

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



## **MEJORAMIENTO DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA DE UNA CARGA CRÍTICA MEDIANTE USO DE TRANSFERENCIAS DE CONMUTACIÓN EN BAJA TENSIÓN Y GRUPOS ELECTRÓGENOS**

**INFORME DE SUFICIENCIA  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:  
ALDO AGUSTÍN ZEA MELÉNDEZ**

**PROMOCIÓN  
2008-I**

**LIMA-PERÚ  
2012**

**MEJORAMIENTO DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA DE  
UNA CARGA CRÍTICA MEDIANTE USO DE  
TRANSFERENCIAS DE CONMUTACIÓN EN BAJA  
TENSIÓN Y GRUPOS ELECTRÓGENOS**

**A mi familia**  
**A mis amigos**  
**A mi universidad**

## **SUMARIO**

El presente trabajo describe las técnicas para el mejoramiento del suministro de energía de una carga crítica mediante uso de transferencias de conmutación en baja tensión y grupos electrógenos.

El objetivo del trabajo es mejorar la calidad de energía para las cargas críticas mediante la correcta selección de un sistema de transferencia y la supresión de los armónicos.

El informe expone los aspectos técnicos y normativos para cada caso y finalmente presenta un caso de estudio en el cual se recurre a una herramienta informática para la selección del filtro correcto.

Respecto a la problemática, es necesario tener en cuenta que la conmutación entre el suministro de red y el de respaldo es una tarea crítica que debe ser adecuadamente dimensionada a fin de proteger a las cargas críticas, que en este caso pueden ser los servidores, sistemas de comunicación, sistemas de almacenamiento de datos, etc. También que los grupos electrógenos, al margen de estar debidamente dimensionados para una potencia específica, alta disponibilidad (redundancia), una perfecta instalación, y un adecuado mantenimiento, estas producen armónicos que pueden afectar a las cargas críticas mencionadas.

Según lo expuesto, es que el suministro de energía debe ser mejorado para brindar una buena calidad de energía y así evitar daños en la carga crítica (a corto o mediano plazo).

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Objetivos del trabajo.....	3
1.3 Evaluación del problema.....	3
1.4 Alcance del trabajo.....	3
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>TABLEROS DE TRANSFERENCIA DE CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA</b> .....	5
2.1 Aspectos técnicos generales.....	5
2.1.1 Funciones .....	6
2.1.2 Aplicaciones.....	7
2.1.3 Partes .....	7
2.2 Aspectos normativos .....	8
2.2.1 UL 1008 .....	8
2.2.2 UL 2200 .....	8
2.2.3 NFPA 70 .....	9
2.2.4 NFPA 99 .....	9
2.2.5 NFPA 110 .....	10
2.2.6 Código nacional de electricidad peruano.....	11
2.3 Modos de transferencia.....	11
2.3.1 Tecnologías de tableros de transferencia automática abierta.....	11
2.3.2 De transición cerrada .....	14
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>GRUPOS ELECTRÓGENOS (GE)</b> .....	20
3.1 Aspectos generales .....	20
3.2 Apl icaciones.....	20
3.2.1 Según sus características .....	20
3.2.2 Según las necesidades de continuidad de servicio.....	21
3.3 Principios de conexión de un GE como fuente de emergencia o de seguridad ....	22
3.3.1 En baja tensión .....	22

3.3.2	En alta tensión .....	22
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>FILTRO DE ARMÓNICOS EN SISTEMAS DE ALTERNANCIA ININTERRUMPIDO .....</b>		<b>24</b>
4.1	Aspectos técnicos generales.....	24
4.1.1	Armónicos .....	24
4.1.2	Fenómeno de resonancia.....	27
4.2	Métodos para la reducción de armónicos.....	29
4.2.1	Filtros de armónicos de potencia pasivo.....	29
4.2.2	Filtros de armónicos de potencia activo.....	30
4.3	Aspectos técnicos de los filtros activos.....	31
4.3.1	Funciones de un filtro activo.....	31
4.3.2	Estructura de un filtro de armónico activo (AFP).....	32
4.3.3	Fuentes básicas de perturbaciones y tipos de perturbaciones generadas.....	33
4.3.4	Clasificación de los filtros. Aplicaciones de las distintas estructuras .....	34
4.4	Filtros de armónicos mixto .....	35
4.5	Aplicaciones de los filtros serie y paralelo .....	36
4.6	Conclusiones .....	37
4.7	Aspectos normativos .....	37
4.7.1	IEEE 519-1992 .....	37
4.7.2	EN 61000-3-2 .....	39
4.7.3	IEC 61000-3-4 .....	41
4.8	Principio de funcionamiento de un filtro activo de armónicos .....	41
<b>CAPÍTULO V</b>		
<b>CASO DE ESTUDIO .....</b>		<b>48</b>
5.1	Marco situacional.....	48
5.1.1	Características generales.....	48
5.1.2	Instalaciones eléctricas .....	48
5.1.3	Demanda máxima .....	49
5.1.4	Planos.....	49
5.1.5	Tableros de distribución y servicios comunes .....	49
5.1.6	Interruptores .....	50
5.1.7	Grupo electrógeno.....	51
5.1.8	Esquema resumido.....	52
5.2	Planteamiento de solución .....	53
5.3	Diseño de la solución .....	55
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>61</b>

**BIBLIOGRAFÍA..... 63**

## INTRODUCCIÓN

Debido a la existencia de un inadecuado sistema de transferencia (entre la red y el suministro de respaldo) y la presencia de armónicos a la salida de los grupos electrógenos que afectan a las cargas críticas, es que surge la necesidad que el suministro de energía sea mejorado para brindar una buena calidad de energía y así evitar daños en la carga crítica (a corto o mediano plazo).

Es así que se plantea la utilización de sistemas de transferencia automático, los cuales garantizan la debida disponibilidad de suministro de energía:

- Proteger a los equipos más sensitivos contra disrupciones.
- Proveer respaldo de inmediato de la fuente principal y/o de Emergencia.
- Garantizar la disponibilidad a través de la debida supervisión y mantenimiento

Se ha constatado que muchos equipos electrónicos pueden generar una gran cantidad de armónicos debido a su etapa no lineal en la entrada (rectificador).

Por otro lado, la generación de armónicos y sus corrientes armónicas pueden intoxicar la red y causar graves problemas como son: Sobrecalentamiento del transformador de entrada, vibraciones en los equipos rotativos, degradación de la forma de onda de tensión de red, avería en los componentes eléctricos de potencia (magneto térmicos, diferenciales, relés, equipos de medida, etc.) así como el mal funcionamiento equipos electrónicos o médicos. Para evitar los problemas asociados a la generación de armónicos se ha creado diferentes normativas tales como la IEC-519-192, EN 6100-3-2 y la de más reciente aprobación EN-6100-3-4. En la solución se recurre a un aplicativo de software de Accusine para la selección del filtro activo necesario de acorde a las características del caso de estudio presentado en el informe.

El informe se divide en cinco capítulos principales:

- Capítulo I "Planteamiento de ingeniería del problema": La cual contiene la descripción del problema, los objetivos del trabajo, la evaluación del problema y el alcance del trabajo.
- Capítulo II "Tableros de transferencia de conmutación automática": Que contiene los Aspectos técnicos generales (Funciones, Aplicaciones, Partes), Aspectos normativos (UL 1008, UL 2200, NFPA 70, NFPA 99, NFPA 110, Código nacional de electricidad peruano) y los Modos de transferencia (Tecnologías de tableros de transferencia automática abierta, De transición cerrada).



- Capítulo III “Grupos electrógenos”: Aspectos generales, Aplicaciones (según sus características, según las necesidades de continuidad de servicio), Principios de conexión de un grupo electrógeno como fuente de emergencia o de seguridad (en baja tensión, en alta tensión).
- Capítulo IV “Filtro de armónicos en sistema de alternancia ininterrumpido”: Aspectos técnicos generales, Métodos para la reducción de armónicos, Aspectos técnicos de los filtros activos, Filtros de armónicos mixto, Aplicaciones de los filtros serie y paralelo, Conclusiones, Aspectos normativos, Principio de funcionamiento de un filtro activo de armónicos.
- Capítulo V “Caso de estudio”: Marco situacional (Características generales, Instalaciones eléctricas, Demanda máxima, Planos, Tableros de distribución y servicios comunes, Interruptores, Grupo electrógeno, Esquema resumido), Planteamiento de solución, Diseño de la solución.

## **CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA**

En este capítulo se realiza el planteamiento de ingeniería del problema. Primeramente se describe el problema y luego se expone el objetivo del trabajo, también se evalúa el problema y se precisan los alcances del informe

### **1.1 Descripción del Problema**

Inadecuado sistema de transferencia (entre la red y el suministro de respaldo) y la presencia de armónicos a la salida de los grupos electrógenos que afectan a las cargas críticas.

### **1.2 Objetivos del trabajo**

Mejorar la calidad de energía para las cargas críticas mediante la correcta selección de un sistema de transferencia y la supresión de los armónicos.

### **1.3 Evaluación del problema**

Las claves para garantizar la debida disponibilidad de suministro de energía son las siguientes:

- Proteger a los equipos más sensitivos contra interrupciones.
- Proveer respaldo de inmediato de la fuente principal y/o de Emergencia.
- Garantizar la disponibilidad a través de la debida supervisión y mantenimiento

La conmutación entre el suministro de red y el de respaldo (y viceversa) es una tarea crítica que debe ser adecuadamente dimensionada a fin de proteger a las cargas críticas, que en este caso pueden ser los servidores, sistemas de comunicación, sistemas de almacenamiento de datos, etc.

Por otra parte, los grupos electrógenos, al margen de estar debidamente dimensionados para una potencia específica, alta disponibilidad (redundancia), una perfecta instalación, y un adecuado mantenimiento, estas producen armónicos que pueden afectar a las cargas críticas mencionadas.

Es pues que bajo los aspectos mencionados, el suministro de energía debe ser mejorado para brindar una buena calidad de energía y así evitar daños en la carga crítica (a corto o mediano plazo).

### **1.4 Alcance del trabajo**

Según lo mencionado en la sección anterior, es que este informe de suficiencia se

enfoca en los aspectos principales:

- Los sistemas de transferencia.- En el capítulo 2
- Grupos electrógenos.- En el capítulo 3
- La supresión de armónicos.- En el Capítulo 4, enfocándose en el estándar europeo EN61000-3-4. European standard regulating harmonic currents (Armónicos en la red de alimentación de c. a.)
- Caso de estudio. En el capítulo 5. Se toma a la Universidad de Ciencias y Artes de América Latina, UCAL, la cual recibió la resolución de autorización de funcionamiento provisional, de parte del Consejo Nacional para la Autorización de Funcionamiento de Universidades, CONAFU.

Para cada caso se explica los aspectos teóricos y prácticos.

## CAPÍTULO II

### TABLEROS DE TRANSFERENCIA DE CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA

Este capítulo está enfocado en describir los aspectos generales relacionados a los tableros de transferencia automática para uso en baja tensión. Este concluye desarrollando los conceptos de transferencia automática del tipo cerrada.

#### 2.1 Aspectos técnicos generales

El suministro de energía de una instalación moderna cuenta con un suministro principal que viene de la red y un suministro de respaldo como son grupos electrógenos tiene que haber entre estas una transferencia de conmutación del tipo automática, también conocido por su abreviatura ATS (automatic transfer switch) .

Los sistemas de transferencia (Figura 2.1) se utilizan para proteger cargas eléctricas críticas contra la pérdida de potencia. La fuente de alimentación Fuente 1 de la carga está respaldada por una fuente de alimentación Fuente 2. Un conmutador de transferencia está conectado con las fuentes de alimentación Fuente 1 y Fuente 2 y suministra la carga con potencia desde una de las dos fuentes. En el caso de que se pierda la potencia de la Fuente 1, el conmutador de transferencia transfiere la carga a la fuente de alimentación Fuente 2.

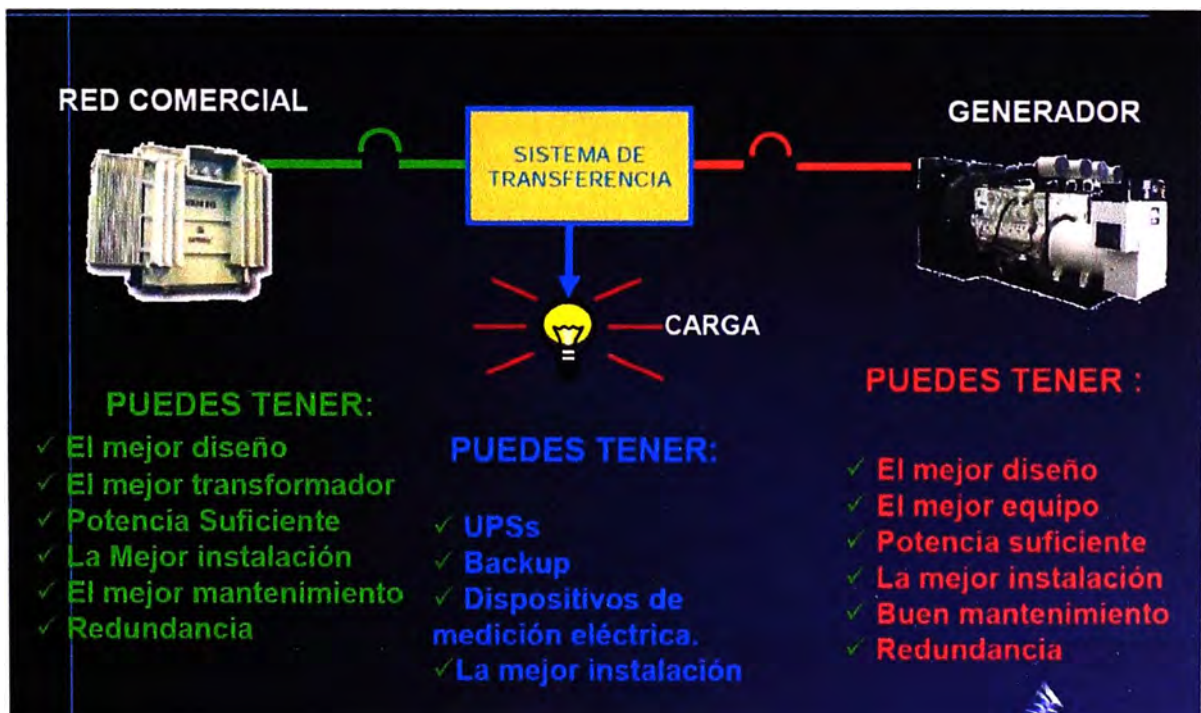


Figura 2.1 Sistema de transferencia

Esta transferencia puede ser automática o manual, lo que dependerá del tipo de equipo del conmutador de transferencia que se esté utilizando. Una vez que se restaure la alimentación de la Fuente 1, la carga se transfiere automática o manualmente de regreso a la fuente de alimentación Fuente 1, lo que también dependerá del tipo de equipo de transferencia que se esté utilizando, también deben de soportar y mantenerse cerrado ante fallas de cortocircuito.

Este es un equipo de maniobra que permite seleccionar la alimentación entre dos fuentes de suministro de tal manera que solo uno entre a alimentar a la instalación requerida. Es por esto que los tableros de transferencias son los puntos más críticos de un sistema de distribución. De no tener un sistema confiable se tendrá serios problemas (Figura 2.2)



**Figura 2.2** Sistema no confiable

### 2.1.1 Funciones

Dentro de las principales funciones de los tableros de transferencia tenemos

- Llevar energía continuamente hacia una carga crítica.
- Detectar fallas de energía
- Realizar la conmutación ante fuentes alternativas
- Realizar transferencias de cargas
- Sensar la reposición de la energía normal
- Retransferir la carga a la energía normal
- Soportar y transferir ante corrientes de falla

### 2.1.2 Aplicaciones

En cuanto a las aplicaciones principales de los tableros de transferencia automática, se pueden mencionar a las siguientes: Hospitales y otros centros de salud, Telecomunicaciones, Centros de cómputo/datos, Procesos y edificios industriales, Bancos/instituciones financieras, Aeropuertos, Hoteles y resorts, Edificios de oficinas, Instalaciones del gobierno y militares, Sistemas de seguridad, es un elemento esencial para suministrar energía de cargas críticas .

### 2.1.3 Partes

El tablero de transferencia automática tiene tres partes principales: la unidad de potencia, el panel de control, y el gabinete

**La unidad de potencia.-** Está conformada por cuatro elementos: mecanismo operador, contactos principales, contactos de control y auxiliares, conexiones de Potencia

**Panel de control.-** Es el equipo del control y monitoreo de transferencia automática (ATC), el sistema de inteligencia del conmutador inicia la transferencia cuando la alimentación de la Fuente 1 desciende por debajo o se eleva por encima de un voltaje o frecuencia preestablecido. Si la fuente de alimentación Fuente 2 es un generador de reserva, el ATC inicia el arranque del generador y luego realiza la transferencia a la fuente de alimentación Fuente 2, cuando existe suficiente disponibilidad de voltaje del generador. Cuando se restablece la alimentación de la Fuente 1, el ATC inicia de vuelta automáticamente a la fuente de alimentación Fuente 1 e inicia la desconexión del motor del generador.

En resumen un ATC debe tener como elementos básicos para un buen monitoreo de suministro de energía hacia la carga:

- Circuitos de inteligencia/supervisión para supervisar constantemente la condición de las fuentes de alimentación y, en consecuencia, proporcionar la inteligencia necesaria para el conmutador y el funcionamiento del circuito relacionado.
- Detector de voltaje y frecuencia, temporizador, controles de entrada/salida, y dispositivos indicadores.

**El gabinete.-** Existen tipos de gabinete según sea el caso, esencialmente son los tableros murales o adosados y los tableros Autosoportados. Las características principales son:

- Tablero con grados de protección NEMA según sea el caso, fabricado de plancha de acero LAF (Acero laminado en frío) de diversos espesores. Formado de una sola pieza perfilada y doblada.
- La puerta delantera con chapa de seguridad.
- Apertura de la puerta superior a 120°.



- Decapado químico, pintura base anticorrosiva y pintura de acabado normalmente se solicita la pintura RAL 7032.
- Contra placa para fijación de equipos eléctricos.
- Placa inferior de fácil retiro para disponer entrada y salida de cables y otra disposición.
- Estos gabinetes permitirán mantener una temperatura idónea ya sea de forma natural o requiriendo equipos de ventilación forzada en su interior para el buen funcionamiento de sus equipos.

## **2.2 Aspectos normativos**

Existen diversas normas y recomendaciones relacionadas a estos sistemas. Estas son desarrolladas a continuación

### **2.2.1 UL 1008**

UL (Underwriters Laboratories) ha desarrollado más de 1,000 estándares para seguridad. Estos son esenciales para la seguridad pública y confiabilidad, reduciendo costos, mejorando la calidad, y el mercadeo de productos y servicios. Millones de productos y sus componentes, son probados bajo los rigurosos estándares de seguridad, con el resultado que los consumidores vivan en un ambiente más seguro de lo que comúnmente podrían tener.

La UL 1008 exige especificaciones para la fabricación de los equipos. En resumen la norma indica lo siguiente en referencia para transferencias automáticas:

b.4.1.-Los requerimientos para una transferencia entre dos fuentes de energía (Energía comercial y de grupo electrógeno), aislamiento total entre dos fuentes vivas, debe prevenir que en cualquier circunstancia no se interconecte la energía comercial y la del grupo electrógeno (transferencia abierta) .

Así como respecto a construcción & performance.

- El diseño del tablero debe de permitir una temperatura idónea dentro del gabinete y los contactos.
- Debe tener gran robustez en su operación
- Debe de soportar sobrecorrientes sin dejar de conducir energía a la carga
- Debe tener alta resistencia dieléctrica hacia fuera del mecanismo de transferencia

b.4.2.-Estas exigencias cubren el rango hasta 6000 Amperios y debajo de 600 voltios.

b.4.3.-Los tableros de transferencia deben tener controles como testeadores de voltaje, frecuencia, temporizadores como mínimo.

### **2.2.2 UL 2200**

Esta norma indica todo lo recomendable para ensamblado de generadores estacionarios y equipos anexos.

- Construcción.

- Sistemas mecánicos – Construcción.
- Sistemas mecánicos – Performance.
- Evaluación.
- Señalizando.

Pruebas de fabricación y producción.

En resumen señala que para el correcto uso de los equipos la transferencia automática usada con los grupos electrógenos debe ser una transferencia con certificación UL1008.

### **2.2.3 NFPA 70**

La National Electrical Code (NEC) o la NFPA 70 (Nacional Fire Protection Association) [1], establecen las características que deben cumplir las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica.

Para el caso de estudio, esta norma involucra el artículo 700 “Sistemas de Emergencia”. En general el artículo 700 consta de diversos subartículos (700 a 770), cada uno con sus acápites correspondientes.

- La 700, ve los aspectos generales, La 700.9 “Wiring, Emergency System”, define los temas de identificación y de cableado.
- El 702 de la NFPA está dedicado a Sistemas Stand By. El 702.6 define a los equipos de transferencia como equipo diseñado para prevenir cortes inadvertidos de energía que tiene la función de transferir la carga desde una fuente principal a una fuente de emergencia.

También está considerado el artículo 700 “Instalaciones para Centros de Salud”.

- El artículo 517.32 inciso E indica que los tableros de los Generadores estacionarios de respaldo deben estar iluminados y hace referencia al cargador flotante de baterías.

### **2.2.4 NFPA 99**

La norma NFPA 99 [2] es aplicada para instalaciones para cuidados de la salud. El artículo 4.4.2.1.4 indica las características de un tablero de transferencia.

- Un tablero de transferencia puedes ser eléctricamente operado o mecánicamente. El mecanismo de transferencia transfiere o retransfiere la carga automáticamente.
- Indica excepciones cuando el tablero de transferencia está en modo manual.
- Debe disponer un enclavamiento para sólo disponer una sola fuente y evitar la interconexión.
- Debe contar con medidores de voltaje
- Debe tener retardo de tiempo para inicializar el uso de a fuente alternativa
- Debe tener retardo de tiempo para transferir a la fuente alternativa
- Debe tener retardo de tiempo para retransferir a la fuente principal
- Debe tener una llave para testeo, es decir para simular el corte de la fuente de poder



normal.

- Debe disponer de indicadores de posición de las llaves. Indicadores cuando opera en fuente principal y en fuente alternativa.
- Debe contar con un manual de control y operación.
- Debe disponer de retardo de tiempo para apagado del grupo electrógeno
- Para uso de motores eléctricos con arranque simple debe ser prevista adecuadamente para evitar las sobrecorrientes originadas por el arranque.
- La línea neutral debe contar con aislamiento y separado del conductor de tierra.

El artículo 4.4.3.2 abarca sobre tableros de transferencia, sus protecciones y su lógica operación.

### **2.2.5 NFPA 110**

El estándar para los sistemas de emergencia y respaldo [3] contiene en su capítulo 6 lo relacionado a equipamiento para llaves de transferencia. Se detalla a continuación:

En "General" se indica lo siguiente

- Los interruptores transferirán cargas eléctricas de una fuente de poder a otro
- El tamaño del tablero y su capacidad de corriente será clasificada según el tamaño para la carga total que es diseñada para estar conectada.
- Cada interruptor estará en un compartimiento cercado y separado
- La capacidad del interruptor, incluyendo todos los componentes que transmiten la corriente de carga será diseñada para incluir todas las cargas a ser conectadas.
- El interruptor, incluyendo todos los componentes que transportan la corriente de carga, será diseñado para resistir las corrientes de falla.
- Cada interruptor se encontrará enumerados para el servicio de emergencia como para servicio principal

En "Características de los tableros de transferencia automática" se indica que los interruptores automáticos de transferencia debe ser capaces de todo lo siguiente: capacidad de operación eléctrica y mecánica, transferencia y la retransferencia de la carga automáticamente. También que debe existir enclavamiento o un sistema alterno apropiado que impida la conexión de las dos fuentes. Además debe existir un manual de operación en el Tablero.

