

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DE LOS SISTEMAS  
ININTERRUMPIDOS DE ENERGIA UPS**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

**WALTER AUGUSTO NUÑEZ CRUZ**

**PROMOCIÓN  
1986- I**

**LIMA – PERÚ**

**2009**

**CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DE LOS SISTEMAS  
ININTERRUMPIDOS DE ENERGÍA UPS**

A mis queridos padres,  
hermanos, familia y amigos,  
Con todo cariño

## **SUMARIO**

El presente trabajo describe la performance de los equipos conocidos como Sistema Ininterrumpido de Energía, y su incidencia en la calidad de la energía eléctrica que reciben los equipos principalmente de comunicaciones y transmisión de datos. Se hace una breve descripción de las variables de funcionamiento del sistema. Además, se presentan las tecnologías de fabricación existentes para estos equipos, los elementos y dispositivos que conforman un sistema que nos brinde la mejor solución para resolver la problemática de suministrar una energía eléctrica de calidad. Para ello, se hace una evaluación de su performance bajo determinadas condiciones de funcionamiento cuyos resultados serán confrontados con las recomendaciones especificadas por la norma pertinente. Se hace incidencia en un aspecto importante que es la continuidad y la calidad del suministro. Finalmente, se presenta una aplicación real de un diseño de instalación de un sistema para un Data Center, el cual incluye las especificaciones técnicas respectivas.

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| <b>PRÓLOGO</b>  | 1  |
| <b>CAPÍTULO I</b>   |    |
| <b>CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, DEFINICIONES, CAUSAS Y EFECTOS</b>  | 3  |
| 1.1 Calidad de energía eléctrica  | 3  |
| 1.2 Perturbaciones  | 3  |
| 1.2.1 Origen de las perturbaciones                                      | 3  |
| 1.2.2 Tipos de perturbaciones   | 4  |
| 1.3 Descripción de las perturbaciones eléctricas                        | 4  |
| 1.3.1 Microcortes   | 4  |
| 1.3.2 Huecos de tensión   | 4  |
| 1.3.3 Variación lenta de tensión  | 5  |
| 1.3.4 Variación rápida de tensión                                       | 5  |
| 1.3.5 Sobre – tensión   | 6  |
| 1.3.6 Bajada de tensión   | 7  |
| 1.3.7 Flicker   | 7  |
| 1.3.8 Notching  | 7  |
| 1.3.9 Ruido eléctrico   | 8  |
| 1.3.10 Interrupción del servicio  | 8  |
| 1.3.11 Variaciones de frecuencia  | 10 |
| 1.3.12 Distorsión armónica  | 10 |
| <b>CAPÍTULO II</b>  |    |
| <b>DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS ININTERRUMPIDOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b> | 14 |
| 2.1 Descripción de los UPS  | 14 |
| 2.2 Tipos de topología de UPS   | 15 |
| 2.2.1 Stand by  | 15 |
| 2.2.2 Interactivo   | 16 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.2.3 | On line doble conversión                                  | 16 |
| 2.3   | Elementos que conforman una instalación de un sistema UPS | 17 |
| 2.3.1 | Transformador de aislamiento                              | 18 |
| 2.3.2 | Tablero de control  | 20 |
| 2.3.3 | Tablero de distribución                                   | 21 |
| 2.3.4 | Grupo electrógeno   | 22 |
| 2.4   | Configuración de instalación de los UPS                   | 22 |
| 2.4.1 | Configuración en cascada                                  | 23 |
| 2.4.2 | Configuración en paralelo                                 | 24 |
| 2.4.3 | Configuración redundante distribuida                      | 27 |
| 2.4.4 | Configuración redundante sistema más sistema              | 29 |

