el flujo de corriente de la acometida pasa por el interruptor de transferencia continuando a través del inversor y después hacia la carga, de esta manera el inversor invertirá por lapsos el sentido de corriente para recargar las baterías. El interruptor de transferencia se abre cuando falla la energía principal y entonces las baterías liberan todo su potencial hacia la carga.

Comúnmente incluye un transformador regulador de voltaje (tap-transformer) y funciona de tal forma que la toma de corriente de salida se ajusta a medida que el voltaje de entrada varía. **Característica que lo diferencia del SAI "Standby"**.

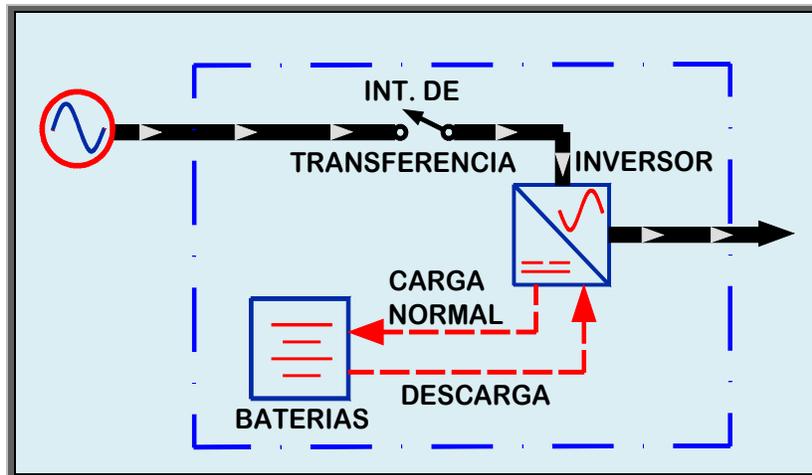


Figura 4.2. Sistema de alimentación ininterrumpida INTERACTIVA.

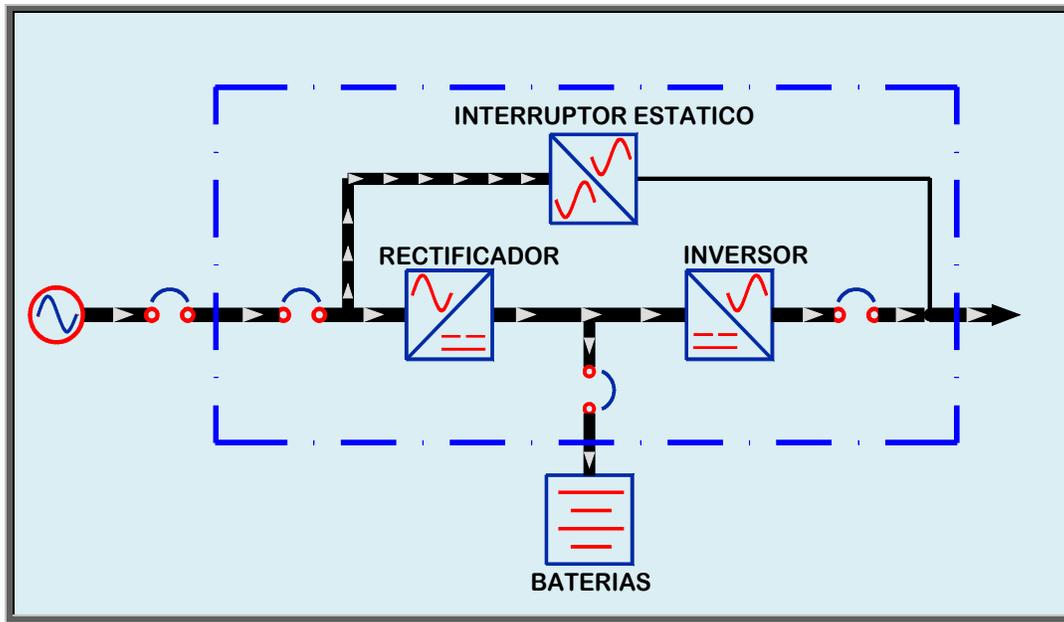
### 4.3 Doble Conversión (True On-Line).

Este diseño de SAI lo analizaremos con más detalle, esencialmente es una configuración estándar y **es para aplicaciones realmente críticas**. Ofrece un aislamiento completo y acondiciona la energía proporcionada. La tensión de salida no cambia durante una falla del suministro principal ya que la energía es suministrada a la carga crítica por las baterías a través del inversor. La trayectoria de la corriente eléctrica **en modo normal de operación es:**

**Fuente-principal ► rectificador ► inversor ► carga-crítica.**

Se identifican las partes más importantes del SAI doble conversión, tal y como se muestra en la figura 4.3, es obvio que debe estar alimentado el interruptor estático para cualquier contingencia y el rectificador proporciona a la vez corriente limitada para recargar las baterías. **Para tiempos más prolongados de protección se puede agregar una planta de emergencia. Esta interacción no lo pueden hacer los SAI de tecnología Interactiva ó Standby.**

Capacidades de este tipo de SAI son 15kVA, 120kVA hasta 700kVA y más grandes.



**Figura 4.3.** Sistema de alimentación ininterrumpida DOBLE CONVERSIÓN.

## 5. Modos de operación del SAI Doble Conversión (True On-Line).

El SAI de doble conversión utiliza y soportará la carga crítica en **tres modos de operación: NORMAL, BYPASS y BATERIAS**. El SAI automáticamente puede estar en cualquier modo, dependiendo de las condiciones eléctricas, transfiriéndose sólo y sin la intervención de un técnico calificado.

Un diseño de sensado electrónico analógico altamente confiable y una lógica adecuada del microcontrolador hace que el SAI pueda transferirse y operar en los tres modos distintos cuando lo requiera, y es transparente para la carga, mientras el sistema de control indica en tiempo real el modo de operación actual al panel de control. Esto aplica a los SAIs con una frecuencia de 60Hz y una tensión de 220Y/127V ó 480Y/277V. Se ilustra en la figura 5.1 un modelo de este tipo de SAI.



**Figura 5.1.** Sistema de alimentación ininterrumpida DOBLE CONVERSIÓN de 500kVA.

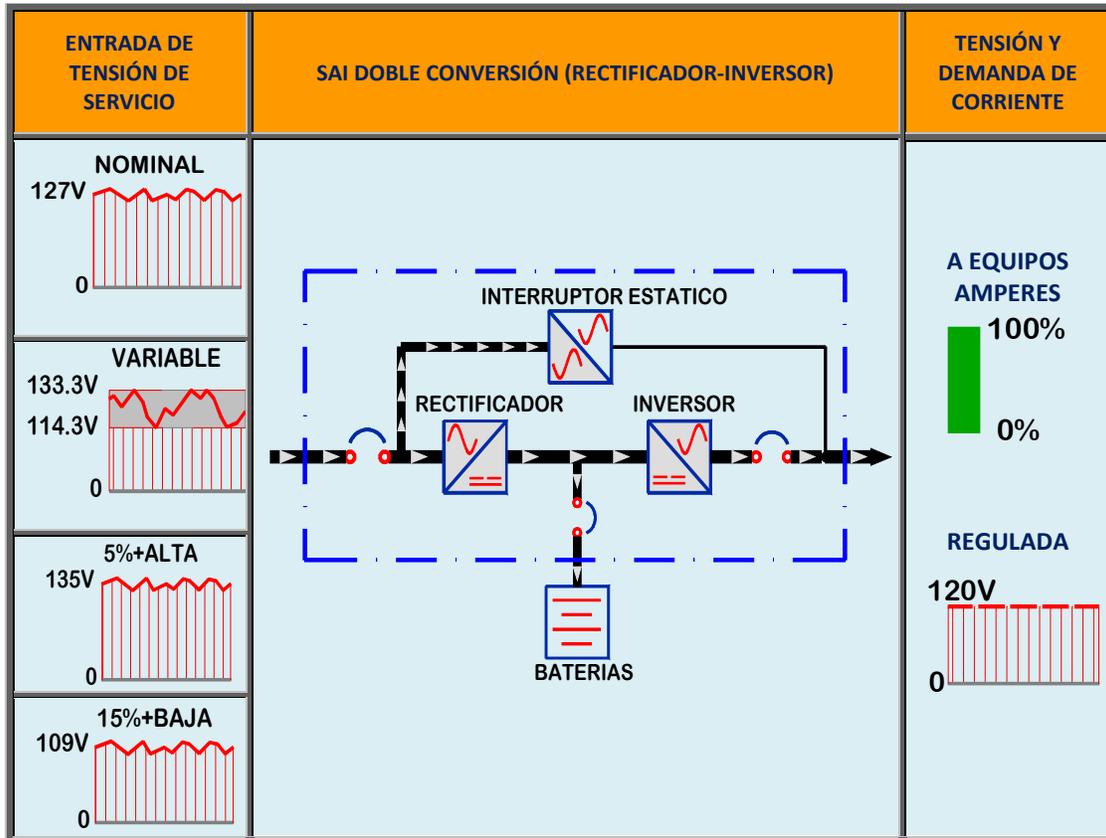
Se expone a detalle los tres modos de operación para una entrada de tensión nominal de 220Y/127V con una banda de tolerancia en el servicio de +5% y -10%, a una frecuencia de 60Hz con diagramas que indican el flujo y nivel de corriente así como la tensión.

## 5.1 Modo normal.

Cuando el SAI **está operando en modo normal**, recibe un nivel de **tensión de servicio** dentro de la banda de tolerancia. **La tensión de servicio puede estar en un valor fijo ó fluctuar en este rango, la cual, puede aceptar el SAI para trabajar en modo normal** sin efectuar alguna operación de contingencia. Naturalmente, si el SAI es trifásico, el nivel de tensión en cada fase también difiere una de otra y por lo tanto es importante que a la salida las tres tensiones estén fijas. Se explican los diferentes casos de forma explícita en que un SAI doble conversión permanece en modo normal:

- ◆ Cuando la tensión de entrada de servicio tiene una tendencia de 220Y/127 volts, simplemente fija y regula la tensión de salida a una de servicio de 208Y/120 volts.
- ◆ Variaciones de voltaje rms o eficaces que se presentan durante las 24 horas del día; las cuales estén **dentro de los límites de la banda de tolerancia de servicio permitidos, son reguladas a 208Y/120 volts**, es decir, **evita la variación de voltaje a la salida.**
- ◆ Una tensión de entrada que se encuentre **fuera** de la banda de tolerancia de servicio puede aceptarla el SAI sí y sólo si se encuentra **dentro** de su banda de tolerancia especificada ó programada internamente, entonces la regula de forma constante, sin interrupciones hacia la carga.

En la figura 5.2 se presenta con detalle los casos mencionados:



**Figura 5.2.** Modo NORMAL de operación de un SAI DOBLE CONVERSIÓN.

En los cuatro casos, mantiene la ó las tensiones a un mismo **nivel servicio a la salida** de 208Y/120 volts.

### 5.2 Modo Bypass.

Este modo lo utiliza el SAI como una línea de apoyo para que la circulación de corriente de la fuente principal fluya directamente hasta la carga critica cuando haya una contingencia que lo requiera, haciéndolo en dos tiempos extremadamente rápidos, la lógica de control activa en el primer tiempo (en 5µs) el interruptor estático para que este sostenga la carga brevemente y en el segundo tiempo (en 10ms) el interruptor de bypass se cierra y permanece así hasta que todo el sistema regrese a la normalidad, los siguientes problemas son causa para que se active:

- ◆ En una sobrecarga o demanda permanente de corriente superior a la nominal del equipo que perjudiquen la unidad de potencia.
- ◆ Sí existe una corriente de magnetización ( $I_{INRUSH}$ ) por el arranque de un equipo electrónico, como una impresora laser.
- ◆ Se considera que el SAI se protege y salvaguarda la carga. **Cuando el rectificador ó el inversor presenta una irregularidad en su funcionamiento,** se transfiere a bypass automáticamente, hace una prueba interna (Test) que dura unos segundos, y si no hay problema regresa a regular la carga, si persiste se queda en modo bypass hasta su mantenimiento.