El tablero debe anunciar visualmente: cuando "no opera en automático."; el tiempo de retardo para activar el sistema de emergencia; el tiempo de retardo para control de encendido del generador; el tiempo de retardo para transferencia de fuente, el tiempo de retardo para retransferencia a fuente primaria y se establezca la fuente primaria, el tiempo de retardo si existe falla del sistema de emergencia, para el apagado del generador de tiempo mínimo de 5 minutos.

La transferencia cambia de fuente principal a fuente de emergencia para alimentar la carga y en caso de que el sistema de emergencia falle deberá volver automáticamente a fuente principal.

Todo Tablero de transferencia será provisto de un llave que permita simular una falta de energía de la fuente principal. Debe existir luces indicadores la cuales señalarán la posición del interruptor en fuente principal o fuente de emergencia, también protección contra sobre corriente tanto en el generador como el tablero de transferencia, conductor aislado neutro separado de la tierra y enclavamiento y con operación manual o eléctrico y remoto

### **2.2.6 Código nacional de electricidad peruano**

El Código Nacional de Electricidad – Utilización [4], tiene como objetivo establecer las reglas preventivas para salvaguardar las condiciones de seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal, y de la propiedad, frente a los peligros derivados del uso de la electricidad; así como la preservación del ambiente y la protección del Patrimonio Cultural de la Nación. Los artículos involucrados son los siguientes:

- 080-612 Equipos de Transferencia para Sistemas de Suministro de Energía de Emergencia.- Los equipos de transferencia para los sistemas de suministro de energía de emergencia, deben prevenir la interconexión inadvertida de las fuentes de suministro normal y de emergencia en cualquier tipo de operación.
- 240-204 Control.- La alimentación para sistemas de emergencia debe estar controlada por un sistema automático de transferencia de carga, que energice los sistemas de emergencia desde el momento de la falla de la alimentación normal, y debe ser accesible sólo a personas autorizadas. Se permite un dispositivo automático accionado por luz, aprobado para este propósito que sea usado para controlar separadamente, las luces ubicadas en un área adecuadamente iluminada durante las horas de iluminación natural, sin la necesidad de iluminación artificial.

### **2.3 Modos de transferencia**

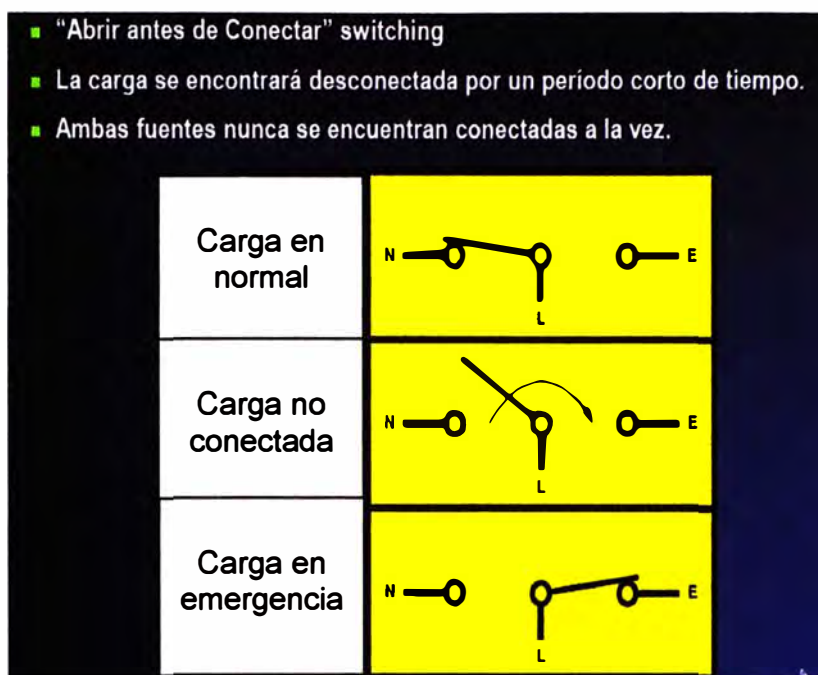
Existen dos familias principales de métodos de transferencia: transferencia abierta y transferencia cerrada. Estos son desarrollados en las siguientes secciones.

#### **2.3.1 Tecnologías de tableros de transferencia automática abierta**

Son aquellos equipos que teniendo dos fuentes de energía, no admiten ambas fuentes como alimentación. Sólo precisan una sola fuente (Figura 2.3).

Existen tres principales:

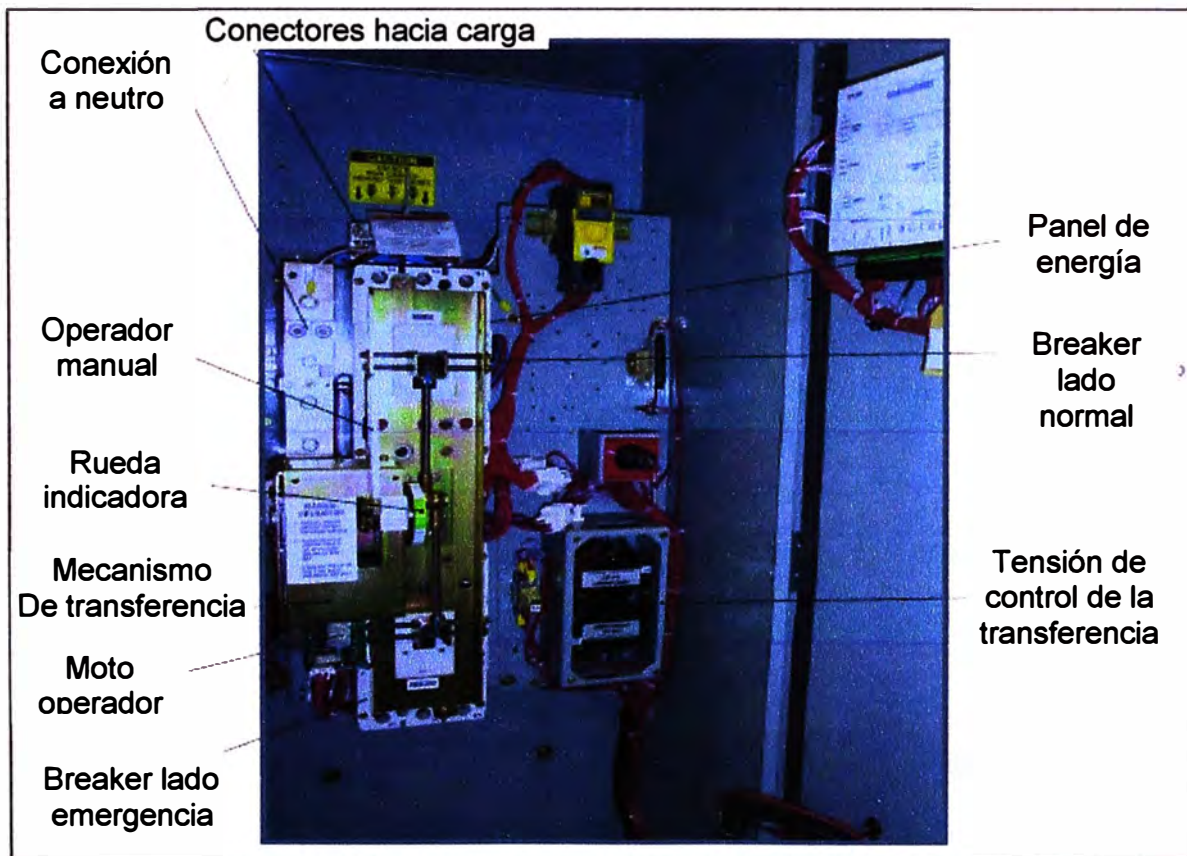
- Tablero de transferencia con breakers
- Enclavamiento mecánico de doble tiro
- Utilizando contactores eléctricos



**Figura 2.3** Transferencia abierta

#### a. Tablero de transferencia con breakers

Estos equipos son diseñados con interruptores de caja moldeada, son mecánica y eléctricamente enclavados. El sistema mecánico debe ser omitido para transiciones cerradas. Sin embargo requeriría controles preventivos de salida de fase del paralelismo.



**Figura 2.4** Tablero de transferencia con breakers

La Figura 2.4 ilustra las partes principales del tablero de transferencia por breakers,

de la marca americana Eaton-Cutler Hammer, monitoreado por el control inteligente ATC-300 (Figura 2.5). Está operado por un motor el cual cierra o realiza la apertura del sistema mecánico.

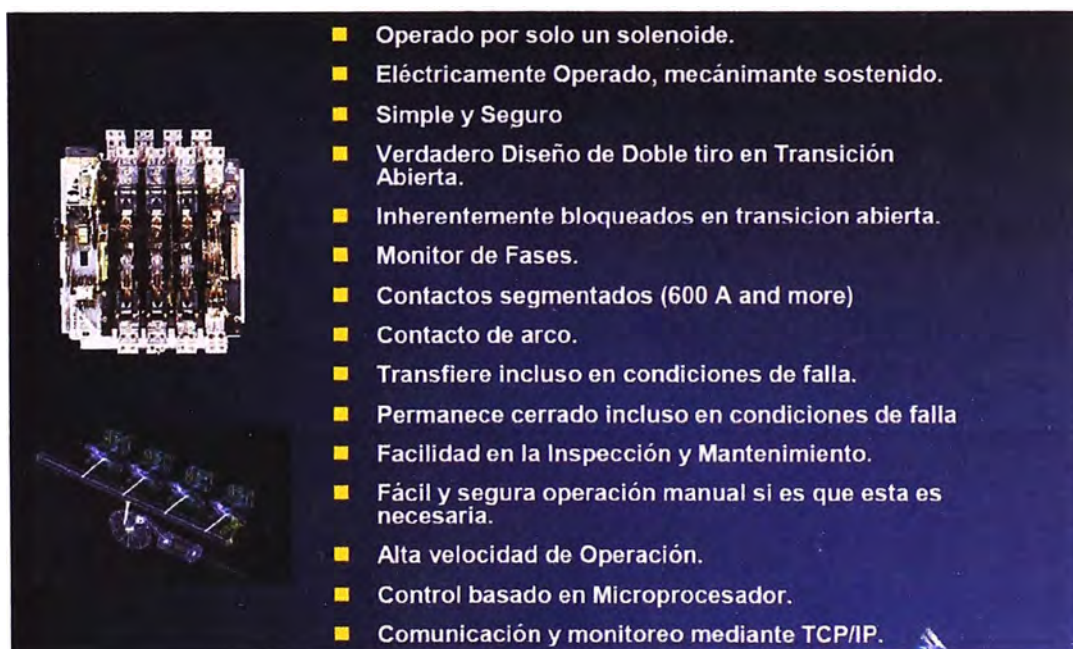


**Figura 2.5** Módulo de control de transferencia automática modelo ATC-300

Estos equipos de caja moldeada pueden realizar rápidamente el cambio de fuente. Un defecto principal con este tipo de transferencias radica en que los contactos de entrada del suministro normal y de emergencia de los interruptores al ser sometidos a grandes corrientes estarían en constante desgaste puesto que no tienen un sistema de atenuación del arco que se origina

#### **b. Enclavamiento mecánico de doble tiro**

La construcción conmutativa de los mecanismos es diseñada específicamente para uso de dos fuentes. La Figura 2.6 ilustra el criterio de diseño de una transferencia del tipo cerrada en la marca ASCO.



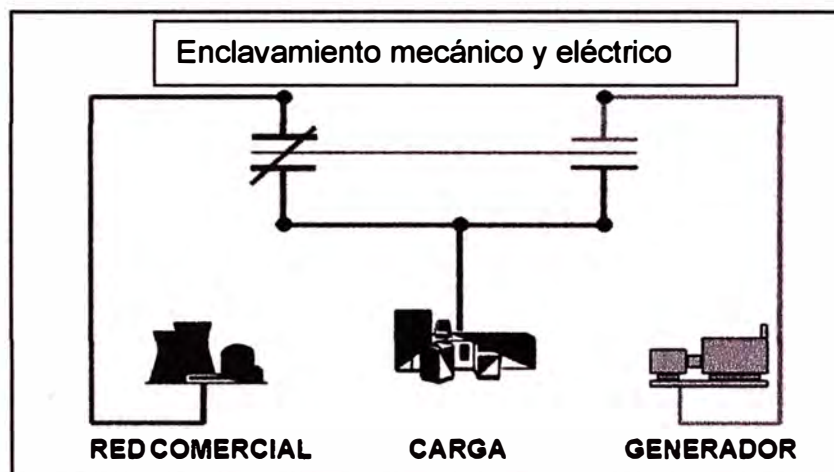
**Figura 2.6** Criterios de diseño transferencia de doble tiro



Las protecciones contra sobre corriente son necesarias. A éstos dispositivos también se les llama conmutadores motorizados, se va a mencionar en el siguiente capítulo la marca específica Americana ASCO el cual fabrica transferencias de conmutación que contiene en su diseño contactos de atenuación de arco, imprescindible, para optimizar el tiempo de vida de la transferencia.

### c. Utilizando contactores eléctricos

La construcción de éste tipo de tableros son de par mecánico y eléctricamente enclavados. Se tienen dos contactores que actúan independientemente con solenoides independientes. Sin embargo el circuito de control que gobierna éste sistema permite que uno esté abierto y el otro esté cerrado por defecto. Con eso ambas fuentes jamás estarán en contacto. La Figura 2.7 ilustra su comportamiento.



**Figura 2.7** Comportamiento con contactores eléctricos

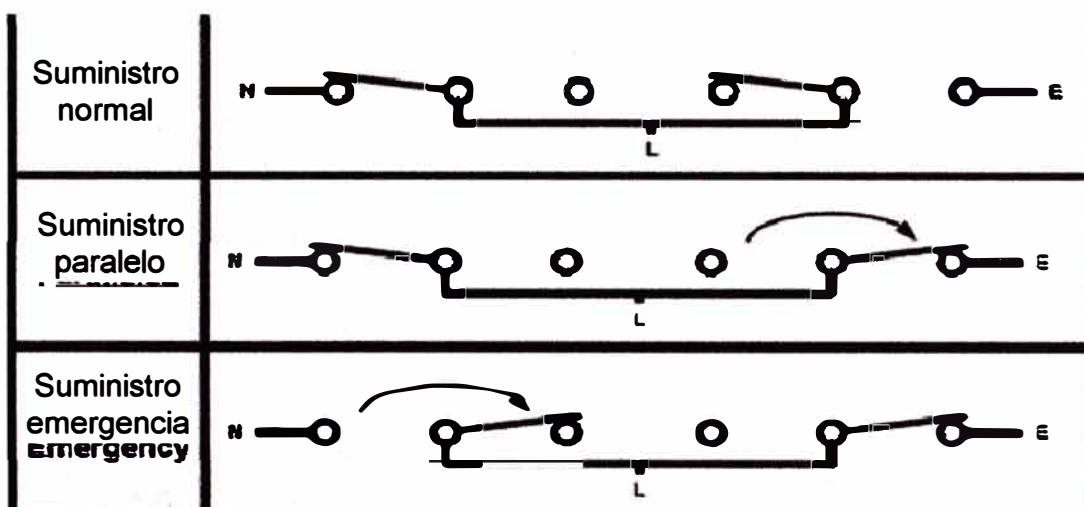
Las desventajas de éste sistema de transferencia radica cuando existen altas cargas superiores a los 600 Amperios. En corrientes superiores existe demasiada pérdida de energía por medio de los contactos adicionando la sensibilidad de las bobinas de los contactores ante caídas de tensión y sobre corrientes que se dan a menudo disminuyendo el tiempo de vida, lo cual ocasiona pérdidas económicas y según la UL 1008 éste tablero de transferencia debe operar en condiciones de temperatura exigidas en la norma. Los sistemas con contactores son usados en sistemas con baja corrientes por su costo principalmente y su operación es suficientemente estable.

#### 2.3.2 De transición cerrada

Es una nueva tecnología que va creciendo sus aplicaciones debido a las exigencias en otros países sobre todo en instituciones dedicadas a la salud y que proporciona muchas ventajas respecto a los sistemas convencionales.

La Figura 2.8 ilustra el proceso realizado en una transferencia del tipo cerrado, este tipo de transferencia se deben de tener en cuenta los siguientes requerimientos.

- Conectar antes de realizar la conmutación.
  - Ambas fuentes deben de estar momentáneamente conectadas.
  - Requiere de mecanismo de operación dual en el sistema de transferencia.
  - Requiere de gobernador de sincronía.
  - Requiere que las fuentes estén en sincronía.
    - o  $\pm 5\%$  de diferencia de voltaje entre las fuentes de alimentación.
    - o  $\pm 0.2\text{Hz}\%$  de diferencia de frecuencia entre las fuentes de alimentación.
    - o  $\pm 5$  grados de diferencia de fase entre las fuentes de alimentación.
- Si estos tres requerimientos no se cumplen la transferencia será impedida.



**Figura 2.8** Proceso realizado en una transferencia del tipo cerrado

Existen diversos tipos los cuales serán desarrollados a continuación [5].

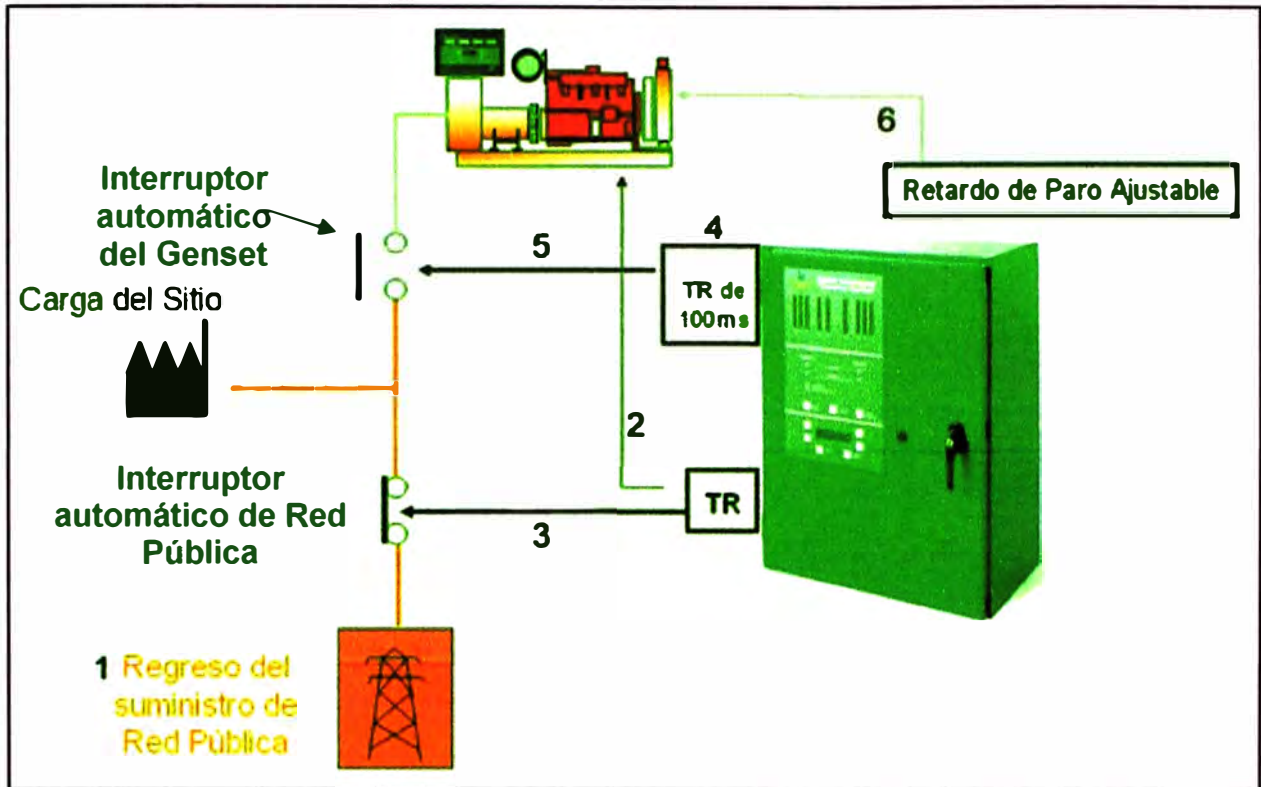
#### a. Transición cerrada momentánea

Este tipo de transición tiene paralelismo en un grado mínimo. No supera los 100ms que ambas fuentes de alimentación alimentan la carga. Por su aplicación los circuitos alimentados son cargas no sensibles a la transferencia de fuente.

La Figura 2.9 muestra las fases de comportamiento las cuales son descritas a continuación:

1. Al retornar la energía de la red pública ésta es detectada por el tablero de transferencia.
2. El tablero de transferencia ajusta el voltaje y frecuencia del Grupo Electrónico para estar en sincronía con la red pública.
3. El tablero de transferencia logra el paralelismo entre las dos fuentes cuando el voltaje y frecuencia están en sincronía.
4. Se activa el temporizador el cual permite sólo 100 ms de paralelismo

5. Cumplido el tiempo se apertura la fuente procedente del Grupo Electrónico.
6. Se activa la señal de apagado del grupo electrónico.



**Figura 2.9** Transición cerrada momentánea

#### b. Transición cerrada con carga suave

Este tipo de transferencia exige mayor tiempo de paralelismo entre ambas fuentes. A diferencia de la momentánea aquí la carga que viene soportando la primera fuente se traslada hacia la segunda de una manera escalonada de tal forma que no se produce corte de suministro ni picos abruptos de energía. Son recomendables donde las cargas son más sensibles y no admiten picos en la señal de voltaje. Este tipo de transferencia se aplica para trasladar carga de la red pública al grupo electrónico y también para retornar del grupo electrónico a la red pública.