### **CAPÍTULO III**

#### **DISTORSIÓN ARMÓNICA Y CUMPLIMIENTO DE LAS RECOMENDACIONES**

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>IEEE 519</b> |   | 31 |
| 3.1             | Introducción a la norma IEEE estándar 519 – 1992                | 31 |
| 3.2             | Definición de parámetros  | 31 |
| 3.3             | Descripción de la norma IEEE estándar 519 – 1992                | 34 |
| 3.4             | Índices de distorsión armónica                                  | 34 |
| 3.4.1           | Distorsión armónica total                                       | 34 |
| 3.4.2           | Distorsión de demanda total                                     | 35 |
| 3.4.3           | Factor de influencia telefónica                                 | 36 |
| 3.4.4           | Factor K  | 37 |
| 3.5             | Niveles de distorsión recomendados por IEEE estándar 519 – 1992 | 39 |
| 3.5.1           | Límites de distorsión de tensión                                | 39 |
| 3.5.2           | Límites de distorsión de corriente                              | 39 |
| 3.6             | Evaluación de la distorsión armónica en los UPS                 | 41 |
| 3.6.1           | Evaluación en modo de operación normal                          | 41 |
| 3.6.2           | Evaluación en modo de operación by pass                         | 42 |
| 3.6.3           | Evaluación en modo de operación baterías                        | 42 |
| 3.7             | Cumplimiento de la norma IEEE estándar 519 – 1992               | 42 |

### **CAPÍTULO IV**

#### **APLICACIÓN DE UN SISTEMA ININTERRUMPIDO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.1   | Memoria descriptiva                               | 45 |
| 4.1.1 | Generalidades                                     | 45 |
| 4.1.2 | Antecedentes                                      | 45 |
| 4.1.3 | Alcances  | 45 |
| 4.1.4 | Descripción del proyecto                          | 45 |
| 4.1.5 | Cálculos eléctricos                               | 46 |
| 4.2   | Especificaciones técnicas                         | 50 |
| 4.2.1 | Especificaciones técnicas de materiales y equipos | 50 |
| 4.2.2 | Especificaciones técnicas de montaje              | 56 |
| 4.2.3 | Pruebas   | 58 |
| 4.3   | Evaluación económica del proyecto                 | 60 |
| 4.3.1 | Costo de inversión del proyecto                   | 60 |
| 4.3.2 | Rentabilidad                                      | 60 |
|       | CONCLUSIONES                                      | 62 |
|       | ANEXOS  | 64 |
|       | BIBLIOGRAFÍA                                      | 79 |

## PRÓLOGO

El creciente incremento del uso de equipos y dispositivos basados en la electrónica de potencia en los procesos productivos principalmente, redundan en un incremento de la productividad los cuales se basan en la continuidad y confiabilidad del suministro eléctrico. Dispositivos y equipos tales como switches, modems, servidores, fabricados con componentes semiconductores integrados han generado una gran ventaja en cuanto a la rapidez y confiabilidad en la transmisión de datos en redes de comunicaciones. El suministro eléctrico continuo y estable es muy importante para que estos equipos funcionen adecuadamente.

Pero, en las últimas décadas, se está presentando un fenómeno que ha ocasionado que la calidad del suministro eléctrico se vea alterada, precisamente por la aparición de éstos equipos y otras cargas tales como convertidores, rectificadores, variadores de velocidad, que agregan nuevas perturbaciones debido a su naturaleza no lineal, es decir, cargas cuya impedancia no es constante sino que varía en función de la tensión. Estas perturbaciones son conocidas como Armónicas, los cuales inyectan corrientes de frecuencia múltiplo de la fundamental, lo que ocasiona una deformación de la forma de onda en el sistema.

Los Sistemas Ininterrumpidos de Energía, más conocidos por sus iniciales en idioma inglés UPS (Uninterruptible Power System ó Uninterruptible Power Supply), son equipos que proporcionan las características de funcionamiento requeridas por los equipos de transmisión de datos, las cuales son: estabilidad de tensión y frecuencia, y además continuidad en el suministro de energía ante cualquier evento que suceda en el fluido eléctrico, tales como oscilaciones, caídas de tensión, ó interrupción total del mismo.

El propósito del presente trabajo es mostrar una alternativa de solución al problema de la calidad del suministro eléctrico que actualmente se dispone a nivel de usuario, para propósitos específicos de centros de Cómputo ó Data Center, poniendo énfasis en la continuidad y calidad del servicio y en el cumplimiento de las Normas IEEE “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”, estándar 519 – 1992, para aplicaciones en Baja Tensión.

En el capítulo I, se hace una explicación de los fenómenos que afectan a la calidad de la

energía, se definen estos fenómenos, se exponen sus causas, características y efectos en el sistema eléctrico.