En la figura 5.3 se presenta para estos casos la trayectoria que sigue el flujo de energía.

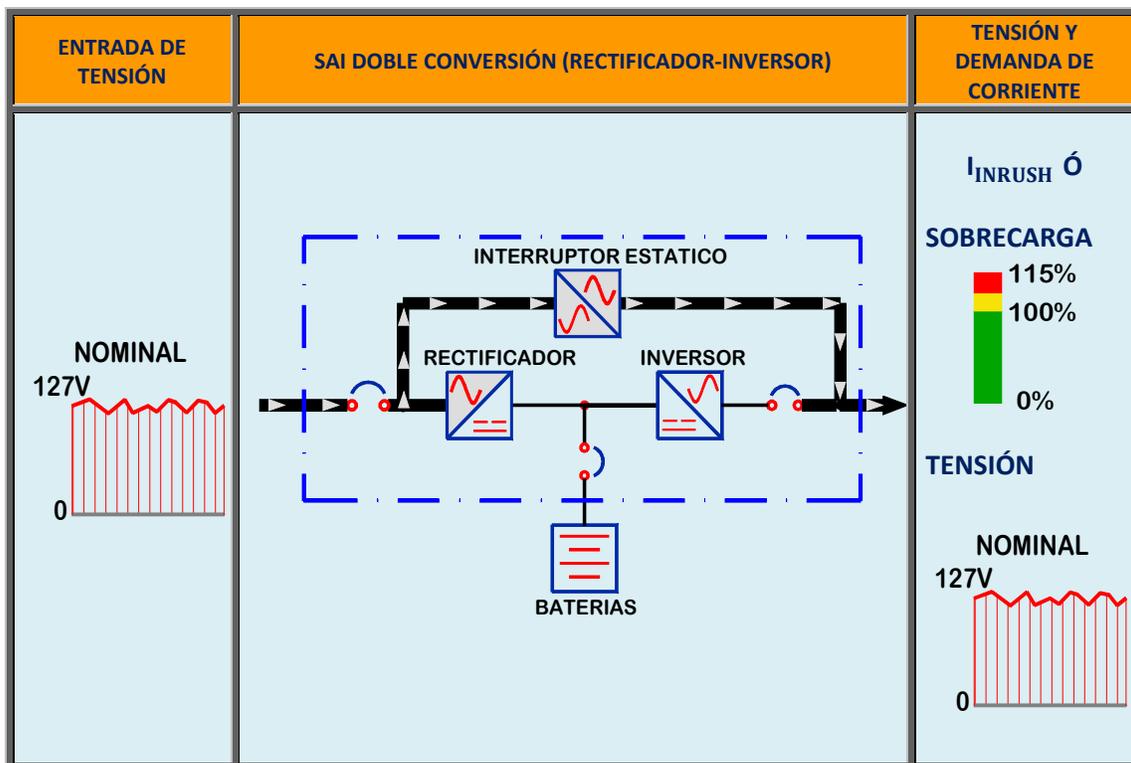


Figura 5.3 Modo baterías de operación.

Normalmente es una fuente principal del servicio público la que suministra energía a una empresa ó industria y es de donde se toma la corriente para alimentar el SAI, la cual se conecta tanto a la entrada del rectificador y al bypass.

Las industrias y fábricas grandes pueden tener dos fuentes principales de alimentación. Sí esté fuera el caso, una fuente principal se conecta a la entrada del rectificador y la otra fuente principal a la entrada del bypass, con éstas condiciones planteamos una causa más para el funcionamiento en modo bypass:

- ◆ Cuando la tensión de entrada al rectificador **extralimita la banda de tolerancia** permitida por el SAI, automáticamente se transfiere a la otra fuente por el interruptor de bypass. Como se muestra en la figura 5.4.

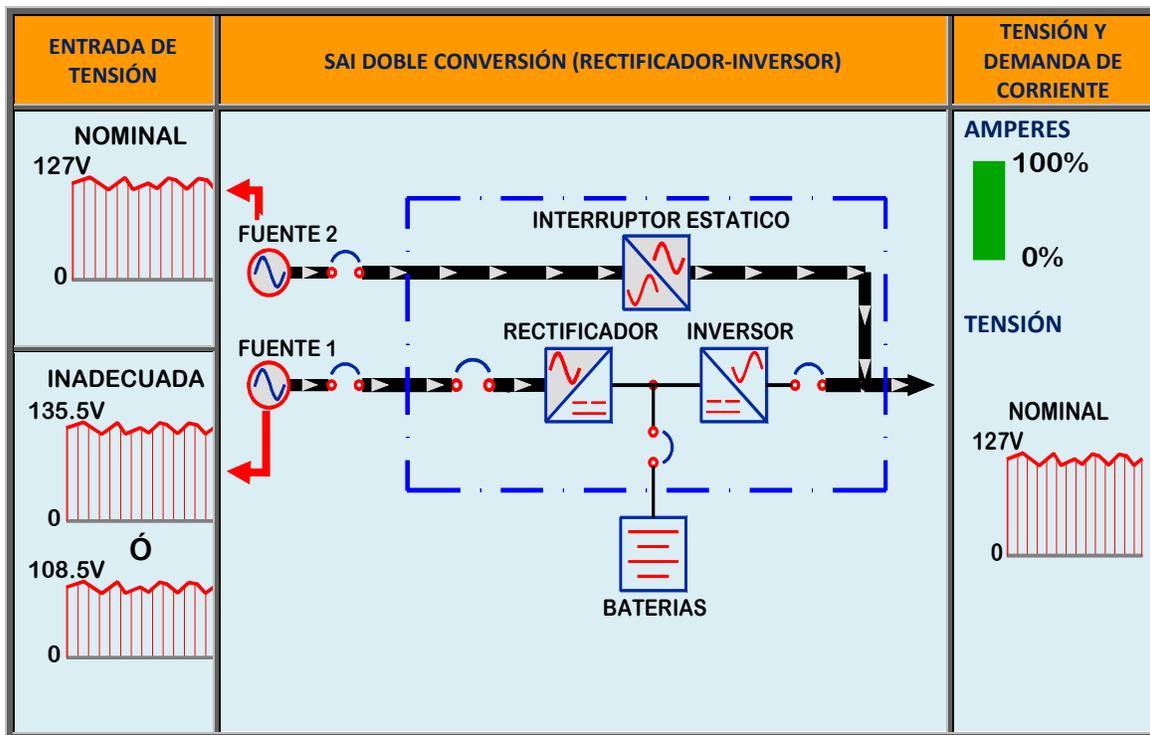


Figura 5.4. Modo en baterías de operación.

### 5.3 Modo Baterías.

Evidentemente las baterías con su energía almacenada salvaguarda la carga crítica por unos minutos, liberándola para alimentar el inversor en los siguientes casos:

- ◆ En **cortes imprevistos** de energía, **mantiene el flujo de la energía constante**, sin interrupciones hacia la carga.
- ◆ Cuando la tensión de entrada no es adecuada.
- ◆ Cuando la frecuencia de 60Hz se sale de  $\pm 1\text{Hz}$ .

En la figura 5.5 se muestra este último caso explicado.

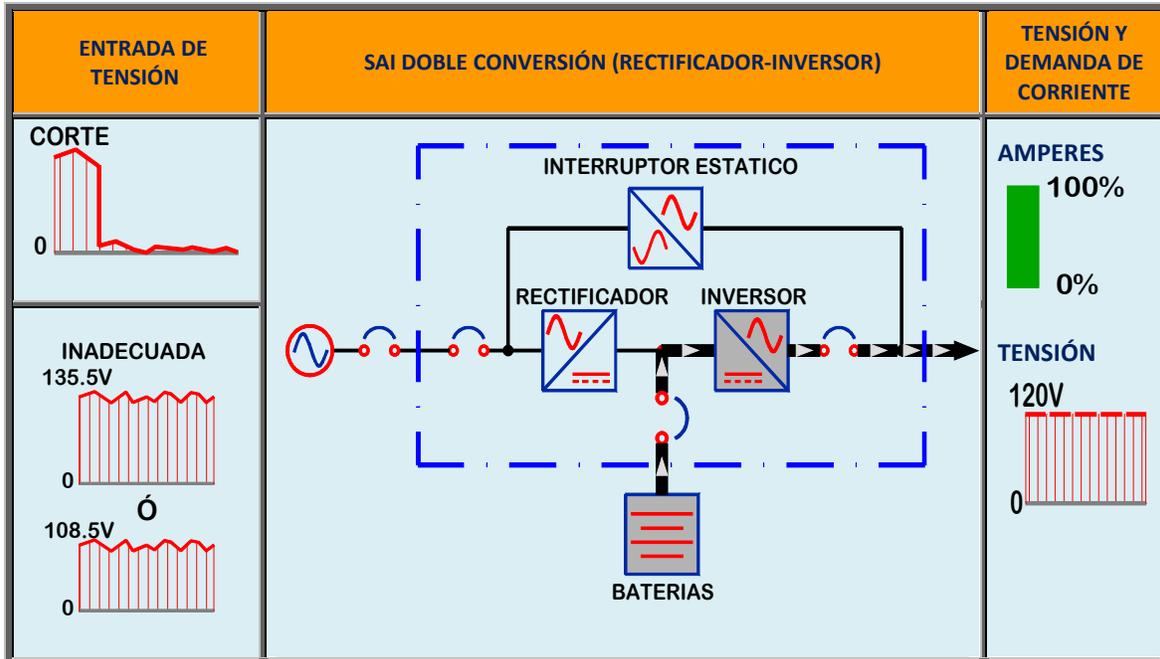


Figura 5.5 Modo en baterías de operación.

## 6. Equipos alternos de protección eléctrica.

Los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) pueden conectarse de forma individual, en paralelo e interactuar con otros equipos eléctricos para mejorar y ofrecer una energía eléctrica de calidad más elevada y reducir ó desaparecer cortes y disturbios de electricidad indeseables. Estos equipos pueden ser:

- ◆ Planta de emergencia (P.E.).
- ◆ Supresor de transitorios súbitos de tensión, TVSS.
- ◆ Transformadores con Factor "K".
- ◆ Unidad de distribución de potencia, PDU.

Se explica de forma breve la función y características principales de cada uno a continuación:

### 6.1. Planta de emergencia (P.E.).

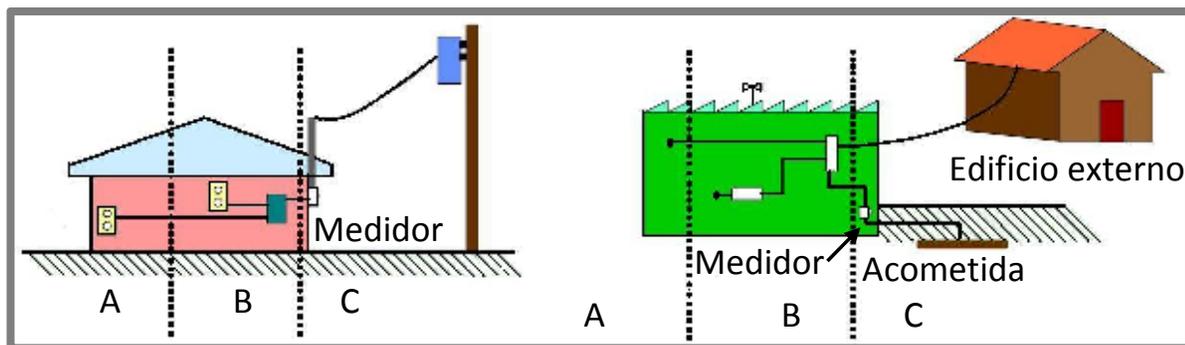
Es un generador de energía eléctrica que entra en operación con un retardo de 3 a 5 segundos después de una falla en el sistema eléctrico comercial proporcionando electricidad a las **cargas esenciales** y se encuentra normalmente en las instalaciones del usuario. Un **interruptor de transferencia** con **control electrónico** realiza el cambio de la fuente principal a la fuente emergente (P.E.). Después de 25 segundos, aproximadamente, de normalizado el servicio de energía eléctrica y evitando un regreso aparente, automáticamente se realiza la retransferencia (la carga esencial es alimentada nuevamente por la energía eléctrica del servicio normal) quedando aproximadamente 5 minutos encendida la planta para el enfriamiento del motor. El encendido y apagado del equipo es automático. En la figura 6.1 se presenta una planta de emergencia que podemos encontrar comúnmente.