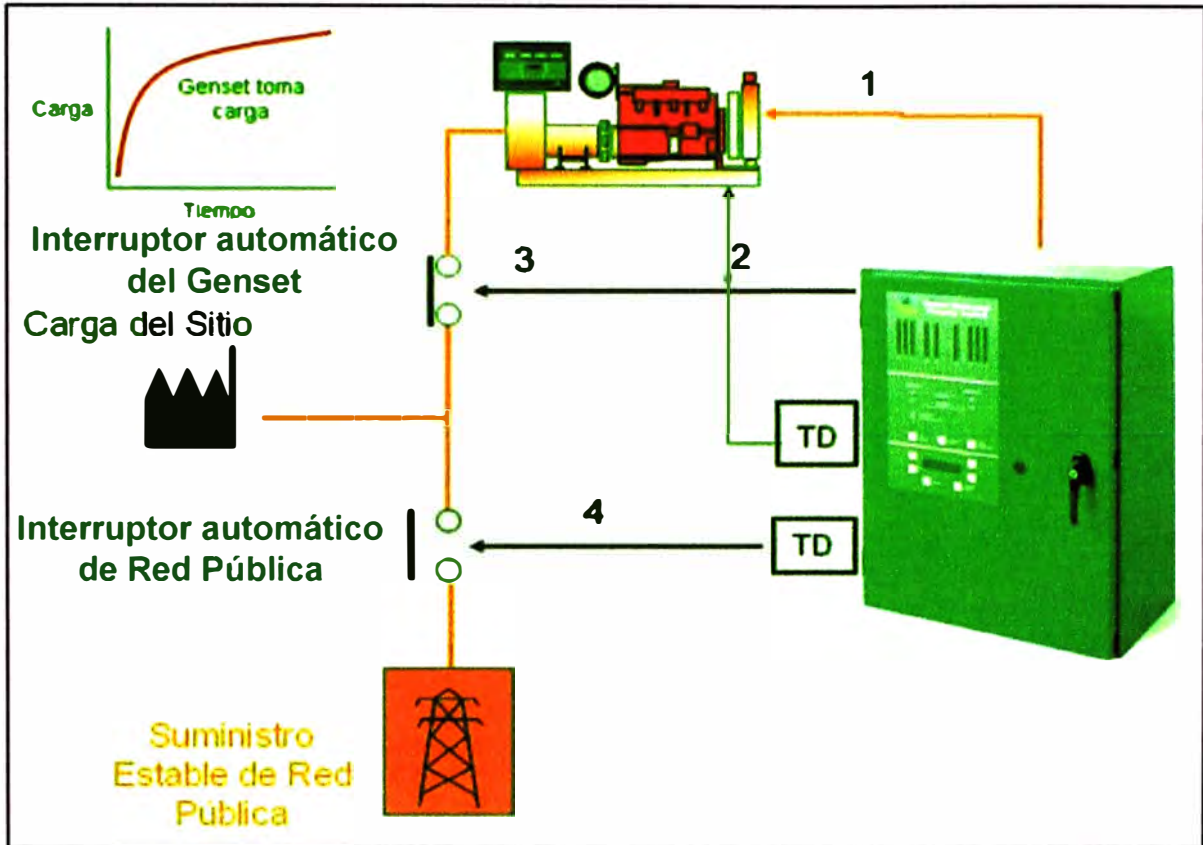
La Figura 2.10 ilustra los pasos para transferir carga de la red pública al grupo electrónico:

1. El tablero de transferencia ordena el encendido del grupo electrónico
2. Ajusta el voltaje y frecuencia del grupo electrónico para ponerlo en paralelo con la red pública. Aquí gradualmente el grupo asume la carga.
3. Puesta en paralelo del grupo electrónico con la red pública.
4. Apertura de llaves de la fuente de red pública

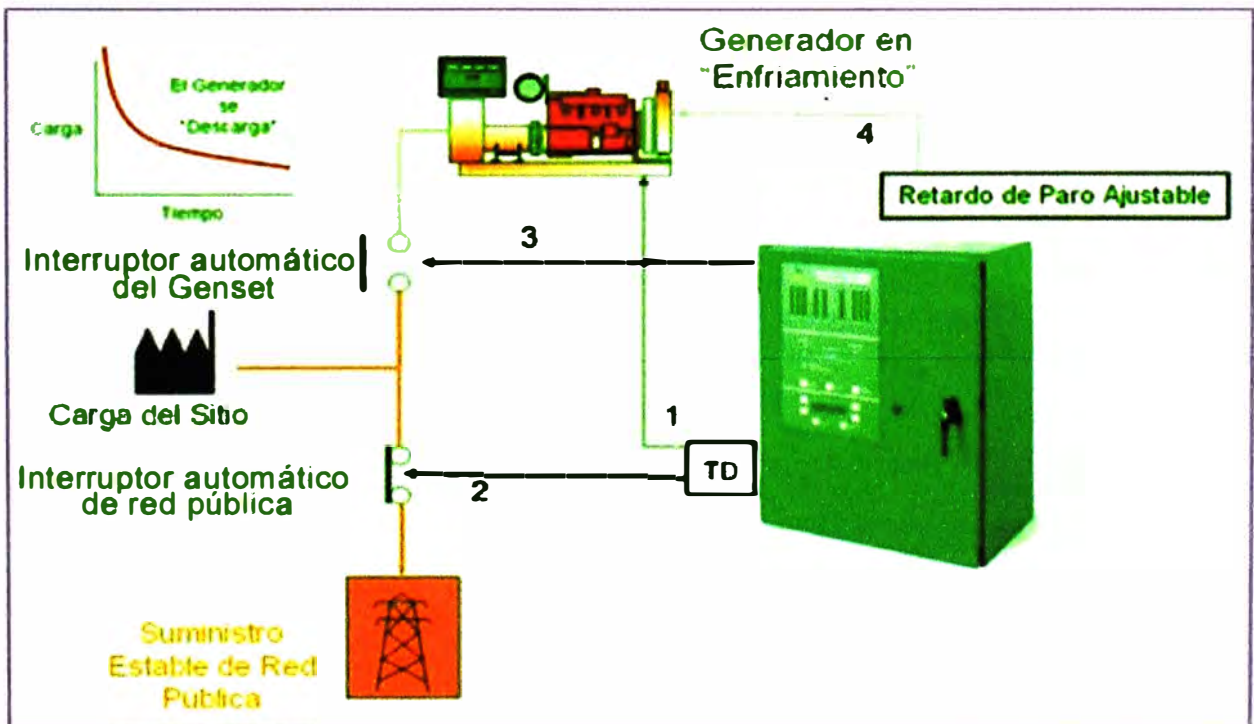
La Figura 2.11 ilustra los pasos para transferir carga del grupo electrónico a la red pública es:

1. Se ajusta voltaje y frecuencia para estar en sincronismo con la red.

2. Se pone en paralelo el Grupo con la red pública, el tablero logra el paralelismo activando la llave de la red pública. Aquí asume gradualmente carga la red pública.
3. Apertura de la llave del grupo electrógeno
4. El tablero de transferencia ordena el apagado del grupo electrógeno.



**Figura 2.10** Transición cerrada con carga suave asumiendo carga

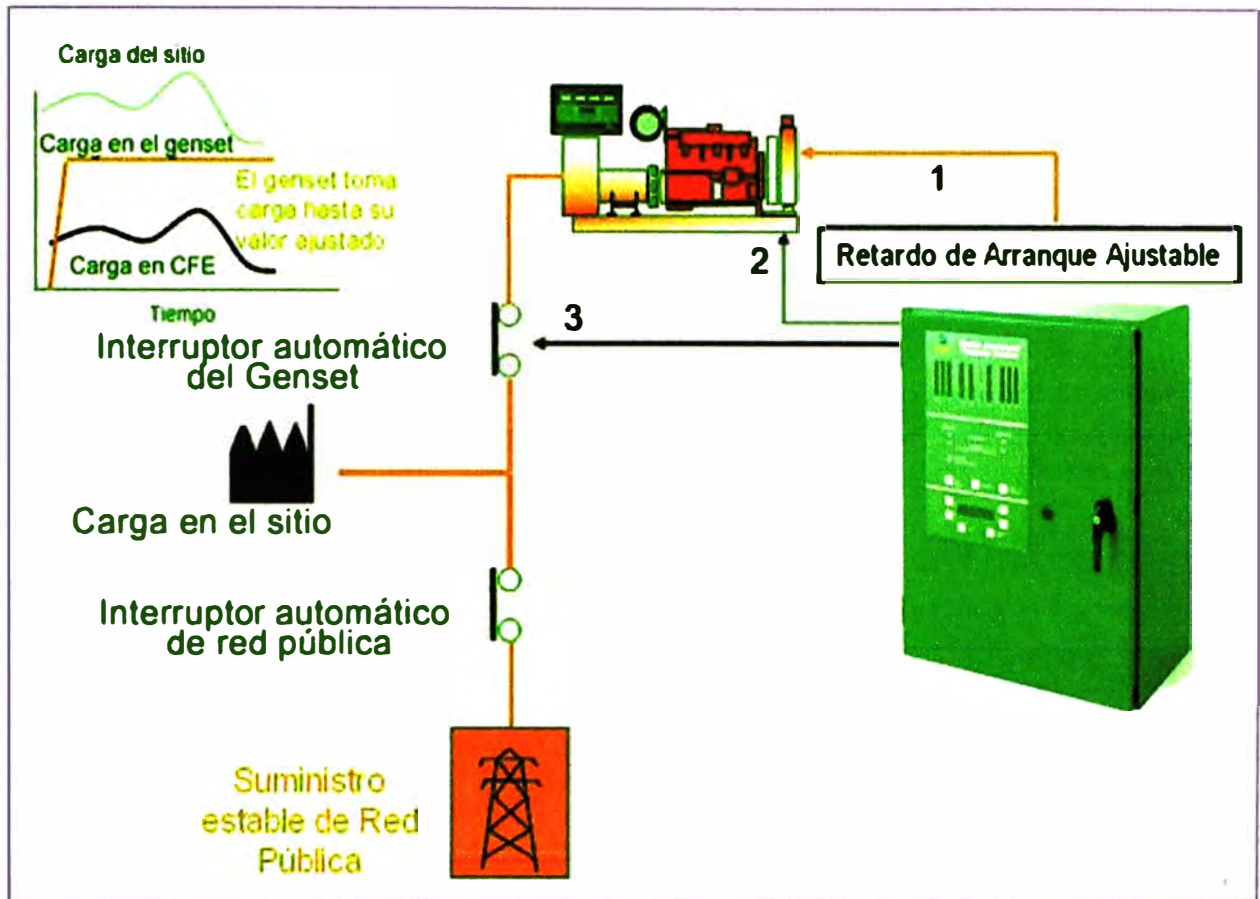


**Figura 2.11** Transición cerrada con carga suave devolviendo carga



### c. Transición cerrada con paralelismo extendido

La Figura 2.12 muestra el comportamiento de esta tecnología. Este tipo de transición cerrada logra que ambas fuentes estén operando en paralelo como modo de operación y no como un proceso.



**Figura 2.12** Transición cerrada con paralelismo extendido

Por lo tanto, aquí el tablero de transferencia está diseñado para operar nominalmente. El grupo electrógeno está programado para operar asumiendo una carga base. Estos sistemas se aplican cuando el grupo electrógeno no es utilizado como un respaldo sino como una fuente de energía estable. Su aplicación se da por beneficios tarifarios ya que en hora punta es posible tener una energía alternativa y sin exceder el consumo habitual de la carga.

Los pasos son:

1. Arranque del grupo electrógeno
2. Ajuste de voltaje y frecuencia del grupo electrógeno
3. Puesta en paralelo del grupo electrógeno y la red pública

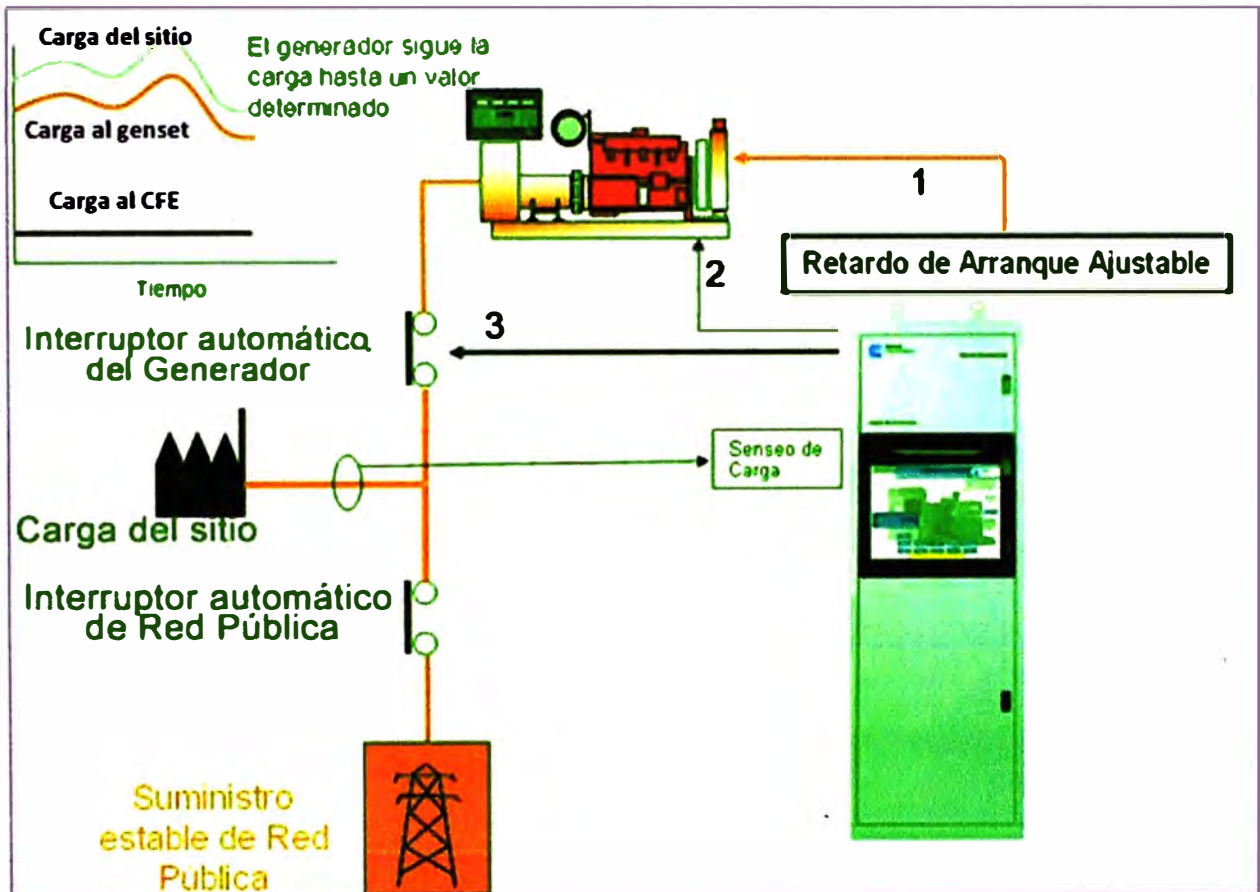
### d. Transición cerrada con paralelismo extendido con opción de seguimiento de carga

Este tipo de transición cerrada a diferencia Del anterior. Sigue la misma secuencia a diferencia del seguimiento de carga. Este paralelismo le hace seguimiento a la carga de

tal manera que se ajusta de acuerdo al requerimiento solicitado por la carga. Así logra que la energía base sea suministrada por la red pública y El resto de energía sea compensada por el grupo electrógeno.

La Figura 2.13 ilustra los pasos de su desempeño:

1. Arranque del grupo electrógeno
2. Ajuste de voltaje y frecuencia del grupo electrógeno
3. Puesta en paralelo del grupo electrógeno y la red pública, el grupo y el tablero de transferencia le hacen seguimiento a la carga.



**Figura 2.13** Transición cerrada con paralelismo extendido

## **CAPÍTULO III GRUPOS ELECTRÓGENOS**

Este capítulo está enfocado en describir los aspectos generales relacionados a los grupos electrógenos como fuente de energía de respaldo.

### **3.1 Aspectos generales**

Se utilizan como sistema auxiliar para momentos de déficit de una instalación, o bien para cubrir determinados consumos que se prefiere que no pasen a través de la misma.

En las zonas industriales aisladas, los grupos electrógenos de corriente alterna se utilizan normalmente como fuente principal de energía eléctrica, pero también se utilizan mucho, tanto en la industria como en el sector de servicios como fuente de energía de emergencia.

El funcionamiento de los grupos electrógenos utilizados para aplicaciones industriales o del sector terciario queda normalmente asegurado por motores diesel, turbinas de gas o máquinas de vapor. Las turbinas se utilizan principalmente para grupos electrógenos de centrales eléctricas de producción, mientras que se prefieren los motores diesel en la producción de energía eléctrica de emergencia. La elección del motor queda determinada por elementos tales como la disponibilidad y condiciones de abastecimiento de un tipo determinado, sin embargo, debido a que la utilización de motores diesel está muy extendida, se darán con frecuencia datos específicos referidos a este tipo de grupo .

### **3.2 Aplicaciones**

Se explican desde: el punto de vista de sus características y desde el punto de vista de las necesidades de continuidad de servicio

#### **3.2.1 Según sus características**

Se pueden aplicar como:

- Sistema auxiliar para momentos de déficit de una instalación por ejemplo, las viviendas, centros comerciales, hospitales centros bancarios, edificios multifamiliares, etc.
- Respaldo de determinados consumos que se prefieren no pasen a través de la misma como las explotaciones agropecuarias o granjas, con consumos especiales, aparatos de soldadura eléctrica, bombeo de gran potencia, molinos, etc.
- Alimentaciones de emergencia para reemplazar a la alimentación principal en caso de falla de esta última (con posibilidades de selección si la potencia del grupo es

insuficiente).

- Alimentaciones de sustitución como segunda fuente de alimentación principal para suplir a la primera fuente por razones de economía o en caso de excesos de consumo,
- Alimentaciones para servicio de seguridad, asociadas en su caso a un ondulator para poner y mantener instalaciones en condiciones de seguridad en períodos incompatibles con la autonomía de las baterías.

En todos los casos, el criterio dominante al elegir un grupo es su aptitud para funcionar de manera autónoma durante largos períodos. La oferta de los fabricantes de grupos electrógenos es casi ilimitada, y abarca desde pequeños grupos portátiles de algunos kVA, que se utilizan como fuente autónoma, hasta centrales de energía de varios MVA pasando por los grupos móviles sobre ruedas (destinadas, por ejemplo, a la alimentación de la red pública en caso de avería) o por los grupos estacionarios de varios centenares de kVA (destinados en su mayoría a un servicio de seguridad o de emergencia).

También las fuentes de energía están evolucionando y, aunque todavía se usa mucho petróleo, cada vez se emplea más el gas o incluso el vapor en las centrales de cogeneración.

Están llegando al mercado nuevas tecnologías de generación en sustitución o como complemento de los grupos electrógenos y, aunque no todas se encuentran aún en fase comercial, sin duda acabarán modificando la noción de producción autónoma y, sobre todo, su gestión eléctrica. En este contexto, cabe citar:

- Los turbogeneradores de alta velocidad (micro turbinas de gas).
- Las pilas de combustible.
- Los generadores eólicos.
- Las células fotovoltaicas.

Todas estas tecnologías se benefician implícitamente de la evolución de la electrónica de potencia, que permite transformar la corriente producida (continua, variable, de alta frecuencia) en una corriente utilizable de 50 Hz.

### **3.2.2 Según las necesidades de continuidad de servicio**

Para asegurar el normal desarrollo de los procesos o actividades ligados al funcionamiento de sistemas de emergencia estos se clasificarán como sigue:

**Grupo 1.-** En este grupo se encuentran aquellos sistemas de emergencia que alimenten consumos que por la naturaleza de su finalidad no toleran interrupciones superiores a 0,20 segundos y variaciones de frecuencia no superiores a  $\pm 0,5\%$ .

**Grupo 2.-** En este grupo se encuentran los sistemas de emergencia que alimenten consumos que no toleren interrupciones superiores a 15 seg.

**Grupo 3.-** En este grupo se encuentran los sistemas de emergencia que alimenten consumos que toleren tiempos de interrupción superiores a los ya indicados pero en ningún caso superiores a 15 minutos.

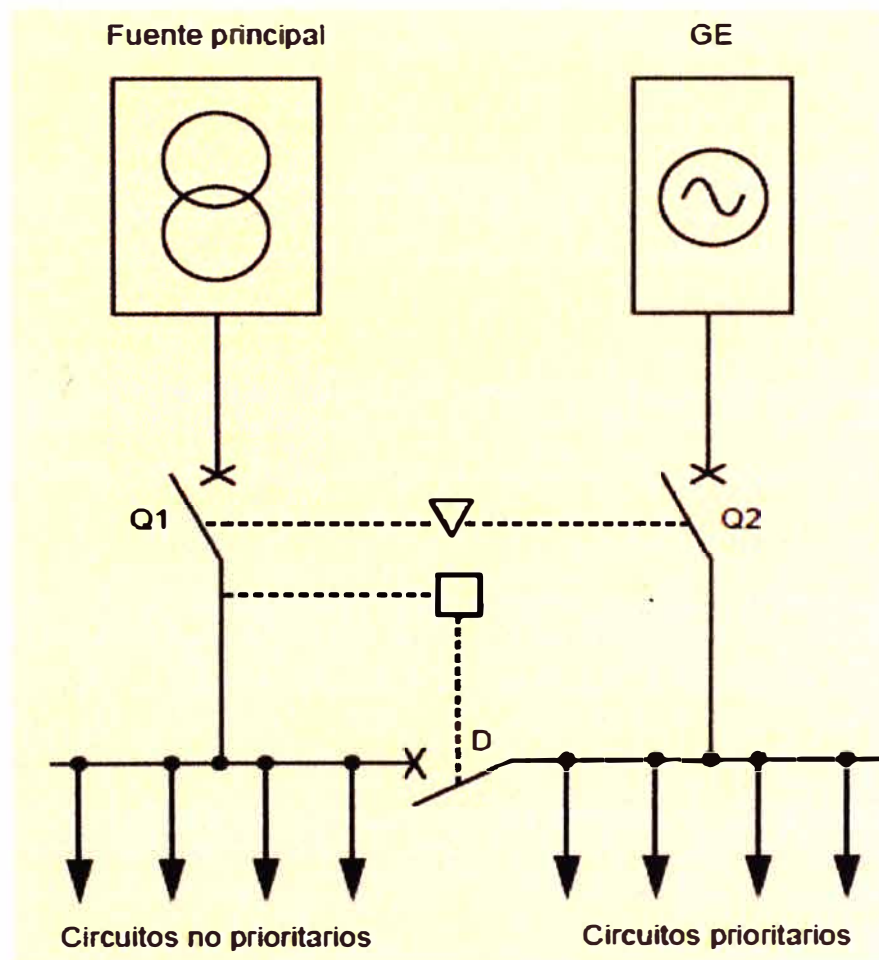
### 3.3 Principios de conexión de un GE como fuente de emergencia o de seguridad

Se explica desde baja y alta tensión

#### 3.3.1 En baja tensión

En caso de falla de la fuente principal, ésta se desconecta (apertura de Q1) y D es accionado (apertura), si procede, para alimentar sólo las cargas de emergencia, que permitirá al grupo alimentar los circuitos deseados (Q2 cerrado). Ver Figura 3.1.

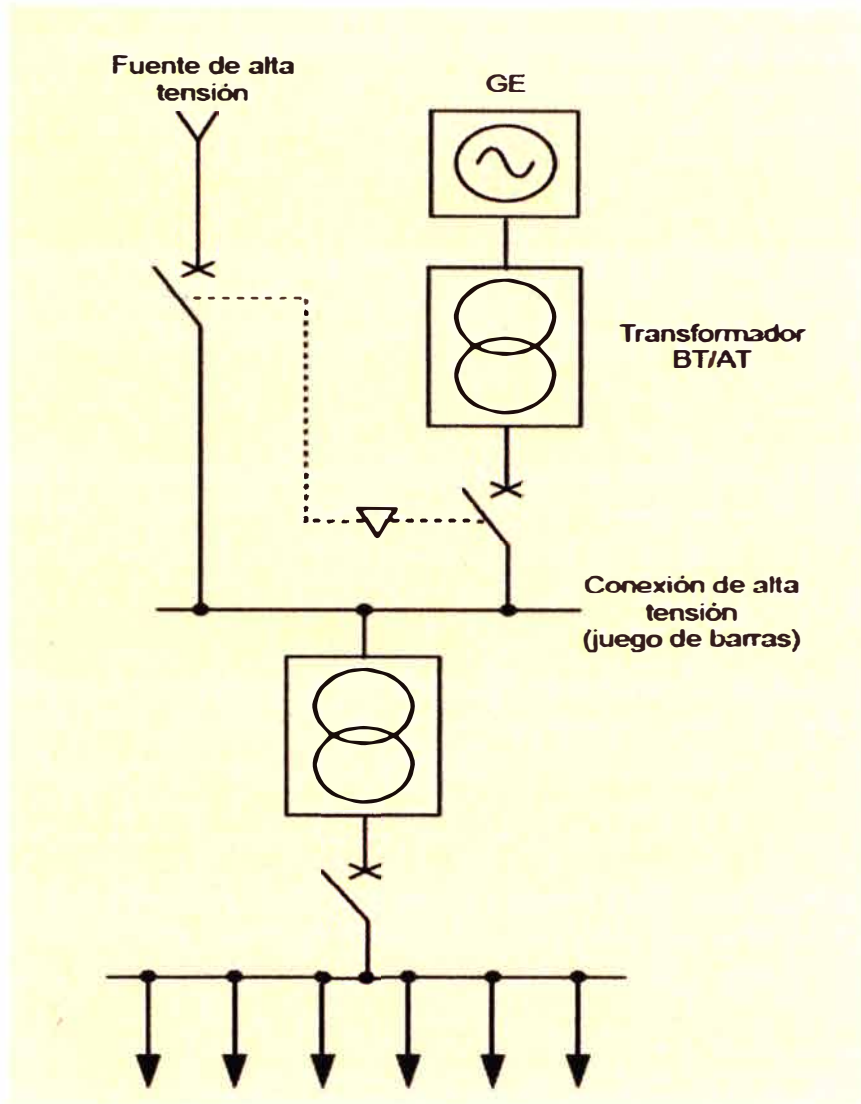
La secuencia de maniobras puede ser manual, semiautomática o automática, pero en todos los casos, bloqueos eléctricos y mecánicos deben impedir la realimentación de la red por el grupo o la conexión de ambas fuentes juntas.