En el capítulo II, se describe los Sistemas Ininterrumpidos de Energía, las tecnologías de fabricación y sus aplicaciones. Además, se hace una descripción de los elementos que se utilizan como complemento de las instalaciones de los Sistemas Ininterrumpidos de Energía, a fin de asegurar las condiciones óptimas de funcionamiento de éstos. Se detallan sus características de funcionamiento y su importancia dentro del esquema de instalación.

En el capítulo III, se detalla el fenómeno de la distorsión armónica en los sistemas eléctricos, se analiza el comportamiento de los Sistemas Ininterrumpidos de Energía dentro del marco de la Norma IEEE 519, para Baja Tensión, para lo cual se toma sus especificaciones técnicas para determinadas condiciones de funcionamiento.

En el capítulo IV, se presenta una aplicación de instalación para Centro de cómputo, en el cual se tiene la particularidad que los equipos del Data Center tienen fuente redundante, es decir, que dentro de su arquitectura de fabricación poseen dos fuentes de energía las cuales deben ser alimentadas simultáneamente. Dentro de esta aplicación se hace la presentación de las especificaciones técnicas de materiales y montaje del sistema.

Finalmente, se presentan las conclusiones, un glosario de anexos y la bibliografía base del presente trabajo.

El presente trabajo está circunscrito al ámbito de Centros de Cómputo, para lo cual se considera el empleo de los Sistemas Ininterrumpidos de Energía para los equipos de transmisión de datos conocidos como Carga Crítica. Otros sistemas eléctricos como los domiciliarios ó de máquinas consideradas como cargas no críticas de aplicación industrial no han sido considerados, debido a que su parada funcionamiento no es estrictamente de alta gravedad en caso se produzca alguna anomalía en el suministro eléctrico, y que pueden reiniciarse sin pérdida de la secuencia del proceso que están realizando.

# **CAPÍTULO I**

## **CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, DEFINICIONES, CAUSAS Y EFECTOS**

### **1.1 Calidad de energía eléctrica**

La calidad de la energía eléctrica es un factor muy importante para los procesos productivos. A medida que se requieran procesos cada vez más precisos, donde la continuidad, confiabilidad y calidad tengan un impacto directo sobre éstos, es necesario disponer de instalaciones y equipamiento más sofisticados a fin de lograr mejores performances que aseguren estas condiciones. Estas condiciones son importantes para evitar las paradas de los procesos con los consiguientes costos por pérdidas que ello conlleva.

Dentro de los conceptos de calidad de energía, se tienen dos parámetros principales a considerar: la continuidad del suministro y la calidad propiamente dicha del mismo; estos conceptos se relacionan específicamente con la calidad de la tensión que es recepcionada por el usuario y que generalmente difiere en su forma de onda y amplitud, de la tensión generada. Por otro lado, la continuidad del suministro está ligada además a las condiciones de las instalaciones, que en muchos casos no son las más adecuadas, y para lo cual se requiere nuevos diseños que contemplen la instalación de equipos electrónicos de protección, mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra, diseño adecuado de conductores y elementos de distribución [1].

### **1.2 Perturbaciones**

Una situación ideal es aquella en la cual la tensión generada se mantiene constante en cualquier punto de un sistema eléctrico, con forma de onda sinusoidal constante e impedancia nula. Debido a diversos factores, la tensión que se genera en el sistema, sufre deformaciones en su forma de onda, frecuencia y amplitud en el punto de utilización. Estos fenómenos se conocen como Perturbaciones, los cuales ocasionan un deterioro de la calidad de la energía, lo que puede ocasionar el mal funcionamiento de los equipos eléctricos y los dispositivos de protección y hasta su deterioro con las consiguientes pérdidas por salidas de servicio intempestivas.

#### **1.2.1 Origen de las perturbaciones**

Son varias las causas que originan la aparición de perturbaciones en los sistemas eléctricos, entre las cuales están las elevaciones de potencial de tierra ó descargas atmosféricas. Sin embargo, la mayor y más importante fuente de distorsión son las propias cargas del sistema, debido a la presencia de elementos fabricados con dispositivos de electrónica de potencia con fuentes conmutadas que pueden manejar corrientes considerables, y al modo de funcionamiento de éstos, en los arranques y paradas, y a maniobras que ocasionan variaciones en la onda de tensión que alimenta al sistema.