**Figura 6.1** Planta de emergencia generadora de electricidad.

## 6.2. Supresor de transitorios súbitos de tensión, TVSS.

Su función es recortar los sobrevoltajes transitorios, drenando corriente para sujetar el transitorio e impedir que siga su ascenso repentino. Cuando el voltaje debido al disturbio excede cierto valor, el dispositivo de protección permite el paso de la corriente ocasionando una caída de potencial en la impedancia de la fuente. Se clasifican de acuerdo a su ubicación en tres niveles de exposición A, B y C. La figura 6.2 ilustra la ubicación de las tres categorías.



**Figura 6.2** Ubicación de los supresores de transitorios, TVSS.

El nivel de exposición se refiere a la cantidad de corriente de la que puede disponer un fenómeno transitorio dentro de la instalación. Conforme más cerca estamos de la acometida

eléctrica, más disponibilidad se tiene. Mientras más nos alejamos de la misma, debido a la impedancia de los cables y dispositivos intermedios, esta disminuye.

**Nivel C:** corresponde al de mayor exposición en el que se tiene mayor disponibilidad de corriente para un evento transitorio debido a la cercanía de la fuente principal, afecta a las siguientes ubicaciones:

- ◆ Instalación exterior y acometida.
- ◆ Circuitos que van del watthorímetro al tablero principal.

**Nivel B:** Corresponde al de exposición media. Se cuenta con cableado y dispositivos de distribución en el camino, así como nuevas fuentes como transformadores de aislamiento y SAIs, afecta a las localidades siguientes:

- ◆ Alimentadores y circuitos derivados cortos.
- ◆ Tableros de distribución.
- ◆ Tomacorrientes para aparatos grandes con cableados cercanos a la acometida.
- ◆ Sistemas de iluminación en edificios comerciales.

**Nivel A:** Corresponde al nivel de exposición más bajo. En este nivel se cuida más el filtrado que la supresión, debido a que sí se cuenta con elementos de supresión en los niveles anteriores, estos se encargarán de minimizar el rizo del transitorio. Afecta a las ubicaciones siguientes:

- ◆ Tomacorrientes y circuitos derivados largos.
- ◆ Todos los tomacorrientes que estén a más de 10 m de categoría B con hilos #14AWG - #10AWG.
- ◆ Todos los tomacorrientes que estén a más de 20 m de categoría C con hilos #14AWG - #10AWG.

Las capacidades de protección mínimas se presentan en la tabla 7 y en la figura 6.3 se muestra un TVSS trifásico.

Protección por fase	Categoría	Elementos principales	Ejemplos
400kAmp ó 300kAmp	C	Transformadores y subestaciones.	Tableros trifásicos mayores a 1000 amperes ó SAIs mayores a 300kVAs
200kAmp ó 140kAmp	B	Tableros Generales.	Tableros trifásicos 550 a 800 amperes ó SAIs de 180 a 250 kVAs
140kAmp y 100kAmp	A	Tableros de Distribución y PDU's.	Tableros finales monofásicos ó SAI monofásicos. Tableros trifásicos de 260 a 500 amperes ó SAIs de 100 a 160 kVAs.

**Tabla 7.** Capacidad del TVSS por categoría.



**Figura 6.3** Supresor de tensiones transitorias trifásico, TVSS

En este mismo contexto hay dos tipos de transitorios en modo común y de modo diferencial. El **transitorio en modo diferencial** se hace presente entre los dos conductores que normalmente llevan corriente; entre la fase y el neutro. El voltaje entre neutro y tierra no presenta transitorio alguno; el voltaje es cero.

El **transitorio de modo común** se presenta en el conductor de puesta a tierra. Aunque los transitorios más comunes son los de modo diferencial, la recomendación es que se cuente con protección de vivo a neutro, de vivo a tierra y de neutro a tierra.

Es muy importante que el supresor de transitorios esté cerca de la carga a proteger (a menos de 30cm). **Nunca el supresor de transitorios debe estar retirado de la carga (tablero, SAI, equipo)**, cuando se presenta un transitorio con frente de onda muy pronunciado es seguro que éste llegue al equipo crítico y le cause un daño ó disminuya su vida útil de forma considerable.

### 6.3. Transformadores con Factor “K”.

Son transformadores que resisten las corrientes armónicas excesivas y tienen una conexión a neutro más grande, para resistir la suma de la corriente fundamental más las corrientes armónicas, sin sobrecalentamiento. En la tabla 8 se presenta el factor del transformador y el tipo de carga que protege de armónicos.

FACTOR K	CARGA LÍNEAL O NO LÍNEAL	CARGAS TÍPICAS
K-1	CARGAS LÍNEALES (NO MÁS DEL 15% NO-LÍNEAL) CORRIENTE DE NEUTRO=100%	ILUMINACIÓN INCANDESCENTE. HORNOS ELECTRICOS. CARGAS RESISTIVAS.
K-4	CARGA 50% LÍNEAL, 50% NO-LÍNEAL. CORRIENTE DE NEUTRO=150%	SAI CON FILTRO DE ENTRADA. SOLDADORAS ELÉCTRICAS. CALENTADORES DE INDUCCIÓN. PLCs Y CONTROLES DE ESTADO SÓLIDO
K-9	UN TRANSFORMADOR DISEÑADO ENTRE EL K-4 Y EL K-13, ES DE MUY POCO USO.	
K-13	CARGA NO-LÍNEAL HASTA EL 100%. CORRIENTE DE NEUTRO = 200%.	SAI SIN FILTRO DE ENTRADA. EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES, MEDICOS. LINEAS DE ENSAMBLE O PRUEBAS.
K-20	CARGA NO-LÍNEAL, 1 Y 3 FASES. CORRIENTE DE NEUTRO = 250%.	REDES DE COMPUTADORAS. CONTROLES DE VELOCIDAD VARIABLE. EQUIPOS MEDICOS Y QUIROFANOS.
K-30 Y K-40	APLICACIONES ESPECIALES EN DONDE SE DISEÑA EL TRANSFORMADOR DE ACUERDO A SU CARGA ARMÓNICA.	

**Tabla 8.** Aplicaciones de transformadores con FACTOR K.

Se fabrican con blindajes electrostáticos el cual puede reducir el ruido en modo común y el ruido en modo normal. Aislando de esta forma la carga crítica. Los transformadores más comunes que se usan como transformadores de aislamiento a la entrada y salida del SAI son del tipo K-13. Se muestra en la figura 6.4 un transformador con factor K.



**Figura 6.4** Transformador con FACTOR K.

#### **6.4. Unidad de Distribución de Potencia (PDU).**

Son tableros de distribución que se encuentran sobre el piso del centro de computo y distribuyen la energía proporcionada por el SAI hacia las cargas críticas, incluye interruptores principales y derivados, panel de distribución, pueden incluir un transformador de aislamiento tipo K1, K13 ó K20, un dispositivo de monitoreo de potencia y supresor de transitorios (TVSS).



**Figura 6.5** Unidad de Distribución de Potencia, PDU.

## 7. Procedimientos de instalaciones eléctricas.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 "INSTALACIONES ELÉCTRICAS (UTILIZACIÓN) contempla la forma de cómo se deben realizar las instalaciones eléctricas en México. Tiene carácter de obligatoriedad en todo el territorio nacional. Se elaboró con el objetivo de establecer las disposiciones y especificaciones de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a protección contra choque eléctrico, sobrecorrientes, corrientes de falla, sobretensiones, fenómenos atmosféricos e incendios, entre otros. Y considero que es importante mencionar algunos de los diversos puntos que se deben de tomar en cuenta con su artículo respectivo:

### 7.1 Conexión a tierra.

En la instalación eléctrica de un sistema de alimentación ininterrumpida, SAI, como en la más común, es de vital importancia que el usuario tenga un electrodo de cobre enterrado o malla de tierras ahogadas en el subsuelo de su instalación, **para la puesta a tierra** de equipos, comprendiéndose como la unión directa entre un gabinete metálico de un equipo eléctrico y un electrodo de cobre o malla de tierras, de tal forma, que en todo momento pueda asegurarse que el conjunto está prácticamente al mismo potencial de la tierra.

Existen dos clasificaciones de las puestas a tierra:

- ◆ **Puesta a tierra de protección.**
- ◆ **Puesta a tierra de servicio.**

La ***puesta a tierra de protección*** se instala para prevenir accidentes personales. Todas las partes metálicas de una instalación eléctrica que no pertenecen al circuito eléctrico tienen que estar puestas a tierra cuando al producirse de forma accidental o intencional hasta por arcos eléctricos pueden entrar en contacto con cables vivos. Por lo tanto, hay que conectar a tierra los siguientes elementos de la instalación:

- Gabinetes de equipos y transformadores.
- Tubería conduit, charolas metálicas y cajas de conexión.
- Rejas de protección.

La sección 250-24, inciso a), de la NOM-001-SEDE-2005, el cual se describe en la tabla 9 indica que cada edificio debe tener un electrodo de puesta a tierra.

**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.

**Tabla 9.** Sección 250-24 de la NOM-001-SEDE-2005.

La ***puesta a tierra de servicio*** es la que pertenece al circuito eléctrico, es decir, es el puente de unión que se debe colocar en el equipo de acometida entre el electrodo de cobre enterrado con el neutro del sistema, que es donde está el equipo de desconexión principal de la entrada de la energía eléctrica de la CFE al edificio, casa o industria. Esto se lleva a cabo con la finalidad de que, cuando se presente un falla a tierra (contacto entre fase y metal) se produzca un corto circuito que haga operar el dispositivo de protección contra sobrecorriente que se encuentra en el conductor vivo. Si esta unión no está hecha entre el conductor de tierra y el neutro, no operara el dispositivo de protección contra sobrecorriente. También están incluidos en este grupo, los circuitos de tierra de los pararrayos y otros dispositivos de protección contra sobretensiones.

Si hay una subestación eléctrica transformadora en la instalación del usuario, el conductor de tierra se conecta a la terminal neutra "X0" del devanado secundario del transformador. La sección 250-27, inciso b), de la NOM-001-SEDE-2005, indica la

conexión entre el neutro y el electrodo de puesta a tierra a través de un conductor aislado y se presenta en la tabla 10.

**250-27. Conexiones de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.** Los sistemas con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia, tal como se permite en la Excepción 5 de 250-5(b), deben cumplir las siguientes condiciones:

**a) Ubicación de la impedancia de puesta a tierra.** La impedancia de puesta a tierra debe instalarse entre el conductor del electrodo (o sistema de electrodos) de puesta a tierra y el neutro del sistema. Cuando no haya neutro disponible, la impedancia de puesta a tierra se debe instalar entre el conductor del electrodo (o sistema de electrodos) de puesta a tierra y el neutro derivado de un transformador de puesta a tierra.

**b) Conductor neutro.** El conductor procedente del punto neutro de un transformador o de un generador hasta su punto de conexión con la impedancia de puesta a tierra, debe estar completamente aislado. El conductor neutro debe tener una capacidad de conducción de corriente no inferior a la corriente eléctrica máxima nominal de la impedancia de puesta a tierra. En ningún caso el conductor neutro debe ser inferior a 8,37 mm<sup>2</sup> (8 AWG) en cobre o a 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) en aluminio.

**c) Conexión del neutro del sistema.** El conductor neutro del sistema no debe ser puesto a tierra excepto a través de la impedancia de puesta a tierra.