**Figura 3.1** Principios de conexión en baja tensión

#### 3.3.2 En alta tensión

En las instalaciones de muy alta potencia, alimentadas directamente en AT (alta tensión), puede ser preferible conectar la fuente de emergencia directamente a la red de AT por medio de un transformador elevador BT / AT. En ese caso, las conmutaciones se efectúan directamente en AT y, por tanto, bajo corrientes más débiles.



**Figura 3.2** Principios de conexión en alta tensión



## **CAPÍTULO IV**

### **FILTRO DE ARMÓNICOS EN SISTEMAS DE ALTERNANCIA ININTERRUMPIDO**

Este capítulo está enfocado en describir los aspectos generales relacionados a la utilización de grupos electrógenos y filtros de armónicos del tipo activo para mejorar la calidad de energía de una carga crítica. Este concluye desarrollando los conceptos normativos en las cuales se basan la fabricación de filtros de armónicos del tipo activo.

#### **4.1 Aspectos técnicos generales**

Se ha constatado que muchos equipos electrónicos pueden generar una gran cantidad de armónicos debido a su etapa no lineal en la entrada (rectificador).

La generación de armónicos y sus corrientes armónicas pueden intoxicar la red y causar graves problemas como son: Sobrecalentamiento del transformador de entrada, vibraciones en los equipos rotativos, degradación de la forma de onda de tensión de red, avería en los componentes eléctricos de potencia (magneto térmicos, diferenciales, relés, equipos de medida, etc.) así como el mal funcionamiento equipos electrónicos o médicos.

Para evitar los problemas asociados a la generación de armónicos se ha creado diferentes normativas tales como la IEC-519-192, EN 6100-3-2 y la de más reciente aprobación EN-6100-3-4.

##### **4.1.1 Armónicos**

El desarrollo tecnológico en el ámbito industrial y domestico ha dado lugar a la difusión de aparatos electrónicos que debido a su principio de funcionamiento absorben una corriente no sinusoidal (cargas no lineales). Dicha corriente provoca, aguas arriba en la red, una caída de tensión también no sinusoidal y consecuentemente, las cargas lineales se encuentran alimentadas por una tensión distorsionada.

Los armónicos son las componentes de una forma de onda distorsionada y su utilización permite analizar cualquier forma de onda periódica no sinusoidal, descomponiéndola en distintas componentes sinusoidales.

Según el teorema de Fourier, cualquier función periódica de periodo T generalmente continua y limitada puede representarse por la suma de infinitos términos sinusoidales, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia de la función original.

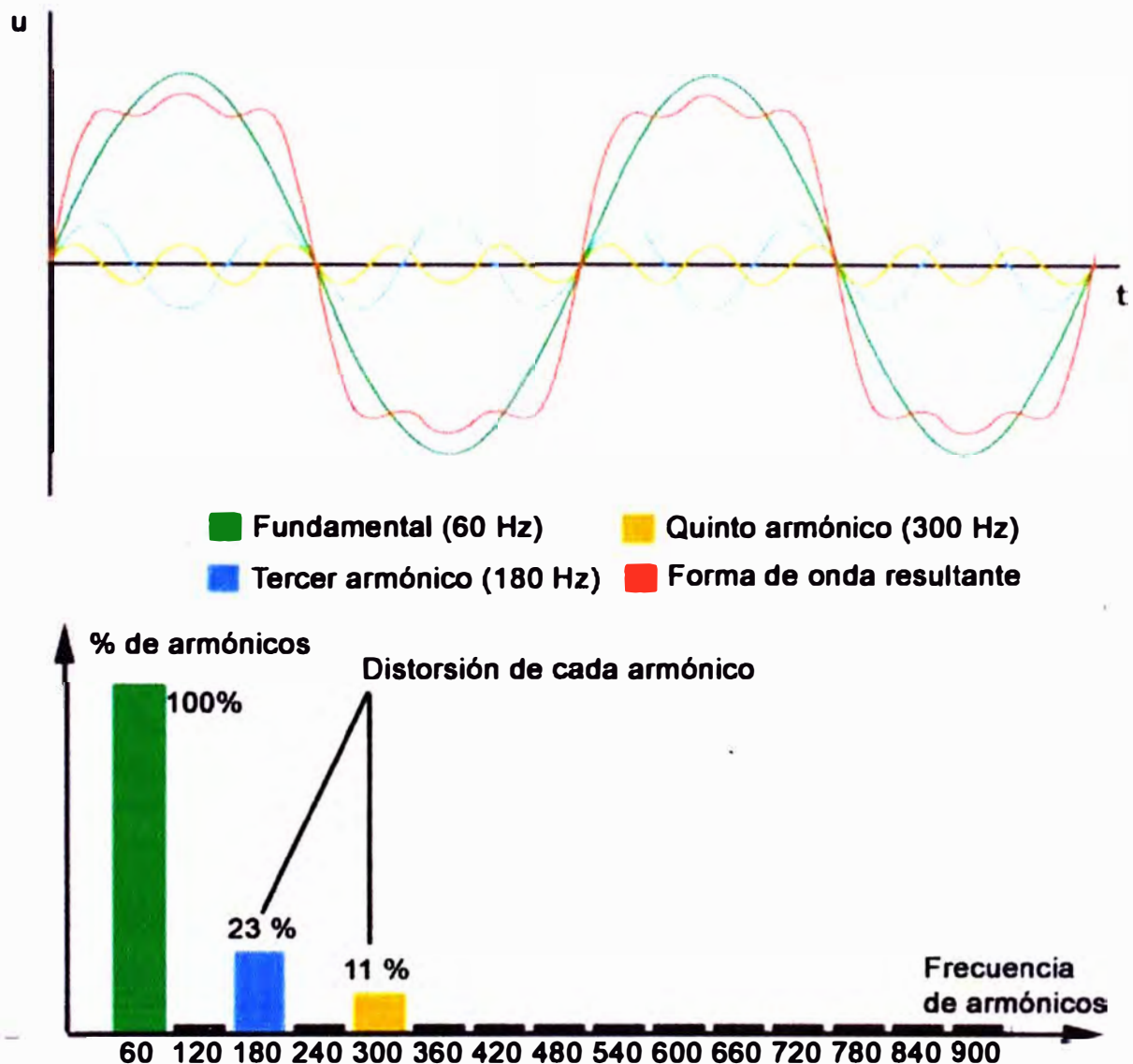
El armónico cuya frecuencia corresponde al periodo de la forma de onda original se llama armónico fundamental y el armónico con frecuencia igual a "n" veces la del

fundamental se llama armónico de orden "n".

Según el teorema de Fourier, una forma de onda perfectamente sinusoidal no presenta armónicos de orden diferente al fundamental.

La presencia de armónicos en un sistema eléctrico indica por tanto una deformación de la forma de onda de la tensión o de la corriente, lo que conlleva una distribución de energía eléctrica que podría provocar el funcionamiento deficiente de los equipos.

En la Figura 4.1 se muestra la onda fundamental, onda del tercer armónico y cómo afectan estas a la onda fundamental.



**Figura 4.1** Onda fundamental, tercer armónico, quinto armónico y onda resultante.

$$\text{THD}\% = 100 \sqrt{\sum_{n=2}^H \left(\frac{U_n}{U_1}\right)^2} = 100 \sqrt{\left(\frac{23}{100}\right)^2 + \left(\frac{11}{100}\right)^2} = 25.5\% \quad (4.1)$$

Los principales aparatos que generan armónicos son: ordenadores; lámparas fluorescentes y de descarga en gas; convertidores estáticos; grupos de continuidad;



accionamientos de velocidad variable; soldadoras; hornos de arco y de inducción.

Generalmente, la distorsión de la forma de onda se debe a la presencia, en el interior de los aparatos, de impedancias no lineales o de tiempo variante o de puentes rectificadores cuyos dispositivos semiconductores conducen solo durante una fracción de todo el periodo, creando comportamientos discontinuos con la consecuente introducción de numerosos armónicos.

Los principales inconvenientes causados por los armónicos se pueden resumir en:

**Efectos cuasi-instantáneos:**

- Fallo de interruptores automáticos por efecto  $di/dt$
- Operación incorrecta de contactores y relés.
- Interferencia con sistemas de comunicación (telemandos y sistemas telefónicos).
- Reseteo de ordenadores y errores en PLCs.

**Efectos medios o cuadráticos**

- Calentamiento y hasta destrucción de condensadores por sobretensión. Su impedancia decrece proporcionalmente con el orden de los armónicos presentes.
- Sobrecalentamiento y averías en transformadores
- Calentamiento de motores de inducción
- Pérdidas en el cobre de los conductores por efecto skin. Efecto proporcional a la frecuencia, en corriente alterna la intensidad se acumula en los extremos del cable por lo que se reduce la sección efectiva del mismo.
- Pérdidas dieléctricas en condensadores
- Intensidades en los conductores de neutro, incluso en redes equilibradas producido por los armónicos triples (3, 6, 9, 12, ...)

**Efectos de resonancia**

La impedancia de inductancias y condensadores depende de la frecuencia. La conexión en serie o en paralelo de inductancias y condensadores da lugar a situaciones singulares, denominadas de resonancia, en las cuales la impedancia se hace mínima o máxima

**Errores en equipos de medida**

- Errores de medición de energía activa, reactiva y factor de potencia.
- Lecturas erróneas con multímetros basados en el valor medio o con poco ancho de banda.
- La magnitud de los costes originados por la operación de sistemas y equipos eléctricos con tensiones y corrientes distorsionadas puede percibirse considerando lo siguiente:
  - Una elevación de sólo 10°C de la temperatura máxima del aislamiento de un conductor reduce a la mitad su vida útil.

- Un aumento del 10% de la tensión máxima del dieléctrico de un condensador reduce a la mitad su vida útil.

La corriente de armónicos puede ser limitada mediante filtros del tipo activo y filtros del tipo pasivo.

Tradicionalmente los filtros del tipo pasivo se han utilizado para resolver los problemas de armónicos en el entorno industrial dado su bajo coste al estar formado por inductancias y capacitancias.

#### 4.1.2 Fenómeno de resonancia

Un problema importante se da cuando la distorsión en línea alcanza valores elevados, existiendo peligro de resonancia entre el sistema de corrección (capacidad equivalente de los condensadores) y la inductancia equivalente de la red.

La resonancia se presenta cuando la reactancia inductiva y capacitiva se iguala. De esta forma, se hablará de circuito resonante serie cuando la inductancia y la capacidad estén conectadas en serie, o de circuito resonante paralelo si la inductancia y la capacidad se encuentran conectadas en paralelo.

En una misma red, pueden darse al mismo tiempo una resonancia en serie y una resonancia en paralelo. La resonancia tiene lugar a una frecuencia concreta, llamada frecuencia de resonancia  $f_r$ :

$$X_L = X_C \rightarrow f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.2)$$

Cuando se tiene resonancia en serie, la impedancia total teóricamente se anula:

$$\bar{Z}_{\text{tot}} = j(X_L - X_C) = 0 \quad (4.3)$$

Contrariamente, en presencia de resonancia en paralelo, la impedancia total tiende al infinito:

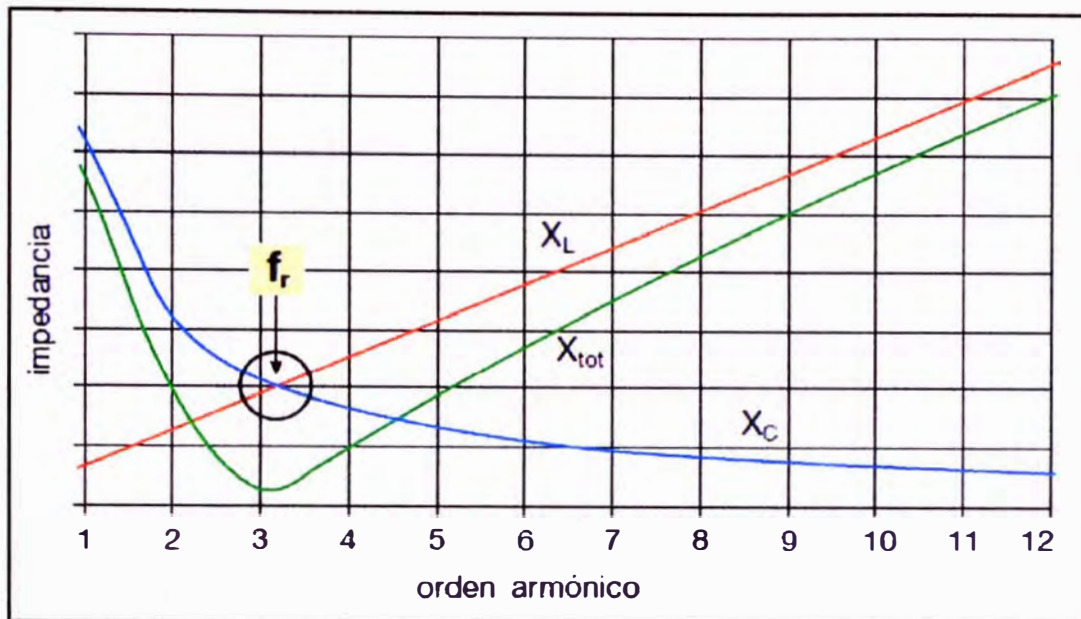
$$\bar{Z}_{\text{tot}} = \left( \frac{X_L X_C}{j(X_L - X_C)} \right) \rightarrow \infty \quad (4.4)$$

Si un circuito resonante serie recibe alimentación de tensión alterna con una frecuencia cercana a la frecuencia de resonancia, puede tener lugar una amplificación de la corriente absorbida que puede provocar perturbaciones, sobre corrientes e incluso daños en los componentes de la red.

Por el contrario, si un circuito resonante paralelo recibe alimentación de armónicos de corriente de cargas de distorsión, podría tener lugar una sobretensión en el armónico de resonancia.

La Figura 4.2 muestra el comportamiento de la reactancia capacitiva (decreciente con el orden de armónicos), inductiva (creciente con el orden de armónicos) y total de una red; la reactancia total en serie adquiere su valor mínimo en la frecuencia de resonancia

(en el ejemplo del grafico, unas tres veces la frecuencia fundamental).



**Figura 4.2** Comportamiento de la reactancia capacitiva, inductiva y total de una red;

La corriente de armónicos puede ser limitada mediante filtros de armónicos de potencia pasivo o compensadores activos de armónicos.

Como se indicó los efectos de un circuito resonante en todo el proyecto es muy serio, para evitar que un circuito caiga en un régimen resonante se utilizan filtros de armónicos, estos actúan directamente sobre la frecuencia de resonancia de tal manera que el armónico de corriente a dicha frecuencia sea eliminado o filtrado.

En el mercado hay diferentes tipos de filtros, entre los más comunes son:

**Filtros de rechazo (BT/AT):** Están formados por baterías de condensadores con reactancias de rechazo. Este conjunto forma un circuito serie resonante sintonizado a una frecuencia inferior a la del armónico más común (5º). A frecuencias armónicas el valor de la reactancia es dominante y el escalón es, por tanto, inductivo. No hay amplificación armónica, ya que no existe circuito resonante paralelo entre el circuito serie condensador-reactancia y la red exterior. La batería actúa también como filtro de absorción, eliminando parcialmente (15 a 20%) las corrientes armónicas de menor frecuencia del sistema.

**Filtros de absorción (BT/AT):** Están formados por tantas ramas L-C como armónicos se desee filtrar. El valor de la inductancia de la reactancia (L) es aquel que asegura un bajo valor de impedancia para el circuito resonante serie a la frecuencia armónica. De esta forma la mayor parte de la intensidad armónica se dirige hacia el filtro (80 a 90%).

**Filtros Activos:** Los filtros activos eliminan los armónicos (desde el 2º hasta el 50), tanto en las fases como en el neutro en tiempo real (tiempo de respuesta inferior a 1 ms), pudiendo compensar también la potencia reactiva.

## 4.2 Métodos para la reducción de armónicos

El filtrado es un método para la reducción de armónicos en una planta industrial cuando se ha aumentado gradualmente la distorsión por armónicos o como una solución total en una nueva planta. Hay dos métodos básicos: filtros activos y pasivos.

### 4.2.1 Filtros de armónicos de potencia pasivo

Se tienen dos sistemas de utilización para estos tipos de filtros:

- Filtro pasivo de una rama ajustada.
- Filtro pasivo de múltiples ramas ajustadas.

#### a. Filtros pasivo de una rama ajustada.

El principio de un filtro pasivo de rama ajustada se muestra en la Figura 4.3. Este filtro debería aplicarse en el componente armónico menor cuando existe una generación de armónicos significativa en el sistema.

Para sistemas que suministran principalmente una carga industrial probablemente sea el quinto armónico. Por encima de la frecuencia ajustada los armónicos se absorben, pero por debajo de ella quizá se amplifiquen.

Características:

- una sola frecuencia de ajuste.
- Filtran armónicos absorbidos por encima de la frecuencia ajustada.
- Posible amplificación de armónicos por debajo de esta.
- Reducción de armónicos limitada por kVAR y la red.

Este tipo de filtro consta de un inductor en serie con un banco de condensadores y la mejor ubicación para el filtro pasivo es cerca de las cargas generadoras de armónicos. Esta solución no suele emplearse para nuevas instalaciones.

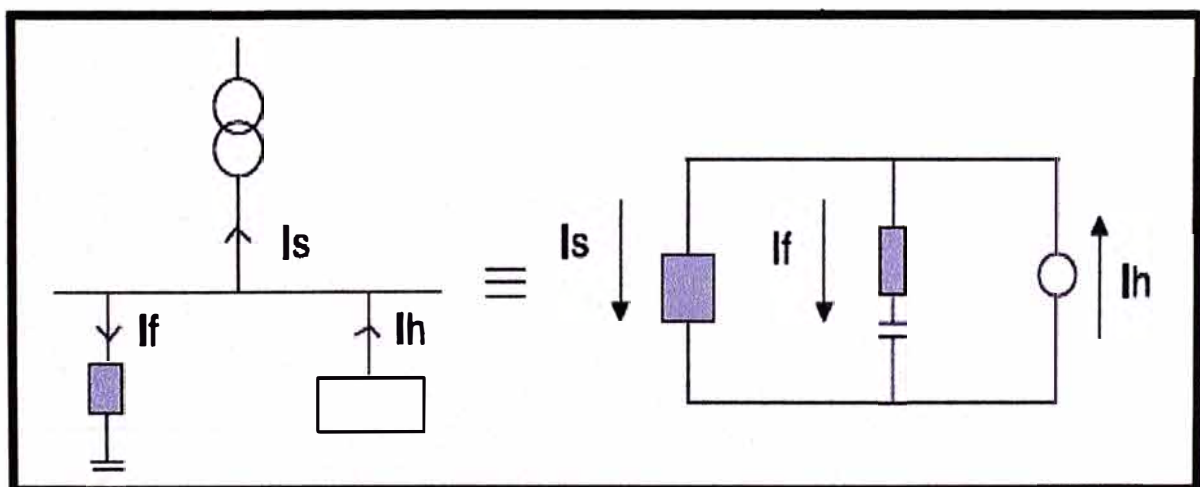


Figura 4.3 Filtro pasivo de una sola rama ajustada.

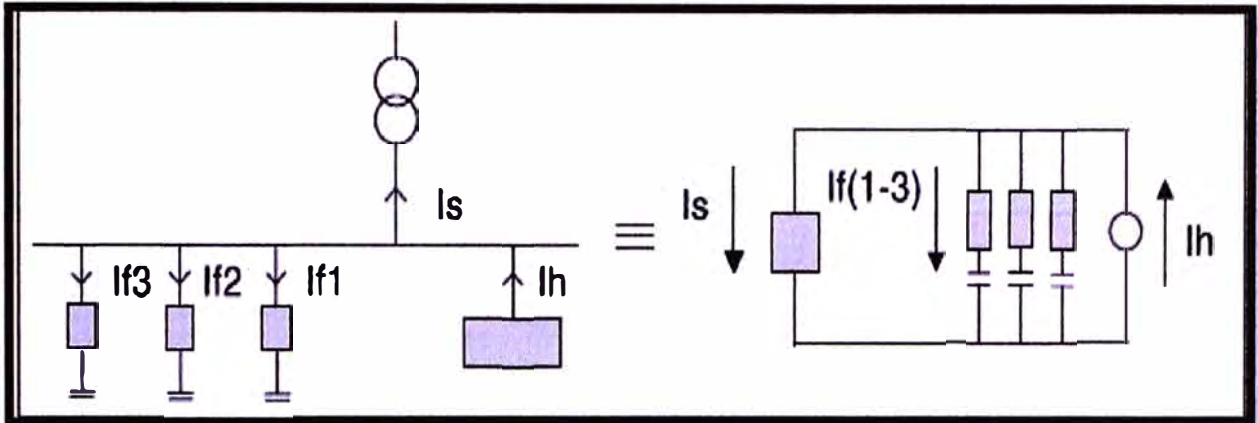
#### b. Filtros pasivo de múltiples ramas ajustadas

El principio de este filtro se muestra en la Figura 4.4. Tiene varias ramas ajustadas a dos o más componentes armónicos que deberían ser las frecuencias de armónicos

Significativas menores en el sistema. El filtro múltiple tiene mejor absorción de armónicos que el sistema de una rama.

Características:

- Capacitivo por debajo de la frecuencia, inductivo por encima de la frecuencia.
- Armónicos absorbidos por encima de la frecuencia ajustada.
- Posible amplificación de armónicos por debajo de esta.
- Reducción de armónicos limitada por kVAR y la red.

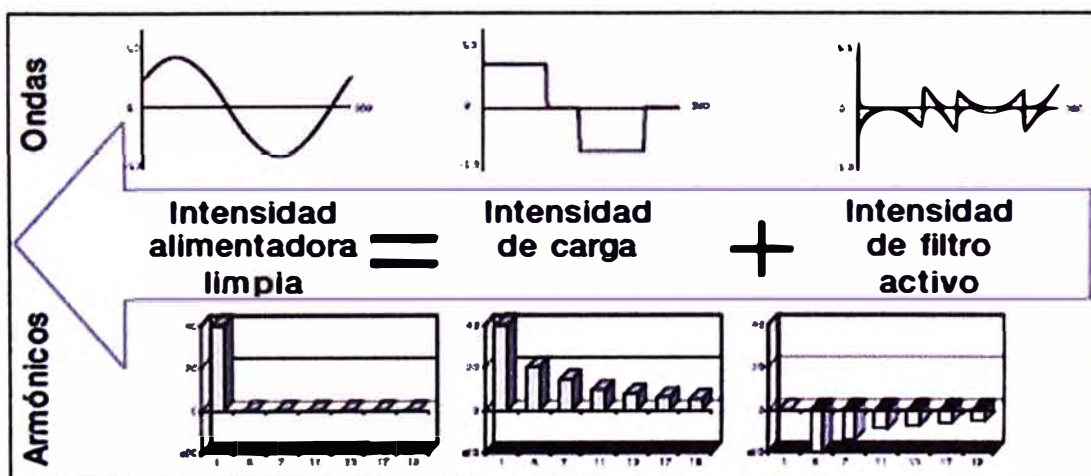


**Figura 4.4** Filtro pasivo de múltiples ramas ajustadas.

Los filtros pasivos de múltiples ramas se suelen emplear en grandes instalaciones de accionamientos de CC en las que un transformador dedicado alimenta a toda la instalación. Un filtro pasivo ajustado introduce nuevas resonancias que pueden provocar problemas por armónicos adicionales. Las nuevas tecnologías de electrónica de potencia brindan productos que pueden controlar la distorsión por armónicos con control activo.