### **1.2.2 Tipos de perturbaciones**

De acuerdo a su duración, las perturbaciones son de dos tipos: Transitorios y Permanentes.

#### **a) Transitorias**

Son perturbaciones de corta duración, que aparecen debido a maniobras de desconexión de cargas inductivas, apertura de interruptores en sistemas que manejan grandes cantidades de corriente, conexiones y desconexiones de cargas en paralelo conectadas en una misma barra, transitorios por descargas atmosféricas ó electrostáticas. Dentro de este tipo, se encuentran: Microcortes, Huecos, Variaciones de tensión.

#### **b) Estacionarias**

Son las perturbaciones que más frecuentemente se encuentran en un sistema eléctrico, debido a que son generados dentro del propio sistema, y en el cual la forma de onda de la tensión se distorsiona, es decir, se desvía de la forma de onda de una senoide ideal instantáneamente. Los tipos de distorsión de la forma de onda son: Inserción de Corriente Continua, Armónicos, Inter - armónicos, Notching y Ruido eléctrico.

### **1.3 Descripción de las perturbaciones eléctricas**

Las perturbaciones eléctricas de mayor incidencia en los sistemas eléctricos, de acuerdo a su tipo, se describen a continuación [2].

#### **1.3.1 Microcortes**

Se denominan así a las interrupciones ó caídas de la tensión en una red eléctrica, por debajo del 60% de su valor nominal, cuya duración no excede el medio ciclo. Aparece debido al disparo de dispositivos de protección con reenganche automático. También se le conoce como interrupción corta de algunos milisegundos de duración. La forma de onda típica de un micro corte se muestra en la fig. 1.1.

#### **1.3.2 Huecos de tensión**

Son las disminuciones del valor eficaz de la onda, entre el 90% y el 1%, cuya duración varía entre medio ciclo y 1 minuto. En la fig. 1.2 se muestra la forma de onda.

En esta figura se observa que la tensión no se interrumpe, pero cae a un valor debajo del nominal.