**Tabla 10.** Sección 250-27 de la NOM-001-SEDE-2005.

De acuerdo a la sección 250-81, de la NOM-001-SEDE-2005, hay varios sistemas interconectados entre si que se consideran como electrodos de puesta a tierra como lo muestra la tabla 11.

**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 25  $\Omega$ .

**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 mm<sup>2</sup> (6 AWG) o un cable de aluminio de 21,2 mm<sup>2</sup> (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 mm<sup>2</sup> (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 mm<sup>2</sup> (2 AWG).

**Tabla 11.** Sección 250-81 de la NOM-001-SEDE-2005.

La sección 250-83, de la NOM-001-SEDE-2005, menciona electrodos especialmente contruidos que se consideran como electrodos de puesta a tierra como lo muestra la tabla 12.

<p><b>250-83. Electrodos especialmente contruidos.</b> 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 25 <math>\Omega</math>.</p> <p>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.</p> <p><b>a) Sistema de tubería metálica subterránea de gas.</b> No se debe usar como electrodo de puesta a tierra un sistema de tubería metálica subterránea de gas.</p> <p><b>b) Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos.</b> Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos, como tubería y tanques subterráneos.</p> <p><b>c) Electrodos de varilla o tubería.</b> 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: 106 (Segunda Sección) DIARIO OFICIAL Lunes 13 de marzo de 2006</p> <p><b>1)</b> 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.</p> <p><b>2)</b> 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.</p> <p><b>3)</b> 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.</p> <p><b>d) Electrodos de placas.</b> Los electrodos de puesta a tierra de placas deben tener en contacto con el suelo un mínimo de 0,2 m<sup>2</sup> 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.</p>
---

**Tabla 12.** Sección 250-83 de la NOM-001-SEDE-2005.

En particular la conexión a tierra sirve para la seguridad del personal, protección de equipos, el correcto desempeño del sistema electrónico sensible y una inadecuada conexión a tierra puede derivar en un riesgo para el personal. La sección 250-43 de la NOM-001-SEDE-2005, menciona obligatoriamente que todos los equipos deben ser puestos a tierra como lo muestra la tabla 13.

**250-43. Equipo fijo o conectado de forma permanente-específico.** Deben ser puestos a tierra, independientemente de su tensión eléctrica nominal, las partes metálicas expuestas y no conductoras de corriente eléctrica del equipo descrito a continuación ((a) a (j)), y las partes metálicas no destinadas a conducir corriente eléctrica del equipo y de envolventes descritas en (k) y (l):

**a) Armazones y estructuras de tableros de distribución.** Los armazones y estructuras de tableros de distribución en los que esté instalado equipo de interrupción.

**Tabla 13.** Sección 250-43 de la NOM-001-SEDE-2005.

La conexión a tierra de los SAI de gran capacidad es muy importante, cuando suministra energía eléctrica a cargas críticas de cómputo. Particularmente una segunda malla de tierra ahogada es conectada a través de un conductor de cobre desnudo a la barra de tierras del SAI y de aquí parte como tierra aislada con un conductor de cobre con forro color verde hacia las unidades de distribución de potencia PDUs y de aquí hacia las salidas de servicio de contactos con tapa color naranja. Con el objetivo de brindar aislamiento de ruido eléctrico y de armónicas, en su trayecto no debe tocar cajas de conexión o tuberías de cableado eléctrico hasta conectarse al contacto eléctrico y de ahí a las cargas.

La identificación de los conductores por medio de colores ayuda en gran medida identificar los conductores vivos que llevan corriente o fases del conductor neutro y tierra física, estableciendo el siguiente código que se muestra en la tabla 14.

CONDUCTOR	COLOR
NEUTRO	BLANCO O GRIS CLARO.
TIERRA FISICA	VERDE ó VERDE CON FRANJAS AMARILLAS, SI ESTÁ AISLADO. Ó PUEDE IR SIN AISLAMIENTO (DESNUDO).
FASES ó VIVOS	NEGRO, ROJO Y AZUL.

**Tabla 14.** Identificación de conductores por color.

Dichas identificaciones son colocadas por medio de un trozo de cinta aisladora del respectivo color y viene establecido en la sección 310-12 de la NOM-001-SEDE-2005, como lo presenta la tabla 15.

**310-12. Identificación de los conductores**

**a) Conductores puestos a tierra.** Los conductores aislados, de tamaño nominal de 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) o más pequeños, diseñados para usarse como conductores puestos a tierra en circuitos, deben tener una identificación exterior de color blanco o gris claro. Los cables multiconductores planos de tamaño nominal de 21,2 mm<sup>2</sup> (4 AWG) o mayores pueden llevar un borde exterior sobre el conductor puesto a tierra.

**Excepción 1:** Los cables de aparatos eléctricos, como se indica en el artículo 402.

**Excepción 2:** Los cables con recubrimiento metálico y aislamiento mineral.

**Excepción 3:** Un conductor de circuitos derivados identificado como se establece en 210-5(a).

**Tabla 15.** Sección 310-12 de la NOM-001-SEDE-2005.

Es importante cuidar **la pulcritud y tendido limpio de cableado eléctrico, amarres y uniones mecánicas fijas, aisladas y correctas. Tableros de distribución aterrizados, limpios en el interior, con tapas e identificados**, así como su interruptor principal y derivados, son sólo algunas recomendaciones que **deben aplicarse y supervisar en una instalación eléctrica**. La tabla 16 muestra la sección 110-12 de la NOM-001-SEDE-2005 indica estas recomendaciones con carácter de obligatoriedad.

**110-12. Ejecución mecánica de los trabajos.** Los equipos eléctricos se deben instalar de manera limpia y profesional. Si se utilizan tapas o placas metálicas en cajas o cajas de paso no metálicas éstas deben introducirse como mínimo 6 mm por debajo de la superficie externa de las cajas.

**a) Aberturas no utilizadas.** Las aberturas no utilizadas de las cajas, canalizaciones, canales auxiliares, gabinetes, carcasas o cajas de los equipos, se deben cerrar eficazmente para que ofrezcan una protección sustancialmente equivalente a la pared del equipo.

**b) En envolventes bajo la superficie.** Los conductores deben estar soportados de modo tal que permitan el acceso fácil y seguro a las envolventes subterráneas o bajo la superficie, a los que deban entrar personas para instalación y mantenimiento.

**c) Integridad de los equipos y conexiones eléctricas.** Las partes internas de los equipos eléctricos, como las barras colectoras, terminales de cables, aisladores y otras superficies, no deben estar dañadas o contaminadas por materias extrañas como restos de pintura, yeso, limpiadores, abrasivos o corrosivos. No debe haber partes dañadas que puedan afectar negativamente al buen funcionamiento o a la resistencia mecánica de los equipos, como piezas rotas, dobladas, cortadas, deterioradas por la corrosión o por acción química o sobrecalentamiento o contaminadas por materiales extraños como pintura, yeso, limpiadores o abrasivos.

**Tabla 16.** Sección 110-12 de la NOM-001-SEDE-2005.

La sección 110-12 de la NOM-001-SEDE-2005 menciona el cuidado que debe tenerse al hacer conexiones eléctricas como lo muestra la tabla 17.

**110-14. Conexiones eléctricas.** Debido a las diferentes características del cobre y del aluminio, deben usarse conectadores o uniones a presión y terminales soldables apropiados para el material del conductor e instalarse adecuadamente. No deben unirse terminales y conductores de materiales distintos, como cobre y aluminio, a menos que el dispositivo esté identificado (aprobado conforme con lo establecido en 110-2) para esas condiciones de uso. Si se utilizan materiales como soldadura, fundentes o compuestos, deben ser adecuados para el uso y de un tipo que no cause daño a los conductores, sus aislamientos, la instalación o a los equipos.

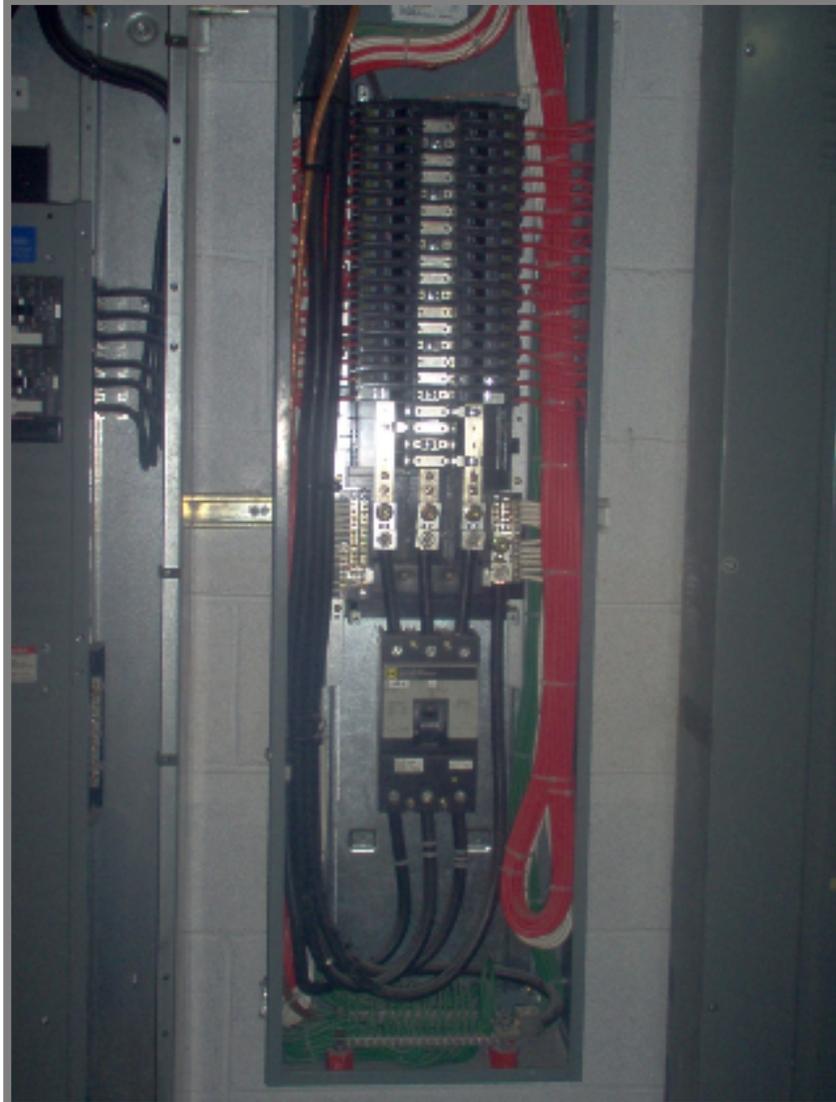
**a) Terminales.** Debe asegurarse que la conexión de los conductores a las terminales se realice de forma segura, sin deteriorar los conductores y debe realizarse por medio de conectadores de presión (incluyendo tornillos de fijación), conectadores soldables o empalmes a terminales flexibles. Se permite la conexión por medio de tornillos o pernos y tuercas de sujeción de cables y tuercas para conductores con designación de 5,26 mm<sup>2</sup> (10 AWG) o menores.

Las terminales para más de un conductor y las terminales utilizadas para conectar aluminio, deben estar identificadas para ese uso (aprobadas conforme con lo establecido en 110-2).

**a) Empalmes.** Los conductores deben empalmarse con dispositivos adecuados según su uso o con soldadura de bronce, soldadura autógena, o soldadura con un metal de aleación fundible. Los empalmes soldados deben unirse primero, de forma que aseguren, antes de soldarse, una conexión firme, tanto mecánica como eléctrica (Véase 921-24(b)). Los empalmes, uniones y extremos libres de los conductores deben cubrirse con un aislamiento equivalente al de los conductores o con un dispositivo aislante adecuado.