#### 4.2.2 Filtros de armónicos de potencia activos

El filtro activo compensa los armónicos generados por cargas no lineales generando los mismos componentes armónicos en la fase opuesta como se muestra en la Figura 4.5. Los filtros activos son los más adecuados para varios convertidores pequeños. Son relativamente más costosos en comparación con otros métodos.



**Figura 4.5** Ondas y armónicos del filtro externo.



### 4.3 Aspectos técnicos de los filtros activos

Se ha constatado que muchos equipos electrónicos pueden generar una gran cantidad de armónicos debido a su etapa no lineal en la entrada (rectificador).

Una de las formas de mejorar esta situación, es la utilización de filtros activos de potencia (APF), y en los últimos años se han desarrollado distintas estructuras. Estas cargas no lineales conectadas a la red consumen corrientes que no son senoidales. Así mismo el consumo de corrientes no senoidales, aplicada a una red eléctrica de impedancia no nula, produce una distorsión en la forma de la tensión en los puntos de conexión de los equipos. Este efecto se representa en la Figura 4.6.

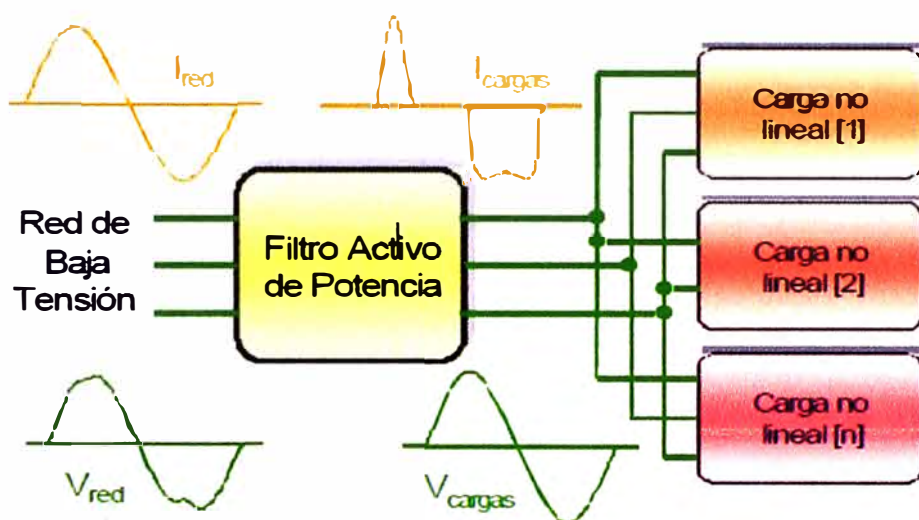


Figura 4.6 Filtro activo de potencia

El propósito de un filtro activo es el de reducir los dos problemas anteriores; de forma que la corriente que circule por la red eléctrica sea senoidal y que la tensión aplicada a las cargas también lo sea.

Para conseguir los dos objetivos anteriores, se pueden utilizar distintas topologías de filtros. Con lo que es necesario realizar una clasificación para su estudio.

#### 4.3.1 Funciones de un filtro activo

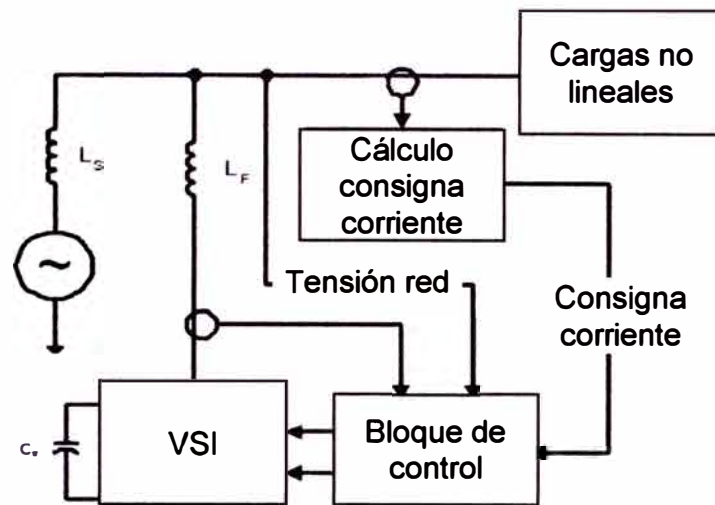
Antes de presentar las clasificaciones de los APF (Active Power Filter) es conveniente presentar los distintos tipos de perturbaciones que se pueden presentar en la red eléctrica; para conocer las distintas funciones que puede tener que realizar un APF. Estas funciones son las siguientes:

- Reducción de los armónicos de corriente que circulen por la red, entre el APF y los centros de generación de energía.
- Reducción de la corriente por el neutro. Si este existe la amplitud de los armónicos de corriente múltiplos de tres se suman a través del neutro.
- Reducción de los armónicos de tensión en los puntos de conexión de las cargas.
- Corrección del factor de potencia provocado por un  $\cos \varnothing$  distinto de la unidad.

- e) Equilibrado de la corriente que circula por las distintas fases.
- f) Equilibrado de la tensión entre fases y con el neutro.
- g) Regulación de la tensión y reducción del Flicker

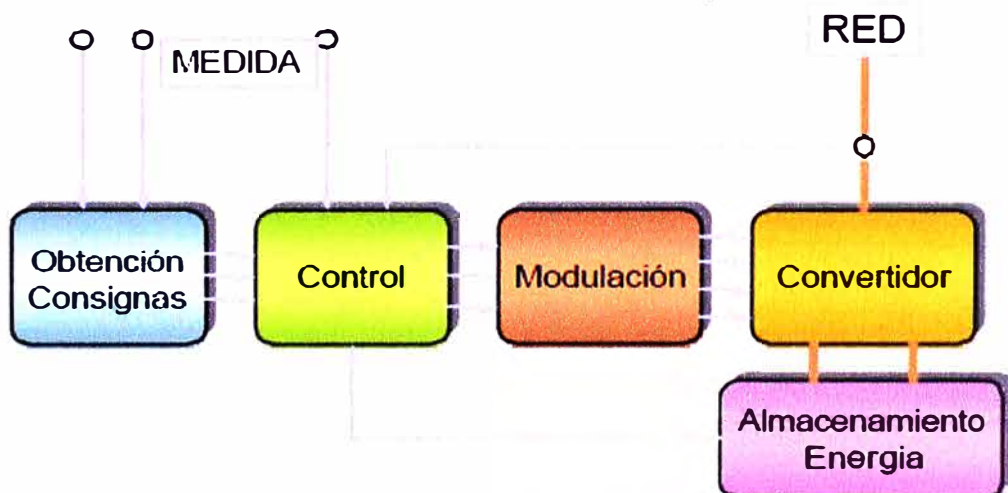
#### 4.3.2 Estructura de un filtro de armónico activo (APF)

La estructura de un APF, en general está compuesta por un convertidor, normalmente un inversor de tensión (VSI), un bloque de control y un sistema de medida de los parámetros de red. Además el APF puede contar con transformadores y o bobinas para su conexión a la red. En la Figura 4.7 se muestra el diagrama de bloques básico de un APF paralelo.



**Figura 4.7** Diagrama de bloques de un APF paralelo

En esta estructura el APF actúa como fuente de corriente controlada. Entrando más en detalle en la estructura del APF, el bloque de control se puede descomponer, a su vez en dos bloques básicos, tal como se muestra en la Figura 4.8.



**Figura 4.8** Diagrama de bloques de un APF

El bloque de "Obtención de Consignas", es el encargado de separar la componente fundamental de la corriente que absorbe la carga, de los armónicos presentes en esta

corriente. Estos armónicos son los que forman la consigna aplicada al control del APF.

El bloque de "Control" debe actuar sobre el convertidor para que las corrientes que absorbe el filtro (armónicos) coincidan con las consignas anteriores.

La función del bloque de "Modulación" es la de transformar unas señales de tensión, variables en amplitud, procedentes del control en los tiempos de encendido y apagado de cada uno de los interruptores del VSI.

En ciertos casos, dependiendo del tipo de control utilizado los bloques de control y modulación no son separables. Por ejemplo cuando se utiliza un control de corriente por banda de histéresis.

A pesar que la potencia media consumida por un APF, en un periodo de red, debe ser nula, salvo pérdidas; es necesario un elemento que almacene energía, ya que la potencia instantánea no será nula.

Una de las características de los filtros activos del tipo VSI, es la utilización de un bus de DC para el almacenamiento temporal de energía. Si se debe conectar este filtro directamente a la red (sin utilizar transformador de acoplamiento), la tensión del bus de continua debe ser superior a la tensión de pico de la red; por lo tanto los interruptores (usualmente IGBT) deben soportar tensiones elevadas.

La utilización de convertidores multinivel reduce la tensión máxima que deben soportar estos interruptores y añade algunas ventajas como son la reducción del rizado y una respuesta temporal más rápida.

#### **4.3.3 Fuentes básicas de perturbaciones y tipos de perturbaciones generadas**

Para poder reducir las perturbaciones con la máxima eficacia posible, es conveniente conocer sus características, como son y cómo se originan. Las fuentes de perturbaciones más abundantes en la red eléctrica en la actualidad son los diversos tipos de convertidores estáticos conectados a la red, y en particular los rectificadores controlados o no asociados con diversos tipos de cargas inductivas o capacitivas.

En la Figura 4.9 y 4.10 se muestran, de forma esquemática, estos dos tipos de cargas básicas.

En la figura 4.9 se muestra una estructura de puente rectificador que alimenta una carga principalmente inductiva. La forma de onda la señal de corriente será del tipo mostrado en la propia figura 4.9. Con tendencia a presentar una forma de señal cuadrada, en la que la anchura de los diversos semiperiodos dependerá del número de fases y del control del rectificador, si este es del tipo controlado o semicontrolado.

En la Figura 4.10 se muestra un tipo de carga no lineal muy frecuente en redes monofásicas domésticas y de oficinas, es el rectificador con carga capacitiva. En este caso la forma de onda de la corriente tiene picos estrechos y de gran amplitud



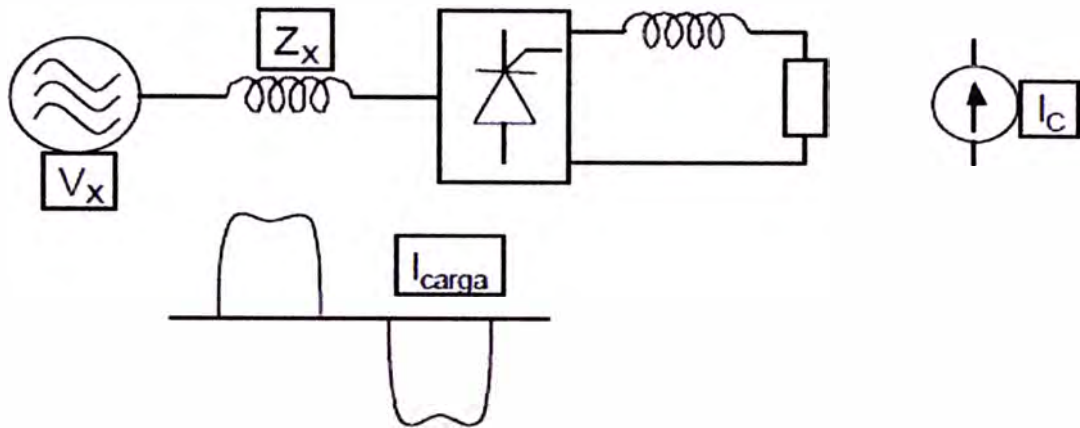


Figura 4.9 Circuito rectificador con carga inductiva

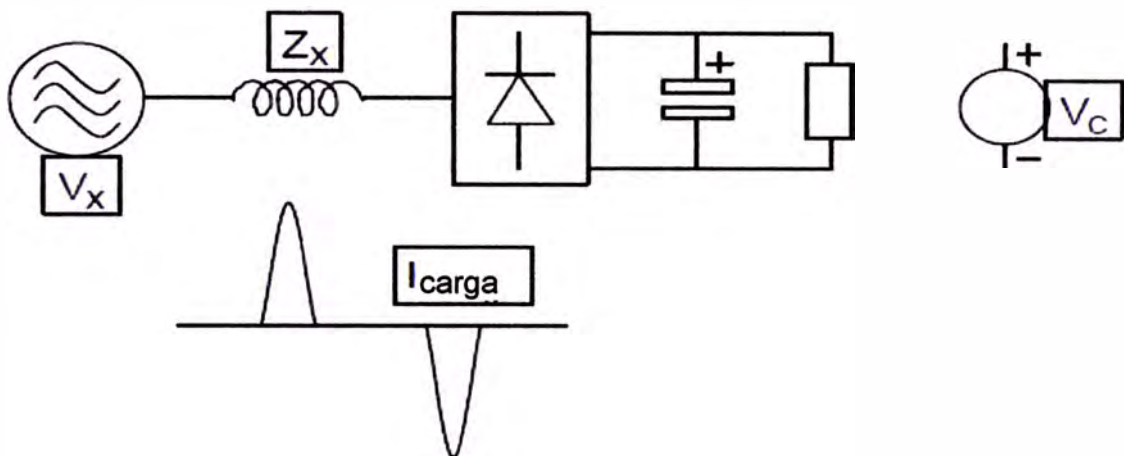


Figura 4.10 Circuito rectificador con carga capacitiva

#### 4.3.4 Clasificación de los filtros. Aplicaciones de las distintas estructuras

Los filtros utilizados para la reducción de perturbaciones en la red eléctrica se pueden clasificar de varias formas. En primer lugar se pueden separar entre filtros de tipo serie y de tipo paralelo. En la Figura 4.11 se ve que la denominación del filtro depende de si se encuentra conectado en serie o en paralelo con la carga. En las figuras 4.12 y 4.13 se presenta el efecto de cada una de las topologías de filtros activos: serie y paralelo.

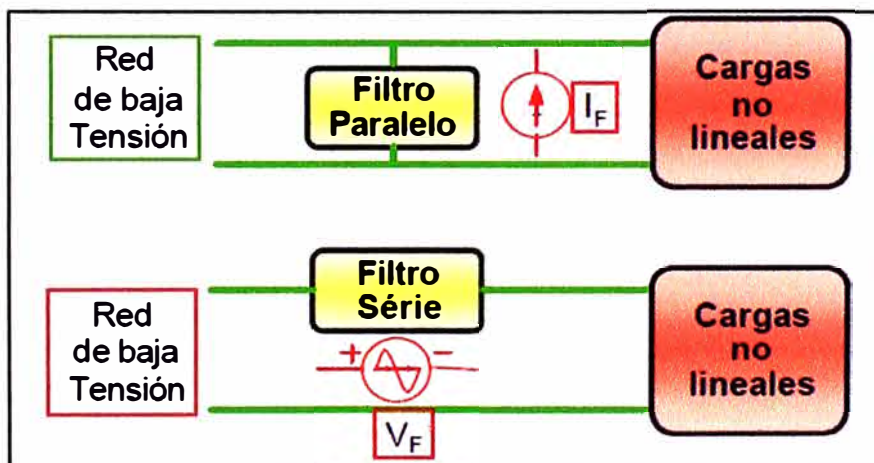
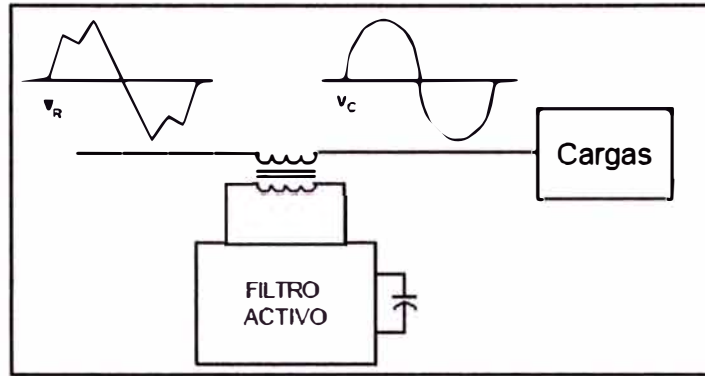
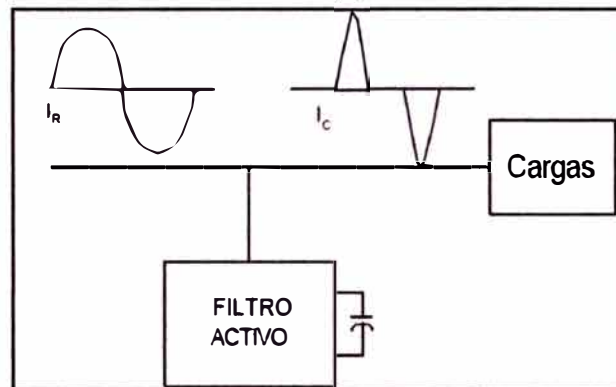


Figura 4.11 Filtros paralelo y filtros serie



**Figura 4.12** Aplicación de un filtro activo topología Serie



**Figura 4.13** Aplicación de un filtro activo topología Paralelo

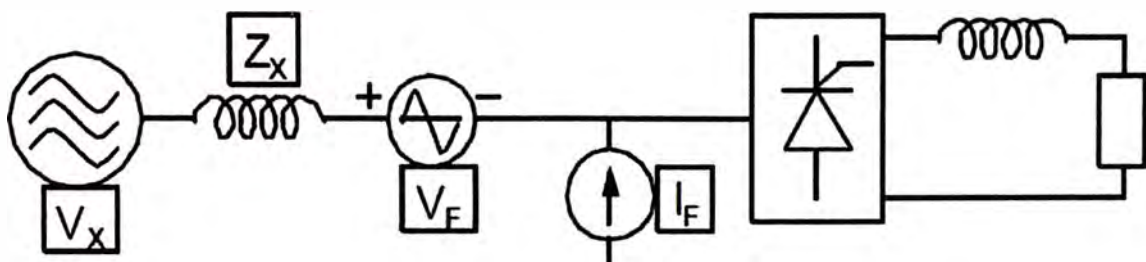
Para la reducción de la distorsión de la corriente en el punto donde se conecta el APLC se acostumbra a utilizar un filtro de tipo paralelo; mientras que para la reducción de la distorsión de la tensión en la carga se utilizan filtros serie.

#### 4.4 Filtros de armónicos mixto

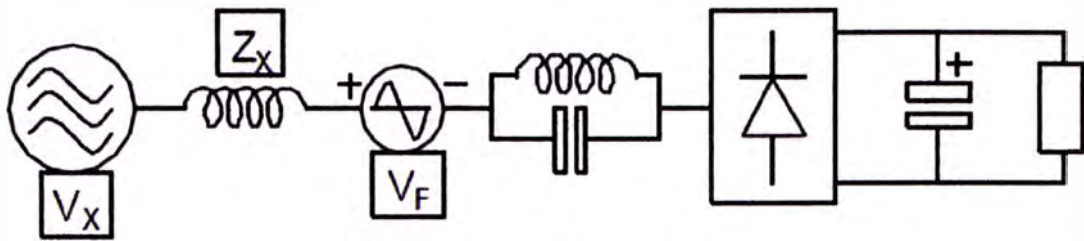
Los filtros mixtos, están formados por la asociación de filtros pasivos y activos. Los filtros de potencia, pueden estar formados por un único filtro o por la combinación de varios.

En una combinación de filtro serie – paralelo cada bloque, a su vez, puede estar formado por la asociación de distintos filtros. Además, se pueden conectar filtros activos o pasivos en cada caso, dando lugar a múltiples combinaciones (figuras 4.14 a 4.18).

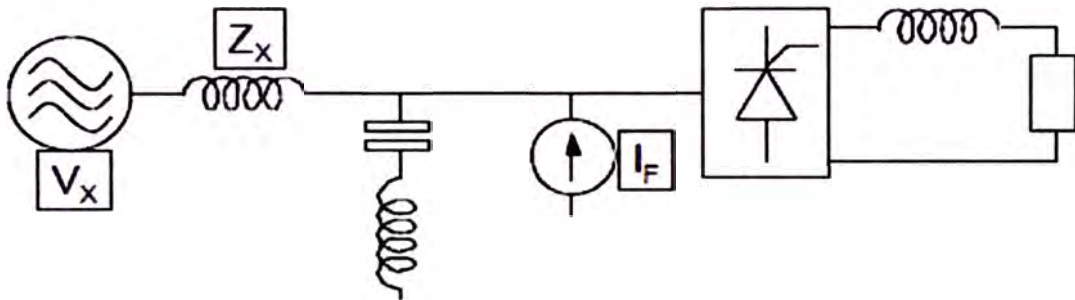
La combinación de filtros activos y pasivos permite reducir el tamaño, y por lo tanto el coste de los filtros activos manteniendo las ventajas que presentan estos últimos frente a los filtros pasivos.



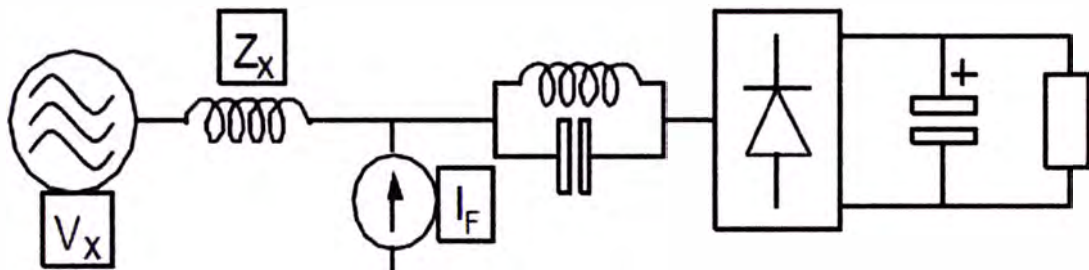
**Figura 4.14** Combinación de filtros activos serie y paralelo



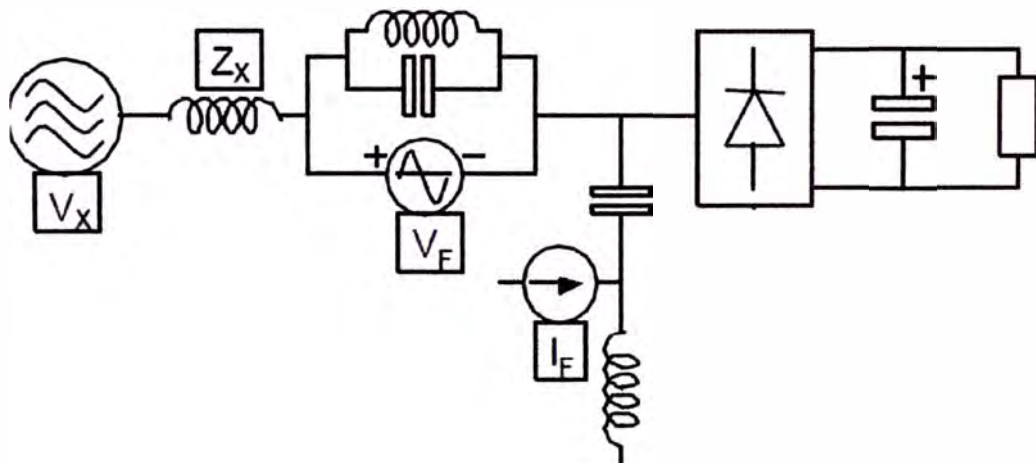
**Figura 4.15** Filtro serie combinando dos filtros, uno activo y uno pasivo



**Figura 4.16** Filtro paralelo combinando dos filtros, uno activo y uno pasivo



**Figura 4.17** Filtro activo paralelo, combinado con un filtro pasivo serie.



**Figura 4.18** Combinación de filtros serie y paralelo; activos y pasivos

#### 4.5 Aplicaciones de los filtros serie y paralelo

En general las aplicaciones de las distintas estructuras son las siguientes:

##### Filtros serie:

- Reducción de armónicos de tensión en la carga
- Regulación de la tensión
- Reducción del Flicker y los microcortes de tensión.