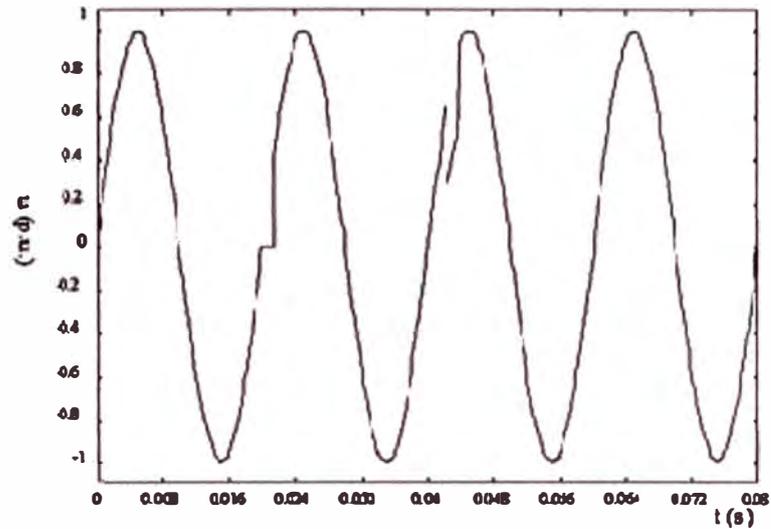


Fig. 1.1 Forma de Onda de un micro Corte

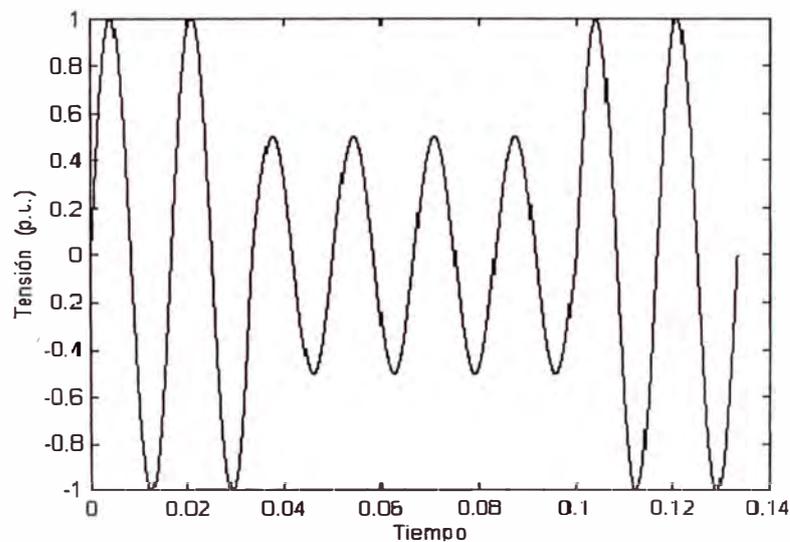


Fig. 1.2 Forma de Onda de Hueco de Tensión

### 1.3.3 Variación lenta de tensión

Se consideran así aquellas variaciones (aumento o disminución) del valor eficaz de la onda entre  $\pm 10\%$  de su valor nominal y cuya duración es mayor a los 10 segundos. Se presentan por la fluctuación de la carga conectada con alta impedancia de cortocircuito. En la fig. 1.3 se muestra esta perturbación.

### 1.3.4 Variación rápida de tensión

Variaciones del valor eficaz, sostenidamente y con tiempos de duración indefinidos, menores a los 10 segundos, sin ninguna forma específica ni periodicidad.

Aparecen debido a conexión y desconexión de cargas de magnitud importante. En la fig. 1.4 se muestra la forma de onda de este tipo de variación.

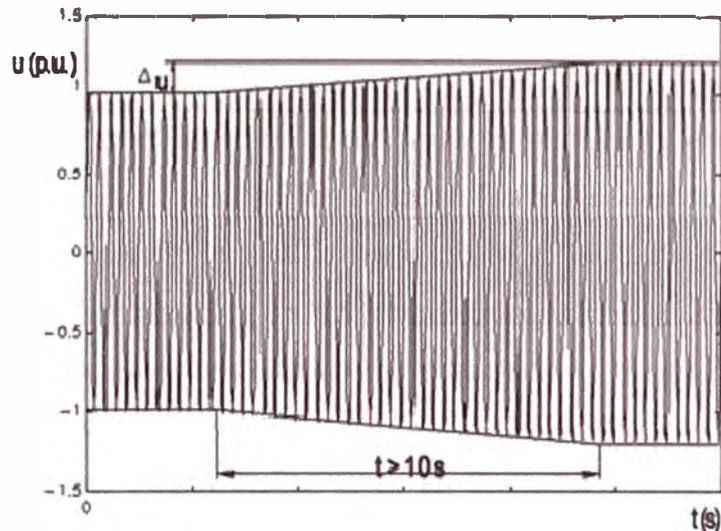


Fig. 1.3 Forma de Onda de Variación Lenta de Tensión

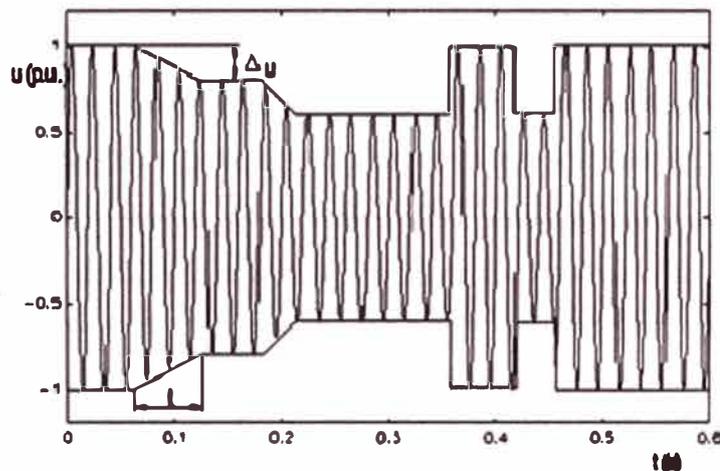


Fig. 1.4 Forma de Onda de Variación Rápida de Tensión

Un caso particular es la fluctuación de tensión, que es cuando se producen cambios en el valor eficaz de la onda de tensión de forma periódica.

### 1.3.5 Sobre – tensión

También llamado Swell, es el incremento del valor eficaz de la onda entre el 10% y el 80%. Típicamente se presenta en una fase sana de un cortocircuito monofásico, debido a una caída de una fase a tierra ó a la salida de una carga considerable. Este incremento puede ser perjudicial para los equipos ó dispositivos de estado sólido, que son los más sensibles a ser afectados.