**Tabla 17.** Sección 110-14 de la NOM-001-SEDE-2005.

En la figura 7.1 se presenta un tablero que cumple con los requisitos mínimos de una conexión de conductores apretados correctamente y tiene una limpieza en la ejecución del trabajo eléctrico. Podemos observar que llega desde la malla de tierras un conductor desnudo que sirve para aterrizar el gabinete unido a una barra de tierras donde parte un conductor color verde por cada interruptor derivado.



**Figura 7.1** Tablero de distribución que cumple con una instalación eléctrica correcta.

Es importante identificar de forma visible y adecuada la tensión de trabajo en los equipos eléctricos y etiquetar las puntas de cableado suelto cuando se hacen reparaciones, llegando a extraer tarjetas dañadas para su reparación o cambio. Señalar estos cambios internos en el equipo, si se hacen, por ejemplo, se agregan otros elementos de control o fuerza eléctrica modificando el equipo original.

En este sentido, el personal técnico eléctrico tiene el conocimiento y habilidad para realizar el trabajo, el cual debe contar con calzado para trabajo eléctrico, ropa

adecuada, casco y gafas de protección para su seguridad y la de los demás para llevar a cabo todas las adecuaciones y señalamientos pertinentes.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 "INSTALACIONES ELÉCTRICAS (UTILIZACIÓN) no es un manual, si no reglas adecuadas para un procedimiento correcto. Al realizar instalaciones eléctricas complejas hasta las más sencillas deben vigilarse para que cumplan en todo los aspectos, desde los accesorios y materiales que sujetan tubos conduit y charolas, tendido de cableado y uniones con el apriete que impida el juego que pueda provocar un calentamiento e identificación del área que alimentan los tableros de distribución.

## 8. Sistemas eléctricos típicos.

Existen algunas configuraciones típicas de **sistemas eléctricos** donde encontramos aplicado un **sistema de alimentación ininterrumpida con sus elementos**. Se presenta el diagrama unifilar de los más recurrentes y se describen a detalle.

Normalmente se utiliza la representación en los diagramas eléctricos por medio de una línea, llamado comúnmente **diagrama unifilar**. En la práctica, hay tres conductores eléctricos que transportan la corriente eléctrica, por eso no hay que olvidar que cada dispositivo se instala por triplicado ó se indica el número de conductores vivos ó fases, neutro y tierra física que transporta un hilo conductor en el diagrama.

**Diagrama unifilar 1.** Se presenta en la figura 8.1 y es un solo SAI con entrada de alimentación trifásica común al rectificador y al interruptor de bypass. Tiene una malla de tierras ahogadas del sistema eléctrico general donde se toma una **tierra desnuda, T.D.**, para **aterrizar el neutro del secundario del transformador de la subestación**. Sirve para aterrizar el gabinete del SAI y tableros metálicos que alojan barras de cobre, charolas, tuberías y cajas de conexión que transportan cable eléctrico; además tiene una **tierra aislada en color verde, T.A.**, que proviene de la barra de tierras del SAI y unida por un conductor al tablero de distribución para repartirla a las cargas críticas y con esto se evita traer una tierra con disturbios eléctricos desde la subestación principal. Se contempla la colocación de un supresor de transitorios, TVSS, en el tablero principal y otro en el tablero de distribución de cargas críticas.

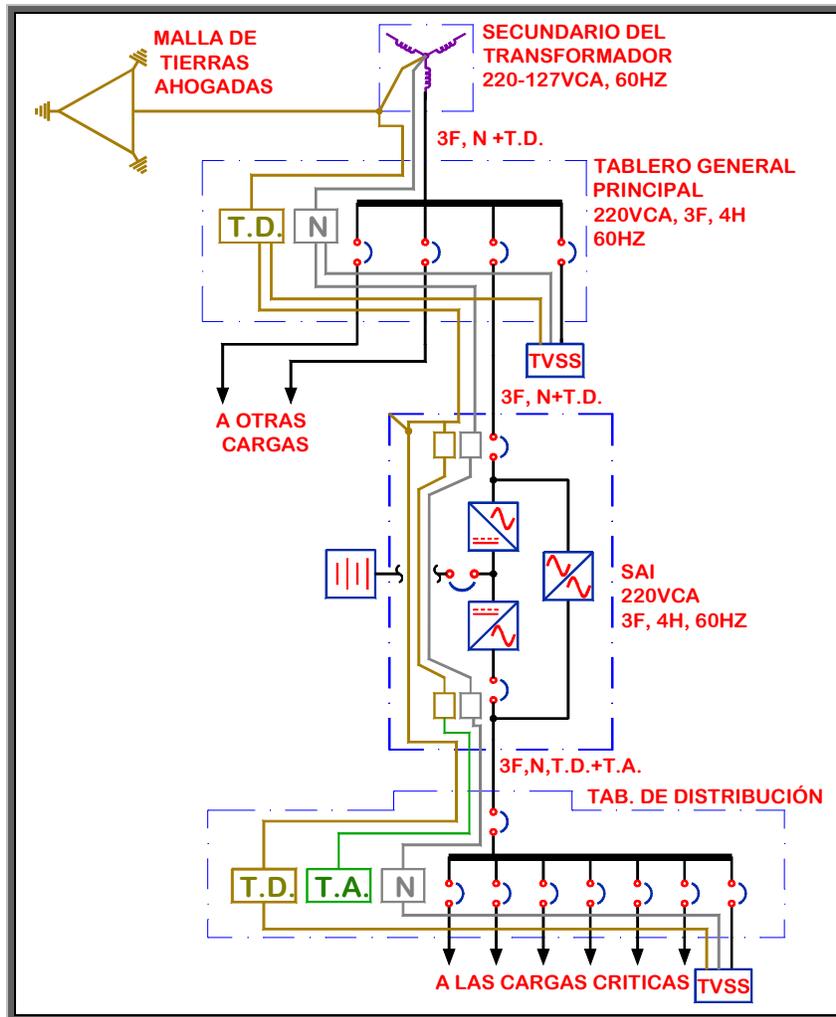


Figura 8.1 Diagrama unifilar 1.

**Diagrama unifilar 2.** Se muestra en la figura 8.2 y tenemos **dos transformadores de aislamiento**, uno **a la entrada y otro a la salida** del SAI. Con esto conseguimos un aislamiento contra armónicas y ruidos indeseables que llegaran al equipo, así también no pasarán hacia las cargas críticas si es que el SAI no tuviera un filtro adecuado. Se indica la malla de tierras ahogadas que se conectan por medio de un conductor a la zapata **neutro, N**, en ambos devanados de cada uno de los transformadores y se aterrizan los gabinetes de los equipos. También se señala una **unidad de distribución de potencia, PDU**, de la cual saldrán los circuitos derivados que alimentarán a las cargas críticas. Un supresor de transitorios se conecta al tablero general principal y otro en el PDU para una mejor protección.

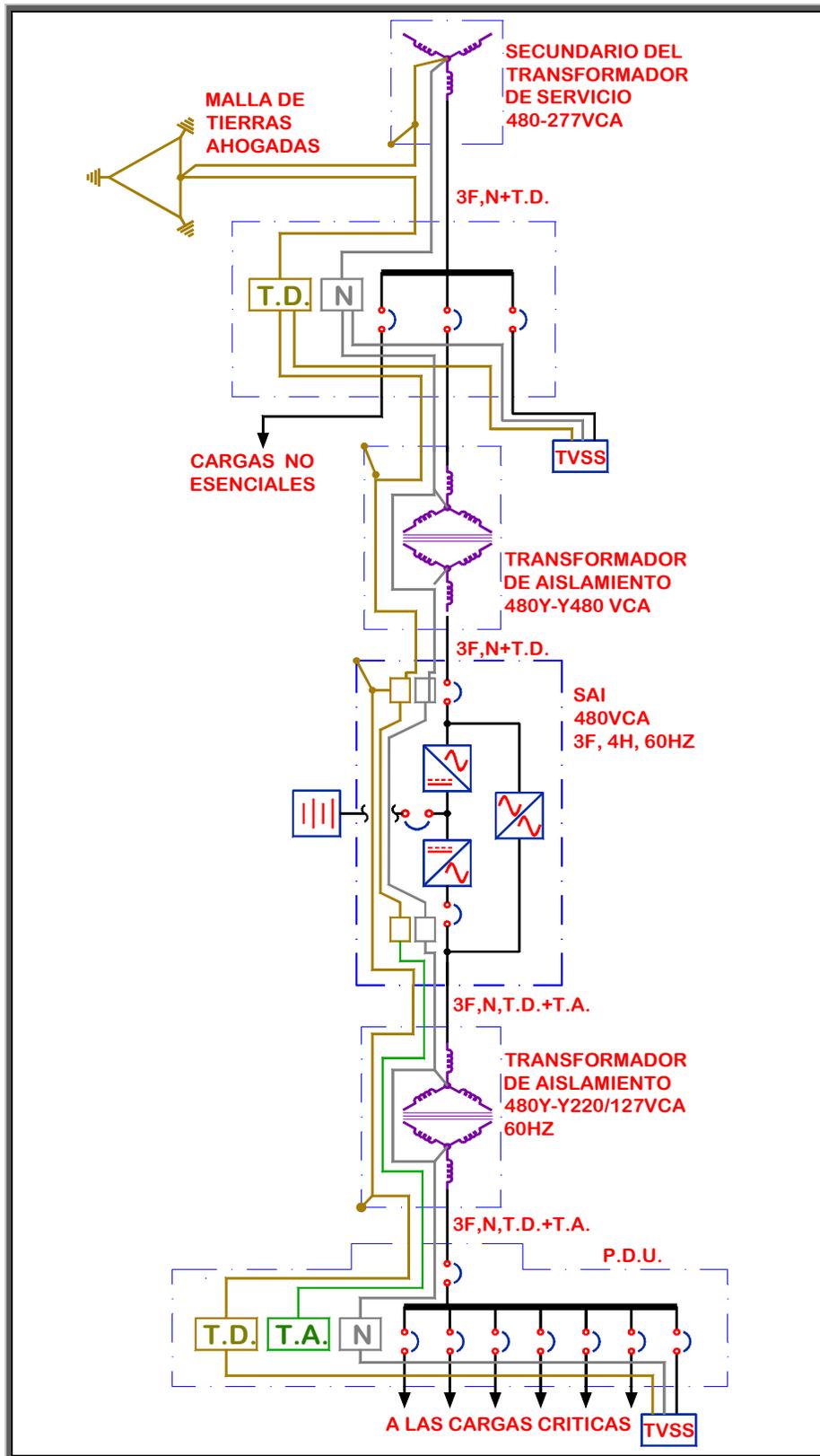


Figura 8.2 Diagrama unifilar 2.

**Diagrama unifilar 3.** Se muestra en la figura 8.3, señalamos una **planta de emergencia automática P.E.**, la cual proporcionará un suministro auxiliar de energía permanente en caso de falla en la línea principal y el **tablero de transferencia automático T.T.**, realizará el cambio y también lo revierte a modo normal cuando pase la anomalía en la línea principal. Después tenemos **un solo transformador de aislamiento y reduce la tensión de entrada de 480Y-Y220/127VCA hacia el SAI**, el cual protege y aísla contra armónicas y ruidos indeseables que llegaran al equipo, las cuales no pasarán hacia las cargas críticas. Ambos neutros son conectados a tierra desde la malla de tierras ahogadas y se aterrizan los gabinetes de los equipos. Desde el SAI parte una **tierra aislada T.A.** en color verde hacia las cargas críticas. También se señala una **unidad de distribución de potencia, PDU, que descansa sobre el piso del centro de computo**, de la cual saldrán los circuitos derivados. Un supresor de transitorios, **TVSS**, se conecta al tablero general principal y otro en el PDU para una mejor protección.