##### Filtros Paralelo:

- a) Reducción de los armónicos de corriente
- b) Compensación del factor de potencia
- c) Reducción de la corriente por el neutro

#### **4.6 Conclusiones**

El número de cargas no lineales conectadas a la red aumenta día a día de forma considerable. Para reducir los armónicos generados por estas cargas y propagados por la red eléctrica, es necesario colocar filtros entre la carga o cargas perturbadoras y la red. Los tipos de filtros a colocar dependen del tipo de cargas no lineales.

Los filtros activos permiten reducir diversos tipos de perturbaciones, sin embargo, para una topología de filtro concreta, sus prestaciones dependen del tipo de perturbación y de diversos parámetros de diseño.

La combinación de varios filtros activos, o activos y pasivos permite mejorar las prestaciones compensando distintos tipos de perturbaciones.

#### **4.7 Aspectos normativos**

Existen diversas normas y recomendaciones relacionadas a estos sistemas. Estas son desarrolladas a continuación

##### **4.7.1 IEEE 519-1992**

Esta recomendación práctica pretende establecer los principios para el diseño de sistemas eléctricos que incluyan cargas lineales y no lineales.

La filosofía de esta norma busca limitar la inyección de armónicos de clientes individuales de manera que no creen voltajes inaceptables de distorsión bajo las características normales del sistema y limitar la distorsión armónica total del voltaje suministrado por el proveedor.

Los límites de valores de voltaje y corriente deben usarse como valores de diseño para el peor de los casos en condiciones de operación normales que duran más de una hora. Para periodos más cortos como los arranques los límites pueden ser excedidos en un 50%.

Este estándar divide la responsabilidad de limitar las armónicas entre los usuarios finales y las empresas de distribución. los usuarios finales serán responsables de limitar las inyecciones de corrientes armónicas, mientras que los proveedores serán responsables de limitar la distorsión de voltaje en la red de distribución.

Los límites de corriente y voltaje de armónicos para este estándar son analizados en el PCC (punto de acoplamiento en común), este es el punto donde pueden conectarse nuevos clientes en el futuro.

La norma busca un acercamiento justo de asignación de cuota de límite de armónicos para cada cliente. La norma busca un acercamiento justo de cuota límite para cada

cliente, asigna límites de inyección de corrientes basados en el tamaño de la carga con respecto al tamaño del sistema de potencia, el mismo que está definido por su capacidad de corto circuito.

La relación de cortocircuito está definida como la proporción de cortocircuito máximo en la PCC para la máxima demanda de corriente de carga (Componente de frecuencia fundamental) en el PCC.

La base para limitar las inyecciones de armónicas de los clientes individuales es evitar Niveles inaceptables de distorsión de voltaje . por eso los límites de corrientes se establecen de tal manera que las inyecciones armónicas totales para cada cliente individual no excedan de la distorsión de voltaje máxima mostrada en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1** Base para los límites de corrientes armónicas (Fuente: IEEE 519-1992)

<b>Relación de Cortocircuito en el PCC</b>	<b>Voltaje máximo Individual de Frecuencia armónica (%).</b>	<b>Armónico máximo permisible de corriente A.</b>
10	2.5-3.0	Sistema dedicado
20	2.0-2.5	1-2 Clientes grandes
50	1.0-1.5	Pocos clientes relativamente grandes
100	0.5-1.0	5-20 Clientes medianos
1000	0.05-0.10	Muchos clientes pequeños

En la Tabla 4.1 se muestra los límites de corrientes armónicas para varios tipos de sistemas, en cargas más pequeñas (valores con relación de cortocircuito relativamente más grandes) es permitido un porcentaje mayor de corrientes de armónicas que en las cargas mas grandes con valores menores de relación de cortocircuito.

Las cargas más grandes deben ser sometidas a límites más estrictos de distorsión dado que ocupan una porción más grande de la capacidad de carga del sistema. Los límites de corriente toman en cuenta la diversidad de corrientes armónicas de las cuales algunas de las corrientes armónicas tienden a cancelarse mientras que otras se suman.

Los límites de corrientes de armónicos en el PCC son establecidos para limitar voltajes individuales de distorsión y distorsiones totales de voltaje THD para los valores mostrados en la Tabla 4.2, puesto que la distorsión de voltaje depende de la impedancia del sistema, la clave para controlar la distorsión de voltaje es controlar la impedancia. Dos condiciones que producen una impedancia alta son cuando el sistema es demasiado débil para alimentar la carga adecuadamente o cuando el sistema está en resonancia, el último es el más común. Por consiguiente si se mantiene el voltaje de distorsión en valores reducidos aseguramos que el sistema se mantenga fuera de resonancia. Ocasionalmente nuevos transformadores y líneas tendrán que ser agregadas para



incrementar robustez del sistema.

**Tabla 4.2** Límites de distorsión armónica de voltaje en porcentaje de voltaje nominal de la frecuencia fundamental. (Fuente: IEEE519-1992)

<b>Voltaje nominal en el sistema en el PCC, <math>V_n</math> (KV)</b>	<b>Voltaje de distorsión armónica individual (%).</b>	<b>Voltaje de distorsión Armónica total THVn (%).</b>
$V_n \leq 69$	3.0	5.0
$69 \leq V_n \leq 161$	1.5	2.5
$V_n > 69$	1.0	1.5

La norma IEE-519-1992 representa un consenso general de pautas y prácticas recomendadas por los distribuidores y sus clientes en un esfuerzo por minimizar y controlar el impacto de armónicos generados por cargas no lineales.

#### **4.7.2 EN 61000-3-2**

Esta norma fue creada para establecer el nivel de corrientes de armónicos inyectadas de la carga hacia la red. Establece algunas reglas más prácticas y ofrece una definición más clara de las clases de equipos.

Este documento es emitido por la Comisión Europea de Asociación de Fabricantes (EPSMA) y tiene como objetivo mejorar la comprensión de la reducción de corrientes armónicas.

A partir del 01/01/2001 todos los equipos eléctricos y electrónicos que se conecta a la red pública hasta 16A Max de corriente nominal deben de cumplir esta norma.

Las soluciones actuales de reducción se pueden utilizar para cumplir con los límites de la norma que influye mucho en el diseño de todas las fuentes de alimentación. Esta norma clasifica los equipos en cuatro categorías:

**Clase A:** equipos trifásicos balanceados y todos los demás equipos no pertenecientes a las clases B, C, D.

**Clase B:** Herramientas portátiles, equipos de soldadura de arco.

**Clase C:** Equipos de iluminación incluyendo dispositivos de atenuación (dimmer).

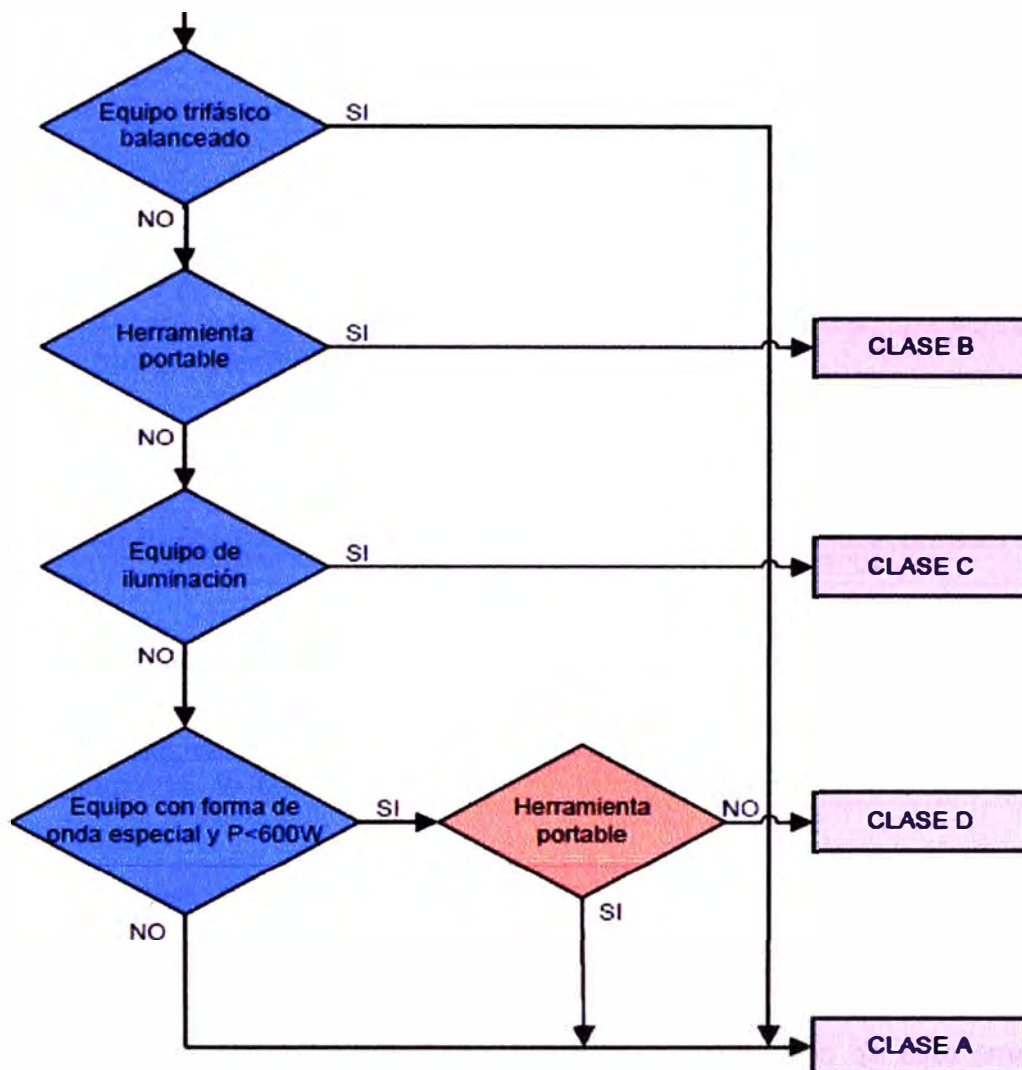
**Clase D:** Equipo con entrada de corriente con "forma de onda especial", PC, monitores de PC, radio, o receptores de TV. Potencia de entrada  $P \leq 600$  watt.

La Figura 4.19 puede usarse para clasificar los equipos en IEC 61000-3-2 debe notarse que los equipos de clases B, C y equipos de control de motores no son considerados equipos de clase D sino se toma en cuenta la forma de onda de su entrada de corriente.

La máxima corriente armónica permisible para las clases A, B, C y D es determinada con la medida de amperaje real tomada en la entrada de corriente del equipo nótese que el límite de corriente de armónicos para equipos de clase B es el 150% de los de clase A.



Los límites de corrientes armónicas acordes a IEC 61000-3-2 se muestran en las tablas 4.3, 4.4 y 4.5, los límites de corrientes para equipos de clase D están especificados



**Figura 4.19** Flujograma para clasificar tipos de equipos de acuerdo a la IEC 61000-3-2 en números absolutos ya valores relativos a la potencia activa. Estos límites solo aplican a equipos con consumo de potencia hasta 600W.

**Tabla 4.3** Límites de corrientes armónicas para equipos de clase A (Fuente: Ref. [14])

Orden impar h	Máximo valor de corriente permitido (A)	Orden impar h	Máximo valor de corriente permitido (A)
3	2.3	2	1.08
5	1.14	4	0.43
7	0.77	6	0.3
9	0.4	8-40	$0.23 \cdot 8/h$
11	0.33		
13	0.21		
15-39	$0.15 \cdot 15/h$		

**Tabla 4.4** Límites de corrientes armónicas para equipos de clase C (Fuente: Ref. [14])

Orden del armónico h	Máximo valor de corriente permitido (%)
2	2
3	30* Factor de potencia del circuito
5	10
7	5
9	7
11-39	3
Porcentaje de corriente fundamental de ingreso	

**Tabla 4.5** Límites de corrientes armónicas para equipos de clase D (Fuente: Ref. [14])

Armónico de orden h	Máximo valor de corriente permitida (%)	
	Por vatio (mA/W)	(A)
2	3.4	2.3
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.40
13	0.35	0.33
11-39	3.86/h	Ver figura 4.18
Porcentaje de corriente fundamental de ingreso		

#### 4.7.3 IEC 61000-3-4

Esta norma fue creada para establecer el nivel de corrientes de armónicos inyectadas de la carga hacia la red en baja tensión para equipos de corriente nominal superior a 16 A hasta 75 A.

Conexiones de este tipo de equipo no requiere la aprobación de esta empresa de distribución, los límites de armónicos de corrientes basado en esta norma se muestran en la Tabla 4.6

**Tabla 4.6** Límites de corrientes armónicas (Fuente: Ref. [14])

Armónico De orden h	Máxima corriente armónica permitida(%)	Armónico De orden h	Máxima corriente armónica Permitida(%)
2	21.6	19	1.1
5	10.7	21	0.6
7	7.2	23	0.9
9	3.8	25	0.8
11	3.1	27	0.6
13	2	29	0.7
15	0.7	31	0.7
17	1.2	33	0.6

#### 4.8 Principio de funcionamiento de un filtro activo de armónicos

Para este caso se menciona una marca específica de filtros de armónicos ACUSINE Figura 4.20, el cual su proveedor es Schneider Electric.



**Figura 4.20** Filtro de armónicos del tipo activo marca Accusine

#### **Características.**

- Potencias de 50A, 100A y 300A.
- Voltaje universal: 208V - 480V, 3 fases 3 hilos.
- Opciones de encerramiento, NEMA 12, IP30.
- Oferta mundial: cumple normas IEC, UL, CSA, CE, ABS, C-Tick.
- Cumple con los principales estándares de armónicos en todo el mundo: IEEE-519-92, G5/4-1, GB/T 14549, IEC61000-3-2/-3-4.
- Respuesta ultra rápida a los cambios de carga - en microsegundos.
- Cancela todos los armónicos del 2° al 50° orden.
- Capacidad de inyección instantánea de corriente reactiva del 225% para responder a las fluctuaciones de la carga y dar soporte a la estabilidad del voltaje.
- Se pueden instalar hasta diez unidades en paralelo con el mismo
- juego de transformadores de corriente, para ampliar la capacidad.

En la Tabla 4.7 se muestra las aplicaciones típicas del filtro activo Accusine.

**Tabla 4.7** Aplicaciones típicas del filtro activo Accusine (Fuente: Ref. [19])

<b>Aplicaciones</b>	<b>Requerimientos</b>	<b>Beneficios</b>
Plantas de tratamientos de agua y aguas residuales , fabricas textiles , fabricas de papel , instalaciones de productos farmacéuticos , acérias , plataformas petrolíferas , buques de navegación marítima , industria de extruccion , industria de artes graficas , industrias de plásticos.	Distorsión de voltaje THD (V)<5% TDD adecuado para garantizar la operación de los equipos sin riesgo de daños e interferencias.	-reduce el contenido de armónicos para satisfacer las normas. - elimina los efectos de los armónicos en los equipos . - Aumenta la capacidad del sistema de mejorar el factor de potencia total. -Ahorro de energía inmediato.

Las fundiciones de hornos de inducción , unidades DC y grúas	Rápida compensación de potencia reactiva en entornos ricos en armónicos	-Compensa en tiempo real el contenido armónico muy fluctuante. - Suministro en tiempo real de potencia reactiva para mejorar la regulación de voltaje del sistema.
Centros de datos , hospitales y fabricantes de microelectrónica.	Requisitos críticos en tiempo que incorporan sistemas de seguridad de energía con generadores de UPS .	Reducción de armónicos. Corrige el factor de potencia principal cuando se utilizan UPS.
Soldadores, motores de inducción lineal, rayos X y máquinas de resonancia magnética, industria automotriz.	Compensación ultra rápida de VAR.	-Compensación VAR ultra rápida para asegurar la estabilidad del nivel de voltaje para el proceso. - Elimina el parpadeo. - Reduce el tiempo de diagnóstico de las máquinas. - Mejora la vida útil

El sistema de corrección de potencia AccuSine inyecta corriente armónica y reactiva para limitar la distorsión y mejorar el factor de potencia total para el sistema de distribución de energía eléctrica en cualquier instalación.

El filtro AccuSine mide la corriente total de carga del sistema, determina la componente fundamental e inyecta a la red la componente armónica en fase opuesta, de tal forma que los armónicos quedan cancelados.

La lógica de amplio espectro del filtro AccuSine no se enfoca en frecuencias específicas, sino que más bien crea una forma de onda en tiempo real sobre la base de los aportes de sus circuitos de detección, independientemente de las frecuencias que la corriente de carga no lineal contiene.

El filtro AccuSine supervisa la carga a través de transformadores de corriente montados en la línea de alimentación de la carga en cuestión. Esta información es analizada por la lógica para determinar la magnitud de la corrección a inyectar por el equipo en las líneas de AC esto se muestra en la Figura 4.21. en donde:

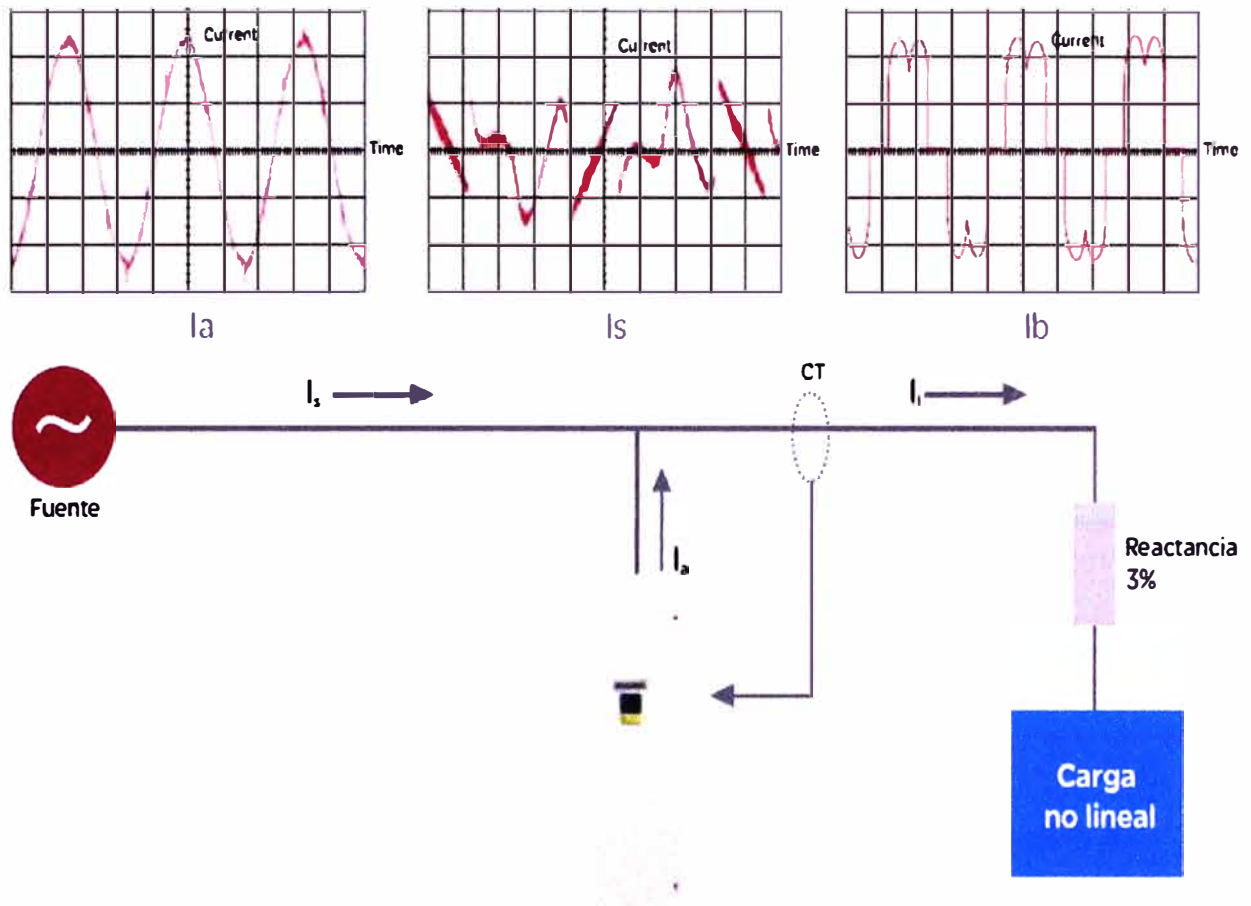
Is: corriente de las fuentes (libre de armónicos).

Ia: corriente inyectada por el filtro Accusine).

Ib: corriente de carga.

La mayoría de los filtros activos de armónicos están diseñados con dos tipos de sistemas de control. Uno utiliza la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para calcular el ángulo de fase y amplitud de cada orden de armónico.

La electrónica de potencia está dirigida a producir una corriente de igual amplitud pero en ángulo de fase opuesto para órdenes de armónicos específicos.



**Figura 4.21** Límites de armónicos para equipos de clase D, .

Esto limita la respuesta a pedidos específicos de armónicos y puede requerir hasta dos o más ciclos ( $> 33$  milisegundos) antes de responder. El otro sistema de control (como el que es usado por el filtro AccuSine) es llamado de completo cancelador de espectro.

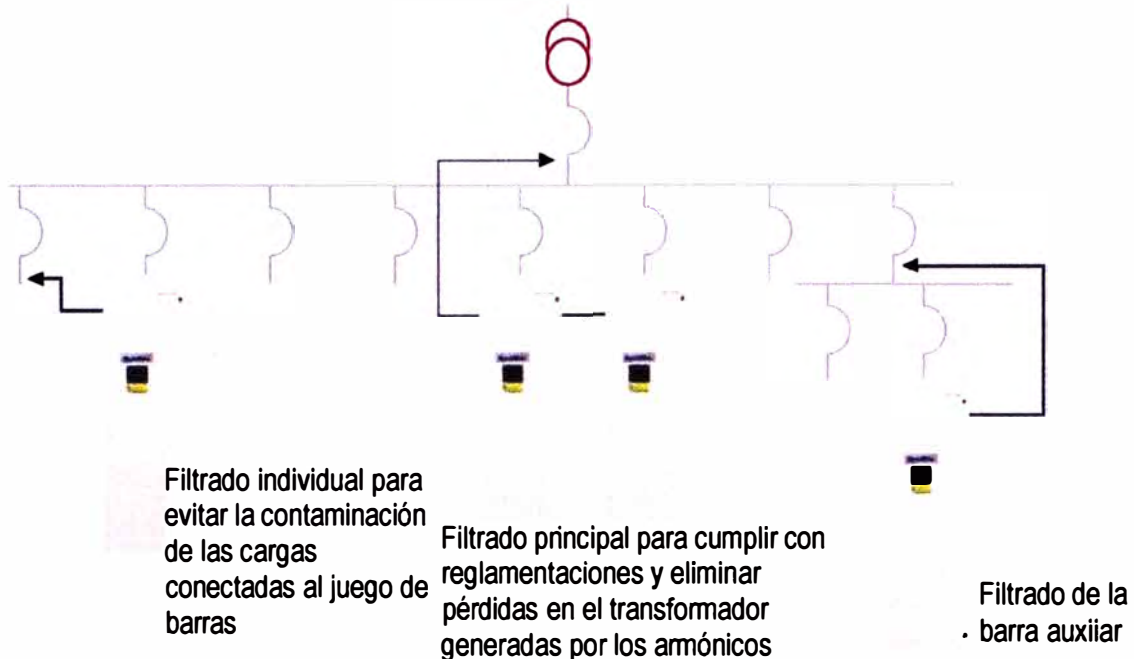
Este esquema de control no realiza FFT. Los algoritmos de control son analógicos. La lógica adquiere una muestra de corriente desde el transformador, remueve la componente de la frecuencia fundamental e inyecta la corrección en algunos cientos de microsegundos. De esta manera, todos los “ruidos” no-fundamentales se retiran de la red eléctrica. Este “ruido” puede contener frecuencias no enteras, también conocidas como interarmónicos.