### 1.3.6 Bajada de tensión

Denominado SAG, es así llamado a la disminución del valor eficaz de la onda entre el 10% y el 90%. Se presenta debido al arranque de cargas que manejan corrientes de gran magnitud como los motores de inducción.

### 1.3.7 Flicker

Es la sensación que se percibe visualmente, que se manifiesta como un parpadeo u oscilación permanente de la intensidad luminosa en las luminarias de una instalación. Se origina por las fluctuaciones de la tensión hacia arriba o hacia abajo, en una magnitud menor al 10% de su valor nominal, en un rango entre 0.5 Hz y 25 Hz. por lo que su intensidad depende de las variaciones de tensión y frecuencia. Se produce por la variación de la potencia que consumen algunas cargas cuya demanda varía permanentemente. Entre los equipos que ocasionan esta perturbación se encuentran los grandes motores de carga variable, máquinas de soldadura por resistencia, hornos de arco. Debido a que son variaciones menores del +/- 10 % muchos equipos no son afectados; para frecuencias muy bajas menores del 0.5 Hz., las fluctuaciones no son molestas ya que los destellos producidos son perfectamente separados por el sistema humano ojo – cerebro. A partir de cierta frecuencia conocida como frecuencia de fusión se pone de manifiesto el flicker con la consiguiente molestia para el ojo humano. Una vez superada una frecuencia de parpadeo que esta alrededor de los 30 Hz. Y es variable por que depende de la luminosidad del ambiente, la percepción de flicker se atenúa y el sistema ojo – cerebro lo percibe como una luminosidad continua. En la fig. 1.5 se muestra la curva de sensibilidad del conjunto ojo – cerebro humano en función de la frecuencia de flicker; esta curva presenta un máximo alrededor de los 10 Hz. Para medir su intensidad, se emplea un parámetro llamado “Perceptibilidad” (P), basado en un modelo de respuesta del ojo humano ante las fluctuaciones de intensidad luminosa de una lámpara incandescente estándar de 60W.

Para una muestra aleatoria de población, se obtiene la fluctuación máxima que puede ser soportada por el 50% de la población sin percibir molestia alguna. A este parámetro se le denomina Índice de Perceptibilidad y se le asigna el valor igual a 1. Para tiempos cortos, menores a 10 minutos, el parámetro se denomina Índice de perceptibilidad del Flicker de corta duración y su nomenclatura es Pst. Para tiempos largos de 2 horas, se promedia los índices de corta duración en 12 intervalos de 10 minutos, de lo que resulta un nuevo índice de perceptibilidad de larga duración, Plt.

### 1.3.8 Notching

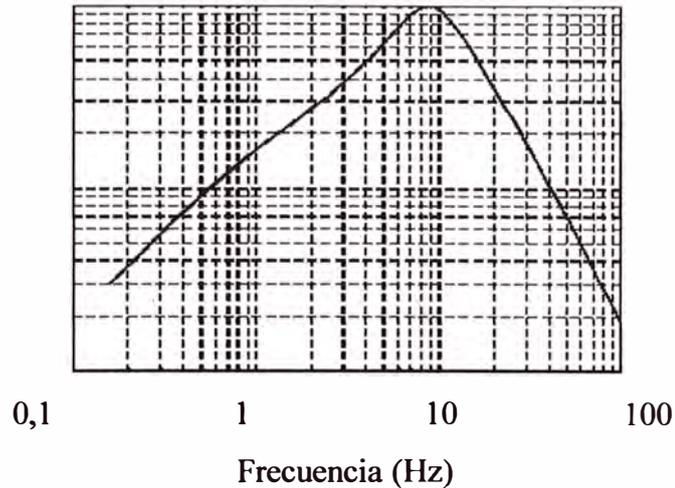


Fig. 1.5 Curva de sensibilidad del conjunto ojo – cerebro en función de la frecuencia de Flicker

Es una perturbación periódica que se presenta en el momento de la conmutación de fases de ciertos dispositivos electrónicos tales como los convertidores ac/dc, y cuya duración es del orden de los microsegundos. En la fig. 1.6 se aprecia la forma de una onda de tensión con presencia de Notching.