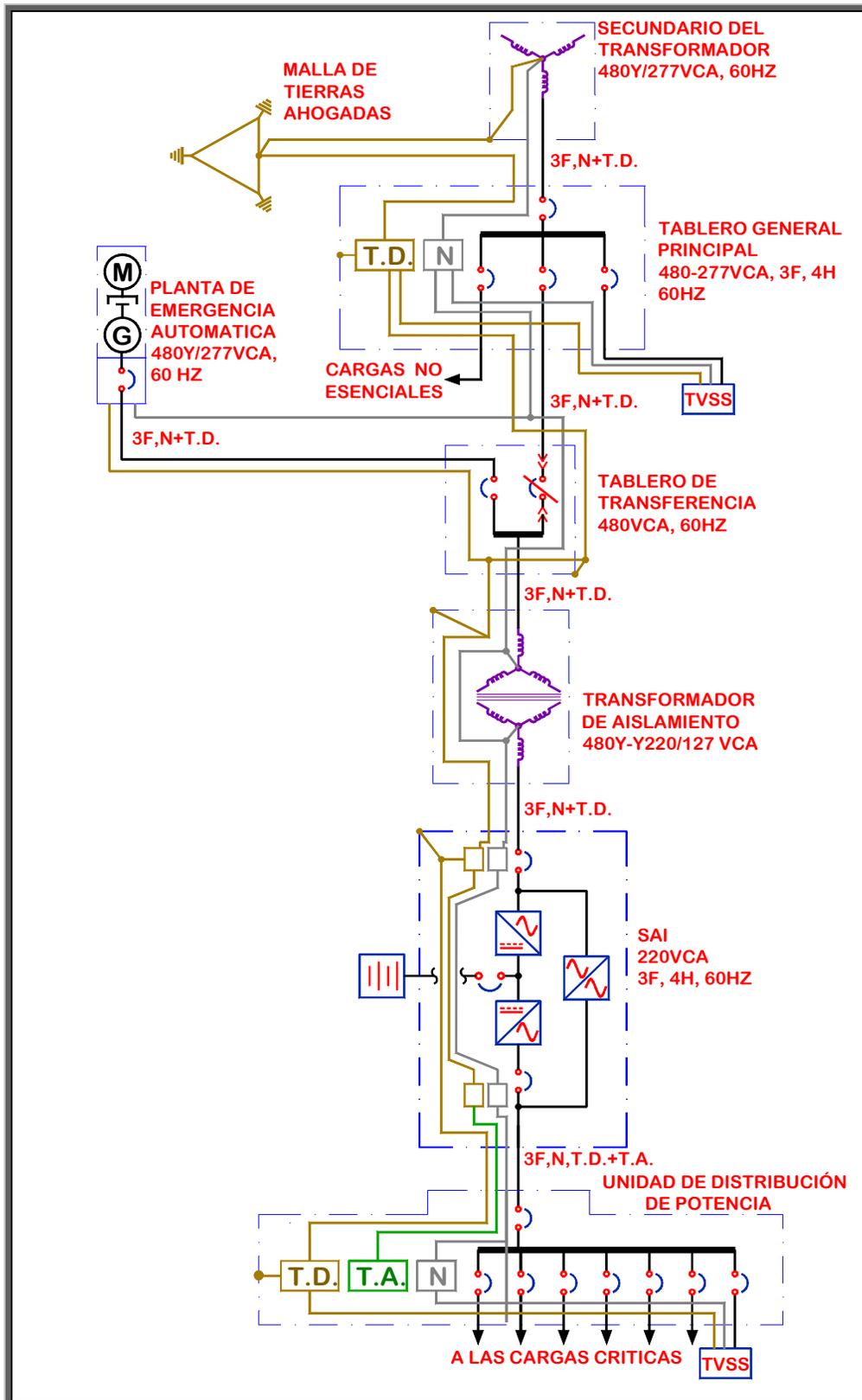


Figura 8.3 Diagrama unifilar 3.

**Diagrama unifilar 4.** En la figura 8.4 se encuentra este sistema eléctrico y se puede observar **el suministro de energía a cargas no esenciales, esenciales y críticas**, la cuales están alimentadas así:

- ◆ **Cargas No Esenciales:** se les proporciona potencia no regulada a través de un interruptor derivado del Tablero General Principal de alimentación de todo el sistema eléctrico.
- ◆ **Cargas Esenciales:** reciben energía no regulada y permanente del Tablero I-LINE de alimentación, el cual, es alimentado desde el bus de barras del Tablero de Transferencia, que a su vez alimenta al Tablero de Entrada a SAIs. El tablero de transferencia recibe energía en modo normal de la línea principal ó de emergencia de la Planta de Emergencia.
- ◆ **Cargas Críticas:** reciben energía de forma regulada y permanente desde la salida de los dos Sistemas de Alimentación Ininterrumpida que están conectados en paralelo.

Expongo los elementos principales que conforman el sistema eléctrico:

- ◆ Una Planta de Emergencia automática P.E. 220Y/127VCA, 60Hz.
- ◆ Un Tablero de Transferencia automático T.T. 220Y/127VCA, 60Hz.
- ◆ Un Tablero de alimentación de Entrada a SAIs.
- ◆ Dos Transformadores elevadores de tensión de aislamiento de entrada 220Y – Y480 VCA, 60Hz.
- ◆ Una 2ª Malla de Tierras ahogada y aislada, para proporcionarla limpia a las cargas críticas.
- ◆ Dos SAIs conectados en paralelo con transformadores de aislamiento a la salida cada uno.
- ◆ Un Gabinete de Paralelamiento con interruptores.
- ◆ Una Unidad de Distribución de Potencia P.D.U. con su TVSS.

Se especifica una **planta de emergencia automática P.E.**, la cual proporcionará un suministro auxiliar de energía permanente en caso de falla en la línea principal y el **tablero de transferencia automático T.T.**, realizará el cambio y también lo revierte a modo normal cuando pase la anomalía en la línea principal. Después tenemos la alimentación a los transformadores de aislamiento  $Y - Y$  los cuales **elevan la tensión de** entrada  $220Y - Y480$  VCA, 60Hz. Los cuales protegen y aíslan contra armónicas y ruidos indeseables que llegaran a los equipos, las cuales no pasarán hacia las cargas críticas. Luego la energía entra a los SAIs que están conectados en paralelo y sale regulada hacia el PDU que distribuye la energía a las cargas críticas.

Desde los SAIs parte una **tierra aislada T.A.** en color verde hacia las cargas críticas. La **unidad de distribución de potencia, PDU, descansa sobre el piso del centro de cómputo**, de la cual saldrán los circuitos derivados. Un supresor de transitorios, **TVSS**, se conecta al tablero general principal y otro en el PDU para una mejor protección.

Los SAIs unidos en paralelo están conectados de tal forma que sus fases de salida están conectadas así: FA con FA, FB con FB, FC con FC, y los neutros son unidos para formar un solo punto de unión.

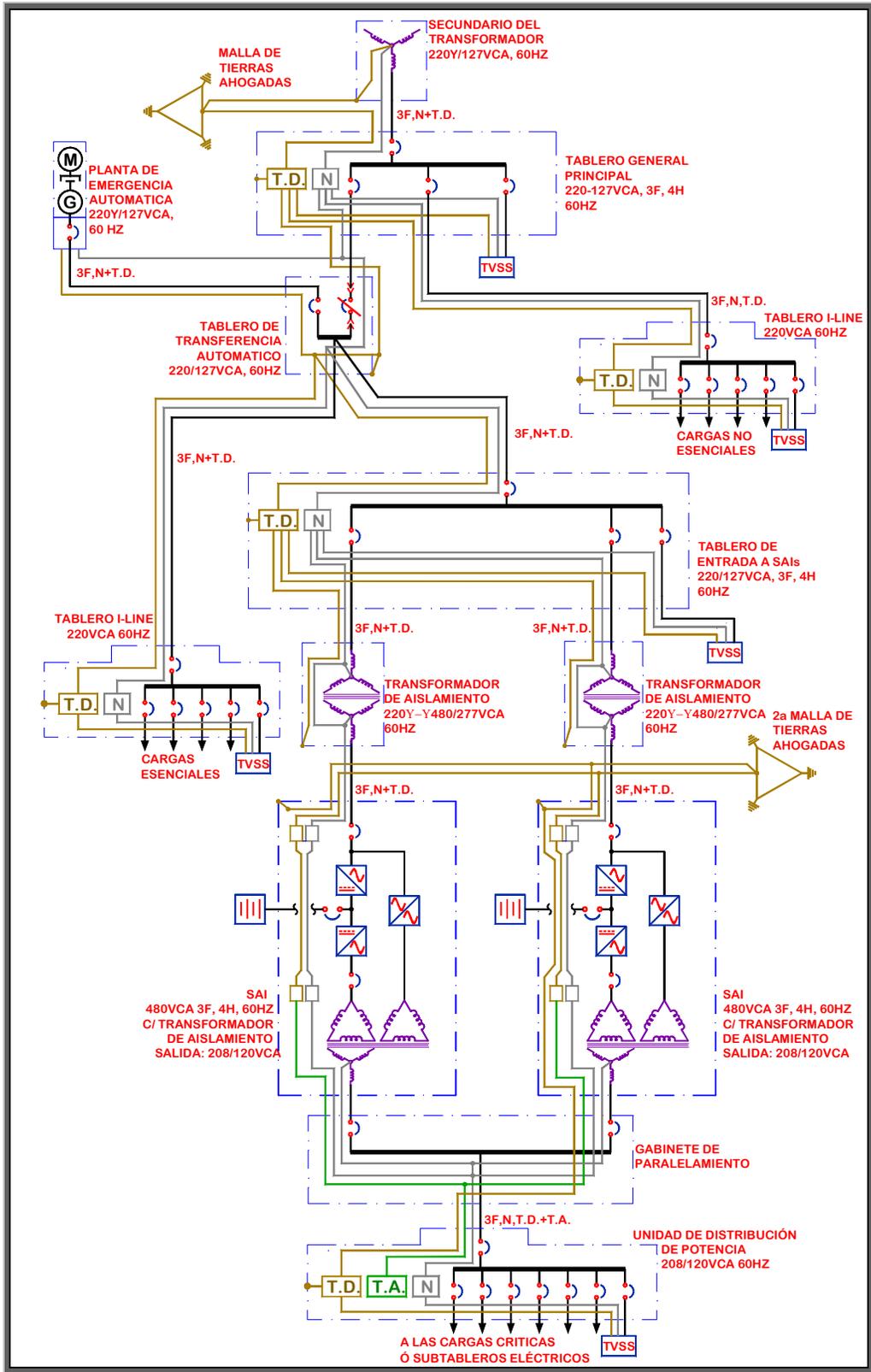


Figura 8.4 Diagrama unifilar 4.

Hay dos **modalidades** de funcionamiento **en paralelo: por redundancia y por capacidad.**

- ◆ **Paralelo por redundancia:** Por citar un ejemplo, si cada una de las unidades es capaz de soportar 120kVA y la carga total conectada a la salida del sistema es de 120kVA. Entonces, ya sea que una de las dos unidades, individualmente, puede soportar en un momento dado toda la carga aplicada en caso de una contingencia. En este mismo ámbito, en modo normal la carga se repartirá entre las dos unidades por igual, 50% y 50%, es decir 60kVA para cada unidad. Pueden conectarse hasta tres SAIs en paralelo, repartiéndose la carga con un 33.3% para cada unidad.
- ◆ **Paralelo por capacidad:** Si cada una de las unidades es capaz de soportar 120kVA y si la carga total conectada a la salida del sistema es de 200kVA. Entonces ambas unidades serán requeridas para soportar la carga aplicada y cada SAI en paralelo tomara equitativamente 100kVA cada uno, es decir 50% y 50%. Ya que los SAIs están en modo normal soportando la carga aplicada, el sistema entero será transferido a modo bypass automáticamente en caso de suceder una contingencia, ya que uno sólo no puede soportar toda la carga demandada. Se pueden conectar hasta cuatro SAIs en paralelo por capacidad.

Para ambas modalidades, cuando están en modo baterías, ambos SAIs se reparten la carga y anunciarán cuando está por terminarse la energía de las baterías cada uno.

En modo bypass, ambos se transfieren simultáneamente de forma sincronizada por control y automáticamente.