El filtro AccuSine puede ser utilizado fácilmente en diversas aplicaciones; en conjunto con otros equipos de corrección de calidad de potencia como se observa en la figura 4.22, tales como filtros de armónicos sintonizados, bancos de condensadores, etc. Por este motivo, examinamos cada aplicación cuidadosamente para garantizar la correcta selección.

El filtro AccuSine puede ser colocado en varios puntos dentro de la red de distribución eléctrica. Varias unidades (hasta 10) se pueden conectar en paralelo para proporcionar una compensación más elevada de corriente y satisfacer los niveles de TDD definidos en

el estándar IEEE519-1992, o los niveles definidos en los requisitos de funcionamiento de la planta, de ser necesario.

Un requisito previo importante para la aplicación del filtro AccuSine es instalar un reactor de impedancia de línea de 3% o superior o equivalente en frente de cada carga no lineal, como un VFD, UPS o fuente de alimentación SCR.



**Figura 4.22** Aplicación en conjunto de filtros de armónicos.

### Ejemplo aplicativo.

Para una instalación nueva o una existente de la que se conozcan las cargas no lineales, se podrán determinar el filtro activo adecuado en función de los objetivos de TDD deseados en planta.

Por ejemplo, una instalación industrial desea satisfacer el nivel de Distorsión de Demanda Total (TDD) del 8%, por problemas de interferencia. Recolectamos la información del sistema de la siguiente manera como se observa en la Tabla 4.8.

**Tabla 4.8** Aplicación en conjunto de filtros de armónicos (Fuente: Ref. [19])

Potencia del transformador	2000 kVA con un 5% de impedancia (%)
Tensión del sistema	480V
Nivel deseado TDD	8%
Lista de cargas no lineales	2.150 kVA UPS(conversor de diodo) 6x50 HP(PWM) 6x20 HP(PWM) 20x10 HP(PWM) 2x100 HP(PWM)
Carga individual total	400 kVA



El programa de selección arroja el siguiente resumen de resultados como se observa en la Tabla 4.9.

**Tabla 4.9** Resultados obtenidos (Fuente: Aplicación de software Accusine)

<b>Voltaje del sistema eléctrico</b>	<b>2000 kVA con un 5% de impedancia (%)</b>
Voltaje del sistema eléctrico.	480V
Amperaje total de las cargas .	1828.3A
Amperaje total de cargas lineales .	481.1A
Factor de potencia por desplazamiento original.	0.950
Objetivo del Factor de potencia por desplazamiento .	0.950
TDD del sistema eléctrico antes del filtro Accusine.	17.06%TDD
TDD objetivo	8.00%TDD
Accusine requerido	229.1A de corrección.

El programa de selección del filtro AccuSine calcula que, a fin de cumplir con requisito del 8% TDD, es obligatorio un PCS-AccuSine nominal de 229.1 A RMS. En este caso, debe ser especificada una unidad de 300A nominal (en este ejemplo, puede lograrse un 5% TDD debido a que 300A es la unidad seleccionada, o se puede obtener una capacidad VAR de compensación adicional).

El cálculo mediante el programa de filtro Accusine se muestra en la Tabla 4.10.

En ese anexo se puede observar el resumen de datos con los que se puede seleccionar el filtro respectivo:

- Voltaje del sistema eléctrico: 480 v.
- Amperaje de carga total: 1828.3 A
- Amperaje total de cargas lineales 481.1 A
- Factor de potencia de desplazamiento inicial 0.950
- Factor de potencia de desplazamiento deseado 0.950
- TDD del sistema eléctrico sin filtro Accusine es 17.06% TDD
- TDD del sistema eléctrico con filtro Accusine 08.06% TDD

De lo expuesto, se llega a la conclusión la tasa requerida del sistema PCS Accusine es de 229.1 A de corrección.

Una subtabla de la tabla siguiente muestra las aproximaciones de corriente del sistema eléctrico. Se tienen dos columnas, una es el sistema sin el filtro AccuSine y el otro con el filtro operando.

- La corriente eficaz es de 1828.3 y de 1798.7 respectivamente
- La corriente fundamental es de 1793.1 para ambos casos
- La corriente armónica es de 305.9 y de 142.4 A respectivamente
- La corriente reactiva es de 559.9 A para ambos casos

**Tabla 4.10** Ejemplo de cálculo mediante el programa de filtro Accusine (S/N)**Accusine PCS Selection Results**

The following summary is the basis for the AccuSine PCS selection shown below.

The electrical system voltage is **480** volts.

All loads total **1828.3** amps.

All linear loads total **481.1** amps.

The original displacement power factor is **0.950**

The objective displacement power factor is **0.950**

The TDD of the electrical system before AccuSine PCS is **17.06%** TDD.

The objective TDD is **8.00%** TDD.

**The required rating of the AccuSine PCS system is 229.1 amperes of correction.**

<b>Electrical System Current Approximations</b>			
	<b>System without AccuSine</b>	<b>System with AccuSine Operating</b>	
Total rms current:	1828.3	1798.7	Amps
Fundamental current:	1793.1	1793.1	Amps
Harmonic current:	305.9	142.4	Amps
TDD:	17.06%	7.94%	
Reactive current:	559.9	559.9	Amps
Equivalent kVAR correction:		0.0	kVAR

## **CAPÍTULO V CASO DE ESTUDIO**

En este capítulo se presenta un caso de estudio que ilustra el mejoramiento del suministro de energía de una carga crítica mediante uso de tableros de transferencias de conmutación automática y manual en baja tensión y grupos electrógenos, y la aplicación de filtros del tipo activo y pasivo. Esta obra se realizó para la sede principal ubicada en Lima de la Universidad Toulouse Lautrec (UCAL), el proyecto fue ejecutado por la empresa G&M la parte eléctrica (primera etapa) a principios del año 2012, los tableros eléctricos mencionados fueron suministrados por la empresa TJCASTRO S.A.C.

**Nota :** UCAL recibió la resolución de autorización de funcionamiento provisional, de parte del Consejo Nacional para la Autorización de Funcionamiento de Universidades, CONAFU

### **5.1 Marco situacional**

El proyecto que integra la Memoria Descriptiva, Especificaciones Técnicas y Planos, se refiere a las Instalaciones Eléctricas Interiores (para alumbrado, tomacorrientes y fuerza y otros usos) dentro de los límites del terreno para el LOCAL UNIVERSIDAD TOULOUSE LAUTREC, Av. La Molina Mz. D, Urbanización El Campo Sol de La Molina en el distrito de la Molina.

#### **5.1.1 Características generales**

El Local contempla:

- 2 niveles de aulas.
- 2 sótanos de servicios y estacionamiento.

El local se alimenta desde las redes eléctricas en media tensión, sistema trifásico, 60 c/s. Para lo cual se tendió un alimentador desde las redes de Luz del Sur hasta la subestación propia, tal como se indica en los planos respectivos.

#### **5.1.2 Instalaciones eléctricas**

Del sistema de utilización en media tensión se alimenta el tablero general del local. Desde el tablero general se derivan los alimentadores a los diferentes tableros de distribución del local. Desde los tableros de distribución (TD) se derivan los diferentes circuitos derivados, tanto de alumbrado, tomacorrientes, fuerza.

Todos los tableros de distribución (TD) son del tipo para empotrar, en gabinete metálico con grado de protección mínimo NEMA 1 y todos llevan interruptores

automáticos termo magnéticos del tipo NO FUSE de 10 KA, 240 V. 60 c/s. Toda la tubería para alimentadores y montantes es del tipo de Cloruro de Polivinilo PVC del tipo pesado (SAP).

Para los circuitos derivados se utilizan tuberías del tipo de Cloruro de Polivinilo PVC del tipo liviano (SEL). Todos los conductores usados en alimentadores, son de cobre electrolítico de 99.9 % de conductibilidad. Son sólidos hasta la sección de 6 mm<sup>2</sup> inclusive y cableado para secciones mayores, tienen aislamiento termoplástico del tipo THW, para 600 V. Todos los conductores usados en circuitos de distribución son unipolares de Cobre electrolítico de 99.9 % de conductibilidad, con aislamiento termoplástico tipo TW, para 600 V, son sólidos hasta la sección de 6 mm<sup>2</sup> inclusive y cableado para secciones mayores. No se usan conductores con secciones inferiores a 2.5 mm<sup>2</sup> para circuitos de alumbrado y 2.5 mm<sup>2</sup> para tomacorriente y fuerza. Para el fluido de emergencia se proyectó un grupo electrógeno con arranque y transferencia automática.

### **5.1.3 Demanda máxima**

El cálculo de la demanda máxima a nivel de acometida para cada tipo de edificio se efectuó de acuerdo al Código Nacional de Electricidad, 2006 "Utilización" y teniendo en cuenta la simultaneidad de usos de los diferentes equipos.

### **5.1.4 Planos**

Además de la Memoria Descriptiva, el proyecto se integra con los planos y especificaciones técnicas, las cuales tratan de presentar y describir un conjunto de partes esenciales para la operación completa y satisfactoria del sistema eléctrico propuesto, debiendo por lo tanto el contratista suministrar y colocar todos aquellos elementos necesarios para tal fin, estén o no específicamente indicados en los planos o especificaciones.

### **5.1.5 Tableros de distribución y servicios comunes**

Son para empotrar con grado de protección mínimo NEMA 1, con caja de material metálico de alta resistencia e indeformabilidad de espesor 1/16 ", con puerta y cerradura tipo push bottom, con barras bipolares para las viviendas y para Servicios Generales, y con interruptores termomagnéticos automáticos.

#### **Gabinetes.**

Los gabinetes tienen tamaño suficiente para ofrecer un espacio libre para el alojamiento de los conductores de por lo menos 10 cm. en todos sus lados para hacer todo el alambrado en ángulo recto. Las cajas son de metal de tamaño proporcionado por el fabricante y lleva tantos agujeros como tubos lleguen a ella y cada tubo se conecta a la caja con conectores adecuados.

El tablero es de color blanco con puerta transparente color humo, salvo otro color

sugerido por el Arquitecto, con bisagra horizontal y dispositivo de bloqueo, provisto con preperforaciones, soporte de riel DIN separado de la caja. Su temperatura de trabajo va de  $-15^{\circ}$  a  $+60^{\circ}$ . en relieve debe llevar la denominación del Tablero, ejemplo TD-101, TSG-E, etc.

En la parte interior de la tapa lleva un compartimiento donde se aloja y asegura firmemente una cartulina blanca con el directorio de los circuitos. Este directorio debe ser hecho con letras mayúsculas y ejecutado en imprenta, dos copias igualmente hechas en imprenta, deben ser remitidas al propietario. La puerta llevará chapa y llave, debiendo ser la tapa de una sola hoja.

### **Barras y Accesorios**

Las barras están aisladas de todo en gabinete, de tal forma que cumplen exactamente con las especificaciones de TABLERO DE FRENTE MUERTO.

Las barras son de cobre electrolítico de capacidad mínima como se muestra en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1** Capacidad de barras de cobre por interruptor (Fuente: Especificaciones UCAL).

<b>Interruptor General</b>	<b>Barras</b>
20-30-40A	125A
50-70-100A	200A
150-200-400A	500A
500-600A	1000A

Están provistos de barra para conectar las diferentes tierras de todos los circuitos, estos se hacen por medio de tornillos, existe uno de mayor capacidad para la conexión de la línea principal.

#### **5.1.6 Interruptores**

Los interruptores son del tipo automático, termo magnético NO FUSE, del tipo atomillable (BOLT-ON) o engrape (PLUG-IN), se emplean unidades bipolares y tripolares de diseño integral con una sola palanca de accionamiento.

Los interruptores son de conexión y desconexión rápida tanto en su operación automática ó normal y tienen una característica de tiempo inverso, asegurado por el empleo de un elemento de desconexión bimetálico, complementado por un elemento magnético.

Los interruptores tienen capacidades de corriente para trabajar a 240 V, de tensión nominal y de 10 KA, de capacidad de ruptura asimétrica. Para interruptores superiores a 100 A y hasta 200 A son de la misma tensión y de 42 KA de capacidad de ruptura. Deben ser operables a mano (trabajo normal) y disparando automáticamente cuando ocurran sobrecargas o cortocircuito.

El mecanismo de disparo es de apertura libre de tal forma que no permanezca en condiciones de cortocircuito, construido de acuerdo a las recomendaciones NEMA y aprobados por UL INC. Cada interruptor tiene un mecanismo de desconexión de manera que si ocurre una sobrecarga o cortocircuito en los conductores, desconecte automáticamente los 2 o 3 polos del interruptor.

### **5.1.7 Grupo electrógeno**

Se plantea que este equipo suministre energía en 380/220 VAC, trifásico, 4 hilos, 60 Hz. La carga consiste en equipos de bombeo, alumbrado, computadores y equipos de oficina. Sus comandos de arranque, calentamiento, toma de carga, transferencia, corte de carga y desconexión son tanto manuales como automáticos.

La potencia (en sitio) en régimen prime o continuo que suministra el grupo electrógeno son de 750 kW.

El grupo electrógeno está montado sobre dos perfiles de acero estructural, común a motor y generador. El apoyo sobre la base de concreto es con amortiguadores de tipo resorte.

#### **Motor Primo**

De tipo Diesel, de cuatro tiempos, a 1800 RPM. 4 o más cilindros en línea o en V, indicar la eficiencia en BHP/cilindrada total.

El regulador de velocidad es del tipo electrónico, de montaje sobre el generador, sellado con resina para protección contra vibraciones y ambientes agresivos, de alta velocidad de respuesta, de marca Barber Coleman u otra de igual o mejor calidad. Permitirá la operación del GE con una frecuencia muy estable y sin oscilaciones mecánicas anormales (en todo régimen de operación).

Cumple con Poseer ajustes externos: de velocidad en vacía (ajustale + /10%), de ganancia de caída (ajuste desde isocromo 0% hasta 5%).

La regulación estacionaria es de 3% (vacío a plana carga) ajustable

La regulación transitoria +/- 10% DE CARGA/DESCARGA, recuperación en 02 segundos.

Posee elementos de estabilización adicional para caso de G.E. con acoplamiento de alta flexibilidad entre motor y generador. También poseer una excepcional estabilidad en operación con carga constante: tolerancia de frecuencia de + / - 0.%. Posee una elevada capacidad de respuesta y un elevado "Motor Starting" .

#### **Generador**

Es de tipo autoregulante, sin escobillas, con capacidad para suministrar la potencia indicada del grupo electrógeno, en las condiciones ambientales de cada lugar. Posee aislamiento Clase H con tratamiento de tropicalización y contra abrasión.



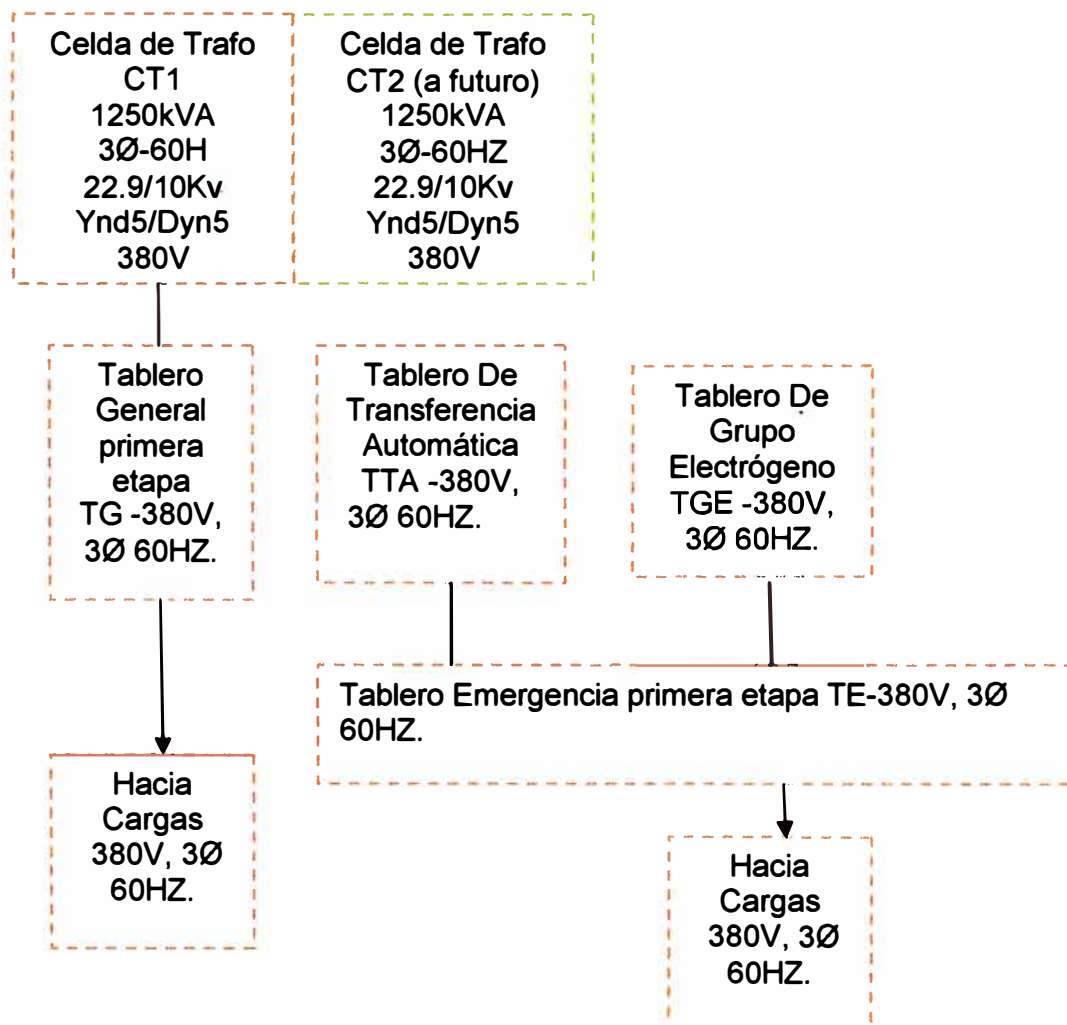
La tensión nominal es de 380-220 VAC, Trifásico, con terminales accesibles sobre plancha de fibra y bornes cadmiados. Es de frecuencia 60 Hz nominal y factor de potencia 0.8

Es de excitación estática, sin escobillas, tipo imán permanente. Su regulador de tensión es electrónico, para excitación tipo imán permanente. La forma de onda sinusoidal, con distorsión armónica de tensión no es mayor al 5% (3% para un armónico simple) frente a una carga no lineal (tipo SCR) de hasta el 60% de la capacidad indicada del Grupo electrógeno.

La capacidad de arranque de los motores es similar a la de los Grupos electrógenos Caterpillar. El diseño y capacidad del generador permite que, como mínimo, los kW de arranque admisibles sean del 300% de los KW nominales del motor sin que la caída de tensión sostenida sea mayor del 10%.

### 5.1.8 Esquema resumido

En la Figura 5.2 se muestra en resumen la parte referencial del orden secuencial de los tableros eléctricos.

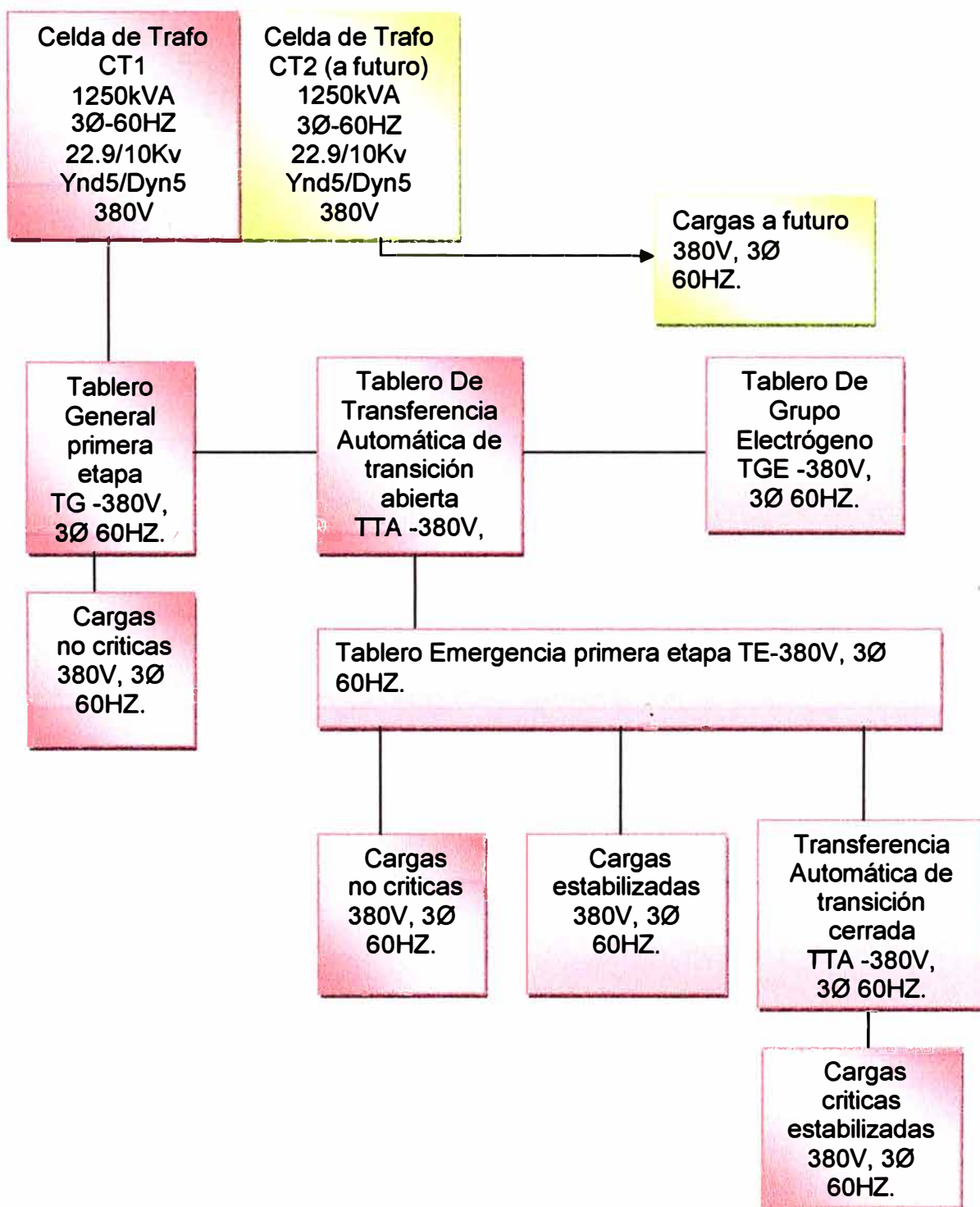


**Figura 5.2** Parte referencial de tableros eléctricos.

## 5.2 Planteamiento de solución

Basado en los diagramas unifilares iniciales se plantea una solución de acuerdo a las especificaciones técnicas, de esta manera se suministrara un adecuado equipamiento en tableros eléctricos.

En la Figura 5.3 se muestra en resumen como van los tableros señalando sus principales características.