Aún cuando parece sencillo, cuando los SAIs en paralelo son de una gran capacidad, de 225kVA hasta 750kVA, el procedimiento y el tiempo que toma para poner uno sólo de ellos en servicio es largo y cauteloso, para evitar accidentes humanos, arranques fallidos, tarjetas que puedan dañarse y tiempos muertos innecesarios que pueden llevarse hasta días ó semanas. Todo esto es, considerando, a un ingeniero con

experiencia especializado en el conocimiento y arranque de SAIs de gran capacidad. El cual detecta con "cierta facilidad" la posible anomalía en el sistema.

Las figuras 8.5 a la 8.12 muestran elementos que forman un sistema eléctrico de los explicados anteriormente. La figura 8.5 es un ejemplo de un tablero general de alimentación que suministra energía a todo un sistema eléctrico.



**Figura 8.5** Tablero General Principal.

La figura 8.6 muestra un tablero de entrada de alimentación a dos SAIs como los presentados en el diagrama de la figura 8.4.



**Figura 8.6** Tablero de Entrada a SAIs, ver figura 8.4.

Se presenta en la figura 8.7 y 8.8 dos transformadores de aislamiento y se muestra su aplicación en los diagramas unifilares de las figuras 8.2, 8.3 y 8.4.



**Figura 8.7** Primer transformador elevador de tensión  
220Y/127 - 480Y/277 VCA, 60 Hz al primer SAI, ver figura 8.4.



**Figura 8.8** Segundo transformador elevador de tensión 220Y/127 - 480Y/277 VCA, 60 Hz que alimenta al segundo SAI, ver figura 8.4.

En la figura 8.9 se muestran dos SAIs conectados en paralelo, se presentó en la figura 8.4 la interconexión con más equipos eléctricos.



**Figura 8.9** Dos SAIs de gran capacidad, por ejemplo de 225kVA cada uno en paralelo redundante 480Y/277 VCA, salida 208Y/120, 60Hz, ver figura 8.4.

Se muestra en la figura 8.10 un tablero de salida regulado o unidad de distribución de potencia como fue expuesto en las figuras 8.1 a la 8.4.



**Figura 8.10** Tablero de salida regulado, los cuales alimentan a otros subtableros eléctricos, ver figura 8.1 a la 8.4.

La tierra física o malla de tierras ahogadas se presenta en la figura 8.11 que debe tener una instalación eléctrica, como se muestra en la figura 8.1 a la 8.4.



**Figura 8.11** Malla de tierras ahogadas, ver figura 8.1 a 8.4.

.El banco de baterías se presenta en la figura 8.12 y se mostró en los diagramas unifilares expuestos en las figura 8.1 a la 8.4



**Figura 8.12** Banco de baterías, dos string de 30 baterías cada uno, 400 Vcd aproximadamente, para un respaldo de 10 minutos, ver figura 8.1 a 8.4.

## 9. Dimensionamiento de un SAI.

Cuando hay que dimensionar ó proponer un sistema de alimentación ininterrumpida para una carga determinada de un centro de cómputo, hay varias formas de hacerlo y saberlo. Considerando los siguientes puntos preliminares.

- ◆ Normalmente un SAI se dimensiona con un 20% adicional de carga para futuros crecimientos ó en su caso evitar una sobrecarga mínima que dé lugar a una transferencia a bypass constantemente.
- ◆ El tiempo de respaldo en baterías requerido por el cliente.
- ◆ Voltaje de entrada al SAI y hacia las cargas.

Los siguientes puntos son diferentes maneras de conocer la capacidad de la carga:

- ◆ **El cliente ya tiene contemplado la capacidad del SAI:** Una vez adquirido el equipo, el Ingeniero de servicio realizará una visita técnica para verificar que las condiciones eléctricas sean las apropiadas y cumplan con las necesidades mínimas de una instalación eléctrica y espacio de alojamiento. Las condiciones técnicas son proporcionadas al cliente por el Ingeniero de servicio.
- ◆ **Un plano eléctrico es proporcionado por el cliente:** Donde se muestre todo su sistema eléctrico ó en su caso el área correspondiente al SAI, el cual debe incluir el conjunto de equipos, dispositivos, aparatos, accesorios, materiales y número de conductores por fase, neutro y tierra, así como circuitos principales y derivados, capacidad de los interruptores termomagnéticos, comprendidos desde la fuente hasta los equipos de utilización. Especificando en el diagrama unifilar la carga a respaldar por el SAI.
- ◆ **Hacer un levantamiento en campo,** es decir:
  - Tomar datos de capacidad de corriente y voltaje de los tableros eléctricos y calibre de los conductores de entrada al tablero y circuitos derivados que alimentan a las cargas sensibles.

- Obtener datos de placa de los equipos eléctricos críticos donde se indica el consumo de energía, voltaje y corriente.
  - Observar y proponer la posición del tablero de entrada y salida así como posibles trayectorias hacia las cargas críticas.
  - Proponer nuevas trayectorias de canalización eléctrica.
- ◆ **Por medio de un analizador de energía trifásico**, que mide y graba la calidad de energía en la instalación del cliente. Teniendo esté equipo y conectado a la carga (equipos), le solicitamos al cliente que la encienda para conseguir la corriente de consumo en estado activo.

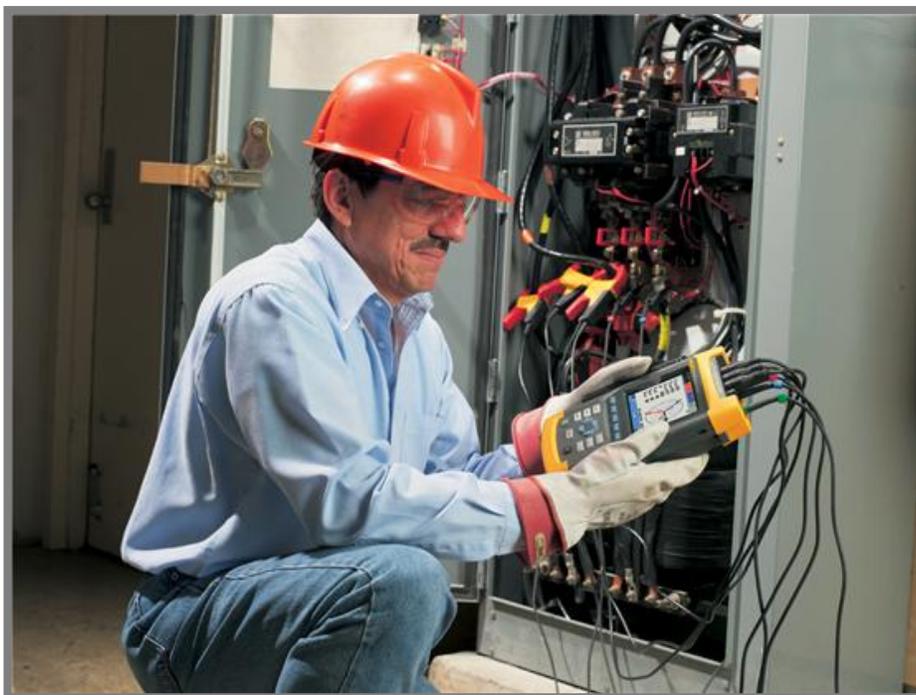
Se debe **utilizar obligatoriamente para medir la corriente de arranque** para dimensionar y proponer el SAI, la cual no viene en la placa de datos de los equipos, de una impresora por ejemplo, ya que una es la corriente nominal y otra la corriente de arranque.

El analizador de energía está diseñado para que automáticamente adquiera y guarde datos del sistema eléctrico como los mostrados en la tabla 17.

Potencia real, Watts.	Espectro de armónicas.
Potencia aparente, VA.	Distorsión Harmónica Total, THD.
Voltaje rms.	Transitorios.
Corriente rms.	Balanceo de fases.
Factor de potencia, F.P.	Frecuencia.
Consumo de energía, kWh.	Corriente de magnetización, $I_{INRUSH}$ , (corriente de arranque).
Parpadeo (Flicker).	Fecha y duración de eventos

**Tabla 17.** Datos obtenidos por un analizador de energía.

En la figura 8.1 se muestra un analizador de energía conectado a un tablero eléctrico para adquirir datos de la calidad de energía del suministro.

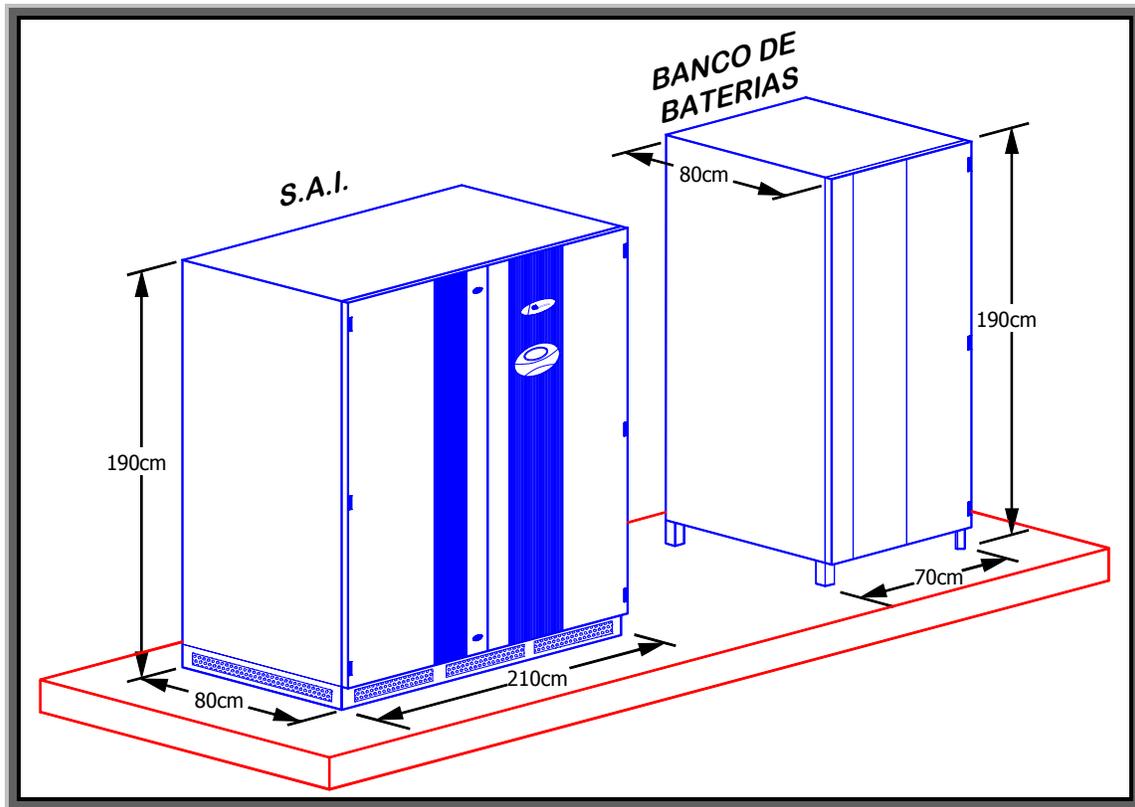


**Figura 8.1** Obteniendo datos con un analizador de energía.

Los puntos enlistados son elementos que se le debe proporcionar al cliente para llevar a cabo la instalación eléctrica del SAI:

- Capacidad de interruptores de entrada y salida.
- Calibre y número de cables por fase de entrada y salida.
- Calibre del cable del neutro.
- Calibre del cable desnudo de tierra física y tierra aislada (color verde).
- Diámetro de la tubería conduit ó ancho y peralte de la charola de aluminio en donde se transporta el cableado.
- Dimensiones de la unidad.
- Disipación de calor en BTUs para instalación de un aire acondicionado de precisión.
- Entrada del cableado a la unidad (posterior, lateral ó superior)
- Espacio libre entre paredes y la unidad con el banco de baterías para fines de mantenimiento preventivo, normalmente son 50cm.