**Figura 5.3** Tableros y características

Se muestran los tableros eléctricos en la Tabla 5.2:

**Tabla 5.2** Parte referencial de tableros eléctricos (Fuente: Especificaciones UCAL)

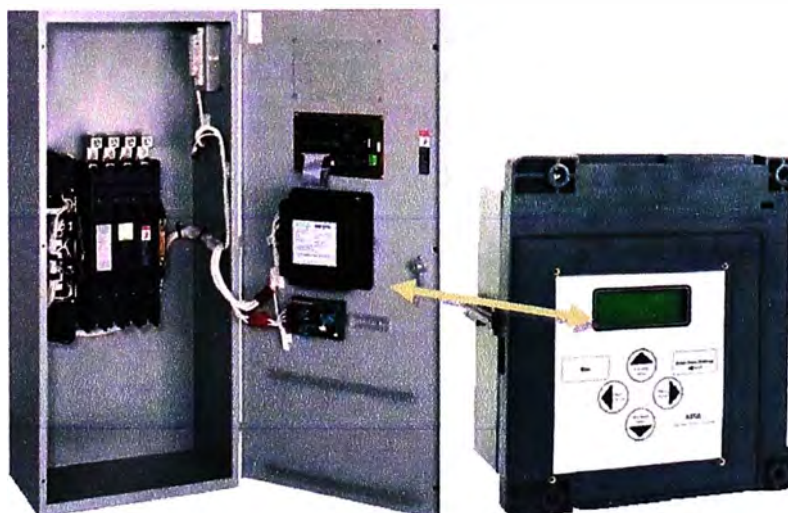
<b>G Y M : OBRA UNIVERSIDAD UCAL</b>				
<b>Item</b>	<b>Tableros de Distribución Eléctrica</b>	<b>Cant.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ejecución</b>
1.00	Tablero General TG / TGE, 3φ - 380V.	1.00	Autosop.	Nema 12
2.00	Tablero TBC ( Banco Condensadores ), 3φ - 380V.	1.00	Autosop.	Nema 12
3.00	Tablero T-AA2, 3φ - 380V.	1.00	Autosop.	Nema 3R
4.00	Tablero T-AA3, 3φ - 380V.	1.00	Autosop.	Nema 3R
5.00	Tablero TA-1S1, 3φ - 380/220V.	1.00	Autosop.	Nema 12
6.00	Tablero TA-2S1, 3φ - 380/220V.	1.00	Autosop.	Nema 12
7.00	Tablero TA-2S4, 3φ - 380/220V.	1.00	Autosop.	Nema 12
8.00	Tablero TA-1P1, 3φ - 380/220V.	1.00	Autosop.	Nema 12
9.00	Tablero TA-2P1, 3φ - 380/220V.	1.00	Autosop.	Nema 12
10.00	Tablero TT-1S1, 3φ - 380/220V.	1.00	Autosop.	Nema 12
11.00	Tablero TT-2S1, 3φ - 380/220V.	1.00	Autosop.	Nema 12
12.00	Tablero TT-2S4, 3φ - 380/220V.	1.00	Autosop.	Nema 12
13.00	Tablero TT-1P1, 3φ - 380/220V.	1.00	Autosop.	Nema 12
14.00	Tablero TT-2P1, 3φ - 380/220V.	1.00	Autosop.	Nema 12
15.00	Tablero T-AA1, 3φ - 380V.	1.00	Adosado	Nema 1
16.00	Tablero T-AA4, 3φ - 380V.	1.00	Adosado	Nema 3R
17.00	Tablero T-AA5, 3φ - 380V.	1.00	Adosado	Nema 3R
18.00	Tablero T-AA6, 3φ - 380V.	1.00	Adosado	Nema 3R
19.00	Tablero TA-1S3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
20.00	Tablero TA-1S4, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
21.00	Tablero TA-2S3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
22.00	Tablero TA-2S5, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
23.00	Tablero T-CC, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
24.00	Tablero T-AS, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
25.00	Tablero TA-1P3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
26.00	Tablero TA-2P3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
27.00	Tablero T-GUAR, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
28.00	Tablero T-GUAR2, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
29.00	Tablero T-CAF, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
30.00	Tablero T-CAF1, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
31.00	Tablero TT-1S3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
32.00	Tablero TT-1S4, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
33.00	Tablero TT-2S3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
34.00	Tablero TT-2S5, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
35.00	Tablero TT-1P3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
36.00	Tablero TT-2P3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
37.00	Tablero TEST-1S1, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
38.00	Tablero TEST-1S2, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
39.00	Tablero TEST-1S3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
40.00	Tablero TEST-2S1, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
41.00	Tablero TEST-2S2, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
42.00	Tablero TEST-2S4, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
43.00	Tablero TEST-1P1, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
44.00	Tablero TEST-1P2, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
45.00	Tablero TEST-1P3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
46.00	Tablero TEST-2P1, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1



47.00	Tablero TEST-2P2, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
48.00	Tablero TEST-2P3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
49.00	Tablero TEST-CC, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
50.00	Tablero TEST-AS, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
51.00	Tablero T-1S6, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
52.00	Tablero T-1S7, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
53.00	Tablero T-1S8, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
54.00	Tablero T110-2P3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
55.00	Tablero T-VE, 3φ - 380V.	1.00	Adosado	Nema 3R
56.00	Tablero T-RI ( Riego ), 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
57.00	Tablero T-TM, 3φ - 380V.	1.00	Adosado	Nema 1
58.00	Tablero T-ASC1, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
59.00	Tablero T-ASC2, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
60.00	Tablero T-MIC, 3φ - 380V.	1.00	Adosado	Nema 1
61.00	Tablero T-EB (Bombas de Calentadores ),3φ- 380V.	1.00	Adosado	Nema 1
62.00	Tablero T-BACI ( Para Control ), 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
63.00	Tablero T-BJ, 3φ - 380V.	1.00	Adosado	Nema 1
64.00	Tablero T1S-110, 3φ - 110/64V.	1.00	Adosado	Nema 1
65.00	Tablero T-B1, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
66.00	Tablero T-B2, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
67.00	Tablero T-BD1, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
68.00	Tablero T-BD2, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
69.00	Tablero T-BD3, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
70.00	Tablero T-BD4, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
71.00	Tablero T-BA1, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
72.00	Tablero T-BA2, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
73.00	Tablero TEST-1S4, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
74.00	Tablero T-EA, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1
75.00	Tablero TGE-DT, 3φ - 380/220V.	1.00	Adosado	Nema 1

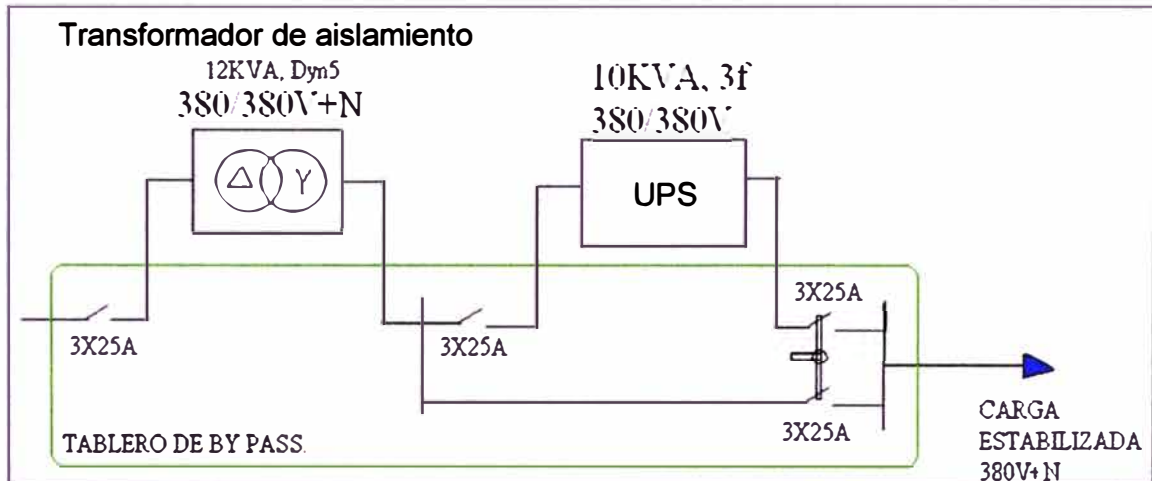
### 5.3 Diseño de la solución

Los tableros eléctricos son suministrados por la empresa TJCASTRO S.A.C. en su totalidad. Los interruptores usados son de la marca Americana Eaton. La transferencia automática es de la marca Americana Asco, para el tablero general es de transición del tipo abierto de 4x1600A serie 4000, como se observa en la Figura 5.4.

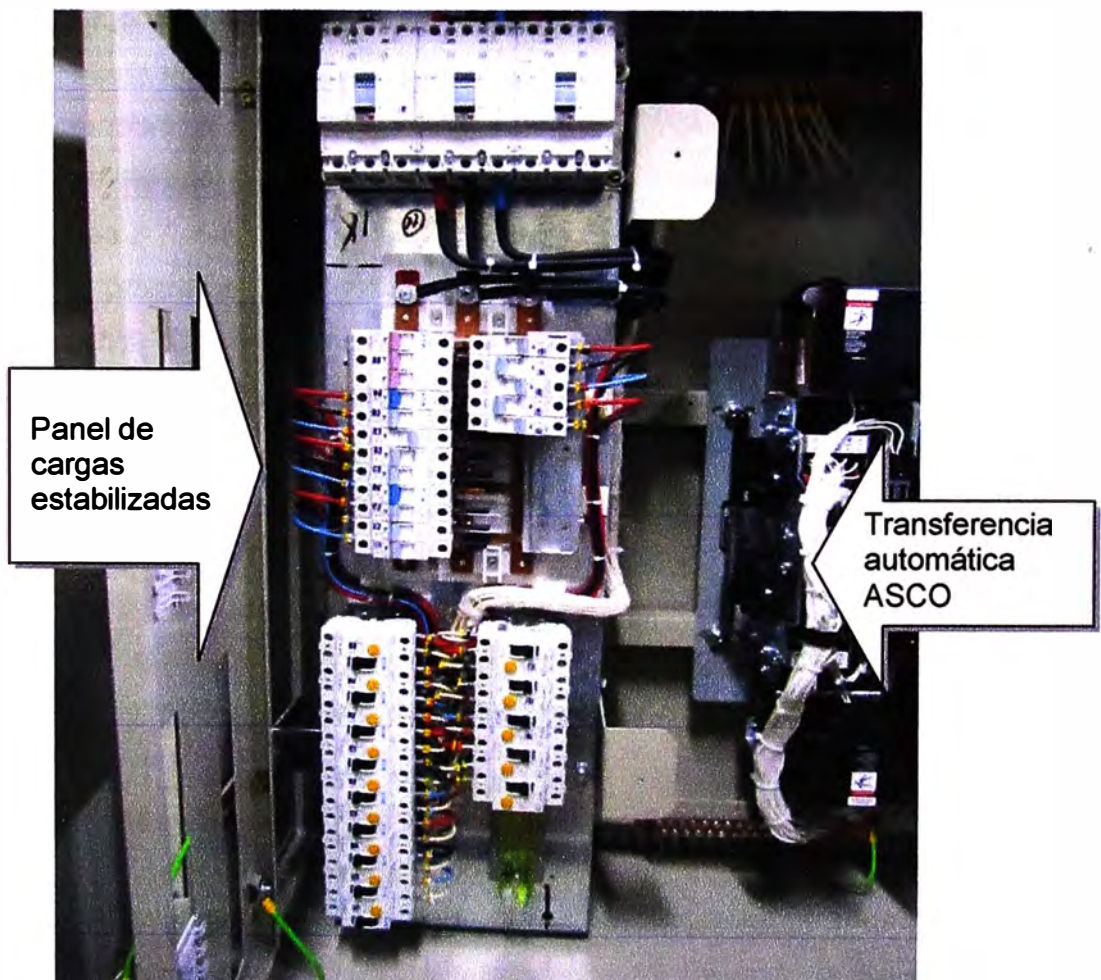


**Figura 5.4** Transferencia Automática marca Asco serie 4000 y controlador.

Los tableros estabilizados de concepto crítico llevan transferencia automática de la marca Americana Asco de transición tipo By Pass serie 4000, el principio de operación es que cuando opere esta transferencia será para sacar fuera de servicio al UPS por mantenimiento, como se observa en la Figura 5.5, en la Figura 5.6 se observa el tablero TE-CC, con las cargas estabilizadas incorporadas.



**Figura 5.5** Transferencia Automática tipo By Pass.



**Figura 5.6.** Transferencia marca Asco serie 4000, con cargas estabilizadas incorporadas en el tablero TE-CC.

- Los tableros estabilizados de concepto no crítico llevarán transferencia del tipo manual conformado un conmutador manual de línea y su respectiva protección termo magnética.

### 5.3.1 Análisis de armónicos mediante el software de filtro activo Accusine.

Para la presente obra según los datos tomados del cuadro de cargas del tablero general mostrado en el Tabla 5.3, se hará un análisis mediante el software de filtro de armónicos, donde se calculara el TDD según la norma IEEE-599-1992, antes y después de colocar un filtro de armónicos del tipo activo, se observara la mejora del TDD y con esto una mejora en la entrega de energía y la entrega de menos contaminación de armónicos de la carga hacia la red.

**Tabla 5.3** Cuadro de cargas del tablero general (Fuente: Plano eléctrico)

Parámetro	Valor
Tensión del sistema eléctrico	380 V, 3Ø, 60 Hz.
Potencia de entrada del transformador	1250 kVA.
Impedancia del transformador	5%.
Amperaje nominal de toda la carga del sistema eléctrico.	2060.68
Nivel de TDD a la cual de desea llegar	5%
Potencia total de cargas no lineales	900 HP
Potencia total de los UPS.	47 kVA
Potencia total no lineal.	400 kVA

En las Figuras 5.7, 5.8 y 5.9 se muestra el programa ejecutado con los datos antes mencionados. El programa de selección del filtro AccuSine® calculó que, a fin de cumplir con requisito del 5% TDD, es obligatorio un PCS-AccuSine nominal de 272.7 A RMS.

En este caso, debe ser especificada una unidad de 300 A nominal con los datos ingresados puede lograrse un % TDD menor Debido a que 300 A es la unidad seleccionada, o se puede obtener una capacidad VAR de compensación adicional.

En la Figura 5.7, en el ítem A se debe establecer el nivel de TDD requerido, que en este caso es de 8 %. Y en los ítems restantes se debe introducir la información del transformador de potencia de entrada, así como la tensión del sistema (480 V). Finalmente se debe indicar el factor de potencia inicial y el buscado, el cual no varía para este caso.

La Figura 5.8 ilustra como indicar las cargas no lineales y las cargas lineales Finalmente en la Figura 5.9 se muestran los resultados obtenidos, los cuales muestran priemramente el resumen de datos introducidos (voltaje del sistema, toal de carga en amperios, total de cargas no lineales, factor de potencia inicial y deseado, así como el TDD sin filtro y con filtro). Finalmente, en la subtabla se indica los valores comparativos antes y después de la aplicación del filtro



## Electrical System Data

This program requires no data entry for the "Electrical System Data." The program defaults to 480VAC and 5%TDD as the objective.

### A. Desired TDD level to be met:

(If you want the objective TDD to be selected according to IEEE 519-1992, Table 10.3 leave "A" blank and enter the "Input Transformer Information" below.)

8.0%

Nivel TDD requerido

Current Distortion Limits (120 to 69,000 V) Table 10.3 of IEEE 519-1992

Isc/Iload	TDD
< 20	5%
20<50	8%
50<100	12%
100<1000	15%
>1000	20%

### Input Transformer Information

#### A1.a. KVA:

2,000.0 KVA

#### A1.b. Impedance:

5.000% Impedance

#### A1. Short circuit current (SCC):

48,112.5 SCA

#### A2. Total demand load:

1,828.3 amps

Enter if known. Program will calculate demand load based upon loads defined below if provided.

#### A3. Short circuit current ratio (A1/A2):

26.3 SCR (Isc/Iload)

### B. Electrical system voltage:

480 V

If no value is entered for voltage, 480V is assumed.

Información del Transformador de potencia de entrada

## Displacement power factor:

### C1. Known or calculated PF of the loads in question:

0.950

### C2. Objective displacement power factor:

0.950

If no values are entered for PF, this program defaults to .95 for both entries.

Desplazamiento de factor de potencia

Figura 5.7 Programa Accusine

**Nonlinear loads**

D. List all nonlinear loads applicable for each group to be evaluated.

The column identified with # does not require an entry if all nonlinear loads are 6-pulse and do not have passive filters installed. If a passive filter is present enter '5' per line item. If the input rectifier is 12-pulse, enter '12' per line item. If the input rectifier is 18-pulse, enter '18' per line item.

	VFDs									DC Drives			UPS						Other SCR converters						
	PWM			VVI			CSI			Qty	HP	#	Diode Converter			SCR Converter			Inductive		Resistive		Capacitive		
	Qty	HP	#	Qty	HP	#	Qty	HP	#				Qty	KVA	#	Qty	KVA	#	Qty	KVA	#	Qty	KVA	#	Qty
1	6	50											2	150											
2	6	20																							
3	20	10																							
4	2	100																							
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									

Cargas no lineales

Cargas no lineales

Are VFD loads centrifugal pump or fan loads?  Enter Y for yes, N for no.  
(Program defaults to 'No'.)

D.1 List the total KVA of installed UV equipment:  KVA  
Specify 6, 12, or 18 pulse or 5, if a 5th harmonic tuned filter is used:

**Linear Loads:**

E. Total Linear Loads Installed:  KVA  
Enter full load KVA capacity of linear loads.

Cargas lineales

Figura 5.8 Programa Accusine

## AccuSine PCS Selection Results:

The following summary is the basis for the AccuSine PCS selection shown below.

The electrical system voltage is **480 volts.**

Tensión eléctrica

All loads total **1828.3 amps.**

Amperaje total

All linear loads total **481.1 amps.**

Amperaje de cargas lineales

The original displacement power factor is **0.950**

Factor de potencia inicial

The objective displacement power factor is **0.950**

factor de potencia deseado

The TDD of the electrical system before AccuSine PCS is **17.06% TDD.**

TDD calculado sin el filtro

The objective TDD is **8.00% TDD.**

TDD objetivo con filtro

Tasa requerida del sistema PCS Accusine

**The required rating of the AccuSine PCS system is 229.1 amperes of correction.**

Sin filtro

Con filtro

Electrical System Current Approximations			
	System without AccuSine	System with AccuSine Operating	
Total rms current:	1828.3	1798.7	Amps
Fundamental current:	1793.1	1793.1	Amps
Harmonic current:	305.9	142.4	Amps
TDD:	17.06%	7.94%	
Reactive current:	559.9	559.9	Amps
Equivalent kVAR correction:		0.0	kVAR

Valores obtenidos por el software Accusine con y sin filtro

Figura 5.9 Programa Accusine

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

1. Con la información proporcionada, se demuestra que se logra mejorar la calidad de energía para las cargas críticas mediante la correcta selección de un sistema de transferencia y la supresión de los armónicos.
2. El sistema de transferencia automática elegida es de la marca americana ASCO serie S4000 , ya que este brinda una adecuada fabricación bajo normas para transferencias automáticas ya que este es su principal rubro , ofrece un dinamismo de conexión interna para ser usadas como transferencias del tipo abierto , transferencias del tipo cerrado , transferencias del tipo BY PASS
3. El filtro del tipo activo seleccionado es de marca Accusine, el cual es distribuido por Schneider Electric. Este fue calculado usando el software PCS-Accusine , se utilizo este equipamiento porque es el más sencillo medio para mitigar los armónicos relacionados con el proceso de reducir las fluctuaciones de tensión y mejorar la vida útil de los equipos y la capacidad del sistema ya que si se elimina la corriente de armónicos se ahorra energía en la instalación .
4. El uso de transferencias automáticas mejora la calidad de suministro de energía en una carga , ya que la operación de conmutación automática entre dos suministros de energía una de servicio normal y otra de respaldo optimizan la calidad de suministro y además nos ahorran el costo de personal permanente en maniobras de conmutación al cliente .

### **Recomendaciones**

1. Se recomienda utilizar filtros de armónicos del tipo activo ya que estas tienen un mejor diseño para atenuar armónicos de distinta frecuencia que los del tipo pasivo diseñados para filtrar armónicos de una frecuencia especifica y son sensibles al incremento de carga pudiendo entrar estos en resonancia.
2. Se recomienda utilizar transferencias automáticas de conmutación , con protección termomagnética ,tanto para el suministro de línea como suministro de emergencia en sistemas donde sea necesario el uso de grupos electrógenos.

3. Las perturbaciones armónicas generales aumentan a medida que disminuye la potencia de cortocircuito. Dejando a un lado todas las consideraciones económicas, es preferible conectar cargas no lineales lo más altas posible

4. Al preparar el diagrama en una sola línea, los dispositivos lineales deben separarse del resto.

En el intento de limitar los armónicos, se puede obtener una mejora adicional alimentando las cargas no lineales desde una fuente independiente del resto de cargas de la instalación. La desventaja es un aumento del coste de la instalación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] National FIRE Protection Association (NFPA), normativa "NFPA 70- National Electrical Code", Edición 2008.
- [2] National FIRE Protection Association (NFPA), normativa "NFPA 99- Health Care Facilities", Edición 2002.
- [3] National FIRE Protection Association (NFPA), normativa "NFPA 110- Emergency and Standby Power Systems", Edición 2002.
- [4] Ministerio de Energía y Minas, "Código Nacional de Electricidad – Utilización", Resolución Ministerial N° 037-2006-MEM/DM, 30 de enero 2006.
- [5] Komatsu Mitsui Maquinarias Perú S.A, "Power Electronics- Lunch and Learn", 2009, Cummins Power Generation.
- [6] EPSMA-European Power Supply Manufacturers Association, "Harmonic Current Emissions", Lineamientos para el estándar EN 61000-3-2.  
[http://www.epsma.org/pdf/PFC%20Guide\\_November%202010.pdf](http://www.epsma.org/pdf/PFC%20Guide_November%202010.pdf)
- [7] Laplace Instruments Limited, "AC2000A, Testing EN61000-3-2/3"  
<http://www.ramayes.com/Data%20Files/Credence%20Technology/AC2000A%20Tech%20Paper.pdf>
- [8] Voltech, "Changes to EN61000-3-2". [http://www.feebel.be/files/Feebel-Web/files/2008electronics/presentations/3A\\_Changes\\_to\\_EN61000-3-2.pdf](http://www.feebel.be/files/Feebel-Web/files/2008electronics/presentations/3A_Changes_to_EN61000-3-2.pdf)
- [9] TELPRO, "Las Normas Europeas"  
<http://www.telproce.com/CONTENIDOS/ARTICULOS/LasNormasEuropeas.html>
- [10] Muhamad Nazarudin Zainal Abidin," IEC 61000-3-2 Harmonics Standards Overview", Schaffner EMC Inc  
[http://www.teseq.com/com/en/service\\_support/technical\\_information/05\\_AN\\_IEC61000-3-25.pdf](http://www.teseq.com/com/en/service_support/technical_information/05_AN_IEC61000-3-25.pdf).
- [11] Grupo de Electromagnetismo Computacional de la Universidad de Valladolid, "Electromagnetic Compatibility (EMC) Low-Frequency Standards",  
<http://carcamal.ele.cie.uva.es/CEM/articulos/IEC.pdf>
- [12] José Ramos López, "Normas y Regulaciones de Armónicos y flicker", IEEE EI Salvador, 2011.
- [13] Salicru, "FILTRO DE ARMÓNICOS serie HC".
- [14] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), estándar IEC 61000-3-2 "Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase)", 2005.
- [15] Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), estándar IEEE-519-1992, "Recomendaciones Prácticas y Requerimientos Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia", 1992.
- [16] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), Estándar IEC 61000-3-4, "Limitation of



emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A". 1998

- [17] John F. Hibbard, Michael Z. Lowenstein, "Meeting IEEE 519-1992 Harmonic Limits". Trans-Coil, Inc, 1992
- [18] Thomson Technology, "Interruptores de Transferencia Tipo Contacto Encerrado Versus Tipo Contacto Abierto", 2007, [www.thomsontechnology.com](http://www.thomsontechnology.com)
- [19] Schneider Electric, AccuSine® Filtro activo de armónicos, <http://www.schneider-electric.com/site/home/index.cfm/pe/>