- Dibujo con las dimensiones físicas como se muestra en la figura 8.2 y diagrama eléctrico preliminares con la información necesaria de los puntos anteriores.



**Figura 8.2** Dibujo que muestra las dimensiones del SAI y el Banco de Baterías.

Si ya elegimos un SAI al evaluar y conocer la capacidad de la carga y adicionándole el 20% por seguridad. Podemos dimensionar la batería plomo-acido de 12 volts a usar, conociendo:

- ◆ El tiempo mínimo de respaldo.
- ◆ La potencia aparente del SAI, Volts-amper.
- ◆ El factor de potencia de la carga.
- ◆ El voltaje nominal de c.d. del rectificador/cargador del SAI.
- ◆ El voltaje nominal de la batería.

Por ejemplo, si un SAI de 100kVA con una tensión de 220Y/127, 60Hz. La carga tiene un F.P. de 0.8, y se respaldará por 5 minutos con un voltaje nominal del rectificador de 300Vcd.

La potencia liberada por el string ó cadena de la batería es:

$$Potencia_{BATERIA} = 100kVA \times 0.8F.P. = 80kW$$

Los amper-hora por batería requerida para 5 minutos de descarga es

$$Amper - hora = \frac{80\,000W}{300V} \times \frac{5min}{60} = 22.22 A - hr$$

Se escoge la batería inmediata superior a los 22.22 A-hr, la de 12V y 26 A-hr.

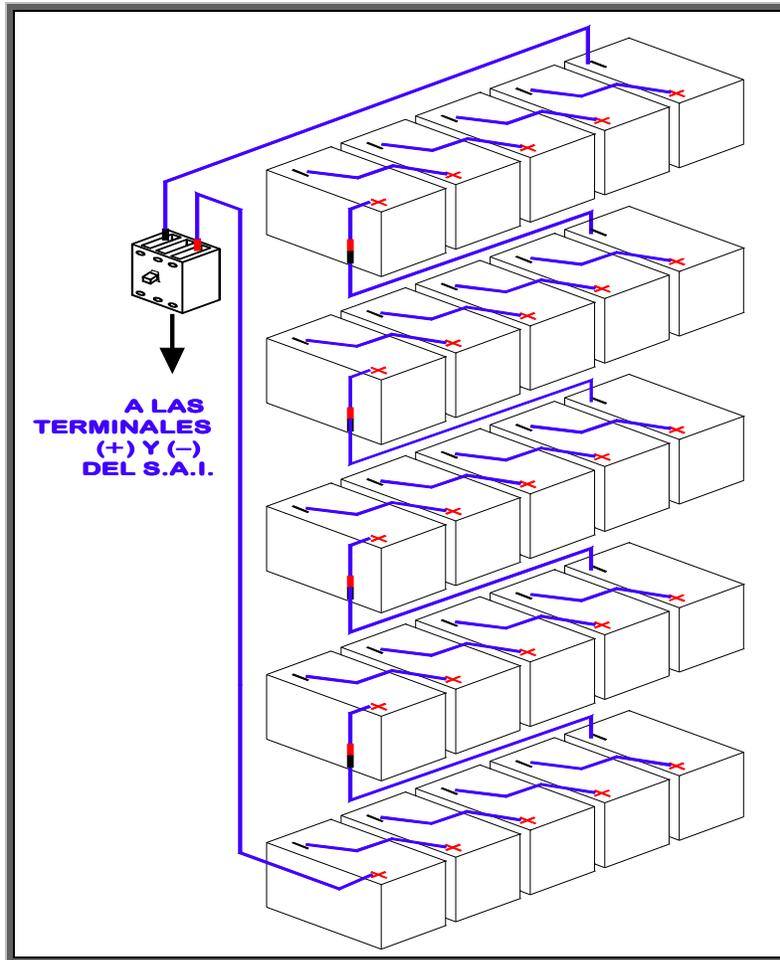
El número de baterías que forman el string ó cadena es:

$$\#Baterias = \frac{300V}{12} = 25 \text{ baterias}$$

La corriente de todo el string de baterías es:

$$I_{BATERIA} = \frac{80\,000W}{300V} = 266.66 A$$

En la figura 8.3 se muestra el banco de baterías.



**Figura 8.3** Banco de 25 Baterías en serie (STRING).

Aún cuando esto es suficiente por la parte eléctrica, la empresa que suministra el SAI es responsable en la mayoría de los casos de llevarlo a su sitio en planta, instalarlo y ponerlo en marcha. El ingeniero eléctrico que hace el levantamiento también debe obtener los siguientes datos:

- ◆ Las dimensiones del centro de computo donde se alojara el SAI, indicando:
  - Altura, ancho y profundidad de toda el área.
  - Altura y ancho de la puerta de acceso por donde entrara el SAI.
  - Altura del plafón ó techo falso.
  - Altura del piso falso si existiera.
  - Paredes de cemento ó falsas (tablaroca).

- ◆ Trayectorias y anchos de pasillos críticos, que incluyan vueltas ó vidrios por donde pasara el SAI hasta su posición final.
- ◆ Peso que puede soportar el elevador de carga, sí hay que subirlo a piso, solicitando el permiso correspondiente, haciendo hincapié para uso pesado.

Si no se dispusiera de alguno de los tres puntos anteriores, se desprenden las siguientes alternativas:

- ◆ Conocer y proponer un área alterna sino hay las disposiciones eléctricas y de espacio.
- ◆ Realizar obra civil, por ejemplo retirar una pared falsa y volverla a colocar sino llegase a pasar el equipo por una esquina ó por la puerta principal al centro de computo.
- ◆ Proponer la contratación de una grúa industrial (pluma) para transportar el equipo al piso correspondiente.

Los tres puntos implican costos adicionales, que el ingeniero eléctrico debe sumar en sus partidas para su propuesta técnica, los cuales el cliente debe estar enterado, ya que de él se puede obtener más disponibilidad y alguna alternativa si la hay.

En este mismo tema, el ingeniero de proyectos eléctricos y el ingeniero de servicio son dos personas totalmente diferentes, mientras que el primero se encarga del levantamiento y proyectar la instalación eléctrica, el segundo se dedica a arrancar y hacer las pruebas en los tres modos de operación al SAI estando el cliente presente.

A su vez el ingeniero de proyectos eléctricos coordinará al personal de maniobras que transportará y colocará hasta el sitio final el SAI.

## **CONCLUSIONES**

Los problemas en el suministro de energía eléctrica son generados por diversos factores, entre los que se encuentran: los ambientales externos y los técnicos, aunado a una instalación eléctrica incorrectamente planeada y mal desarrollada, antigua y fuera de la Norma Oficial de instalaciones eléctricas.

Agregando el creciente uso de equipos electrónicos que generan armónicas indeseables, complican un suministro de energía con las características de calidad que muchos equipos requieren.

Estos factores han motivado un uso más extenso de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida, que en su forma más básica garantiza por un tiempo limitado la continuidad del suministro eléctrico a equipos ó cargas.

Dependiendo de su tecnología, un SAI puede marginar el ruido indeseable, regular la tensión evitando su fluctuación y suprimir tensiones súbitas transitorias.

Si bien es cierto que un SAI doble conversión "True-On-Line" además de prolongar el consumo de electricidad por parte de la carga, puede corregir la mayoría de los problemas eléctricos expuestos, el filtro contra armónicas y supresor de transitorios internos cumplen en lo mínimo con sus funciones, por tanto, hace indispensable que otros elementos de protección eléctrica, transformadores de aislamiento y TVSS, sean acoplados a la instalación eléctrica actuando en conjunto con el SAI para garantizar la calidad de la energía.

Un problema que tienen los SAI en general es su limitado tiempo de respaldo de electricidad, no es recomendable el uso de bancos de baterías para tiempos mayores a 15 minutos, ya que su costo se elevaría demasiado y pocas empresas aceptan este gasto.

En los centros de cómputo, donde se alojan cargas críticas las cuales deben permanecer encendidas todo el tiempo, conviene asociar el SAI doble conversión con

una planta de emergencia para suministrar electricidad ininterrumpidamente cuando haya contingencias, de ésta manera se utiliza el SAI como equipo de apoyo y acondicionador de la señal de voltaje.

El ingeniero eléctrico debe dimensionar con un 20% adicional de carga un SAI, evitando una transferencia frecuente a bypass y conocer de una manera precisa el consumo de energía de un equipo o conjunto de equipos que hay en un centro de cómputo. Por esto es importante realizar un monitoreo mediante un analizador de calidad de la energía y en especial cuando se trata de cargas críticas que tienen una corriente de magnetización de cuatro a siete veces la nominal al procesar su trabajo.

Para realizar un servicio de puesta en marcha y mantenimiento a un SAI, el personal técnico debe tener conocimientos de electricidad, electrónica de potencia y electrónica digital para poder hacer frente a contingencias propias de ésta actividad.

Finalmente, deseo que este material sirva de consulta y de referencia a personas que estén involucradas directa ó indirectamente con el manejo de estos equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

**NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 “Instalaciones Eléctricas (Utilización)”**. Secretaria de Energía de México.

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de noviembre de 2005.

**NORMA Mexicana NMX-J-098-ANCE-1999 “Sistemas Eléctricos de Potencia – Suministro – Tensiones Eléctricas Normalizadas**. Emitida por la Asociación Nacional de Normalización y Certificación del Sector Eléctrico, “ANCE” el 17-06-99.

**μSP-SP Series 3:3 Phase 10 to 50kVA “User Guide and Instruction Manual”**.

Gamatronic Electronic Industries LTD.

Release 1.0, october 2005, Israel.

**Powerware 9390 40-160kVA “Uninterruptible Power System”**.

Book 1. Service Manual, 164201537 Rev. B00.

**Power quality**. Sankaran, C.

Editorial CRC PRESS, 2001. ISBN 0-8493-1040-7

**Electrónica Industrial Moderna**. Maloney, Timothy J.

Editorial Pearson-Prentice-Hall, 5ª. Edición, 2005. ISBN 970-26-0669-1

**Electrónica de Potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones**. Rashid, Muhammad H.

Editorial Pearson Educación, 2ª Edición, 1995. ISBN 0-13-678996-X

**Electrónica industrial moderna**. Gualda, J.A., Martínez, S., Martínez P.M.

Editorial Alfaomega, 2ª. Edición, 1995. ISBN 970-15-0110-1.

**Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos**. Balcells, Josep; Daura,

Francesc; Esparza, Rafael; Pallás, Ramon.

Editorial Alfaomega-Marcombo, 1992. ISBN 968-6223-87-8.

**Problemas de ingeniería de puesta a tierra**. De la Vega Ortega, M.

Editorial Limusa, 2ª. Edición, 2001. ISBN 968-18-5776-3

**Farm building wiring handbook**. MWPS-28, MidWest Plan Service.

Editorial MWPS, 2a. Edición, 1992. ISBN 0-89373-085-8.

**Thyristor DC drives.** Sen, P.C.

Editorial Krieger Publishing Company, 2ª. Edición, 1991. ISBN0-89464-608-7.

**Convertidores estáticos.** Moltgen Gottfried.

Editorial Marcombo, 1986. ISBN 84-267-0623-1.

**El ABC del control electrónico de las máquinas eléctricas.** Harper E.

Editorial Limusa, 2002. ISBN 968-18-6154-X.

**Convertidores alterna-continua con tiristores.** Peracaula Roura, Joan.

Editorial Marcombo, 1990. ISBN 84-267-0773-4.

**Controlled rectifier manual.** Lowry, H.R., Gutzwiller, F.W. Rectifier components departament, 1960.

**Instalaciones de puesta a tierra.** Re, Vittorio.

Editorial Marcombo, 1989. ISBN 84-267-0379-8.

**Tratamiento de la energía eléctrica.** Poloujadoff, M.

Editorial Marcombo, 1973. ISBN 84-267-0242-2.

**IEEE Recommended practice for: grounding of industrial and commercial power systems.** IEEE Editorial IEEE, 1992. ISBN 1-55-937-141-2.