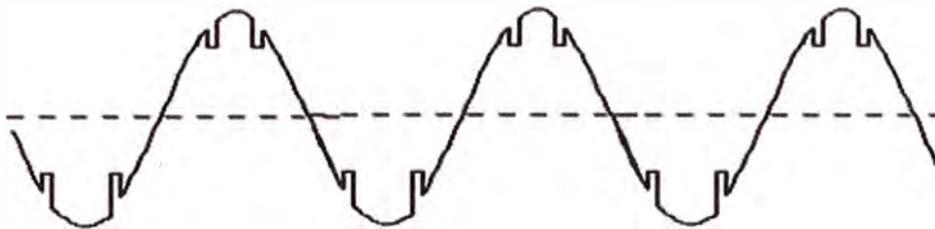


Fig. 1.6 Forma de una onda de tensión con presencia de Notching

### 1.3.9 Ruido eléctrico

Son distorsiones de magnitud pequeña de la onda de tensión que se presentan repetidamente en las fases activas tanto monofásicas como trifásicas de un sistema eléctrico, en espectros de frecuencia menor a 200 KHz. que se superponen a la tensión ó corriente del sistema. Cuando se presenta de manera esporádica con magnitud alta y de corta duración, inferior a 2 milisegundos, se le conoce como Impulso.

En la fig. 1.7 (a) se muestra una onda de tensión con ruido eléctrico y en la fig. 1.7 (b) se muestra una onda de tensión con un impulso eléctrico.

### 1.3.10 Interrupción del servicio

Estado en el cual la onda de tensión cae por debajo del 10% de su valor nominal pudiendo

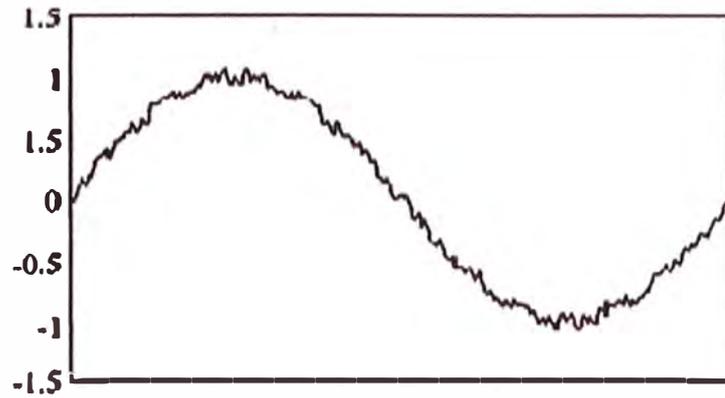


Fig. 1.7 (a)

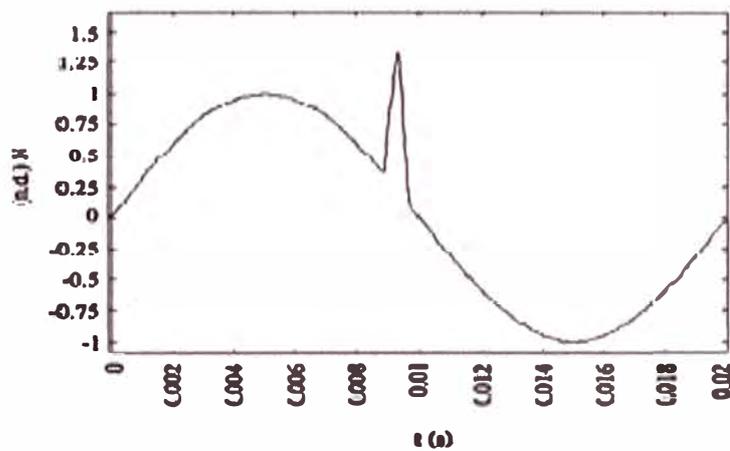


Fig. 1.7 (b)

Fig. 1.7 Onda de tensión (a) con ruido eléctrico, (b) con impulso eléctrico

ser cero, por al menos 30 ciclos. Generalmente se le denomina black out o comúnmente “apagón”. Puede producirse debido a pérdida de generación, fallas en la instalación, apertura de dispositivos de protección ó a prolongados mantenimientos en subestaciones. En la fig. 1.8 se aprecia una forma de onda afectada por un black out.

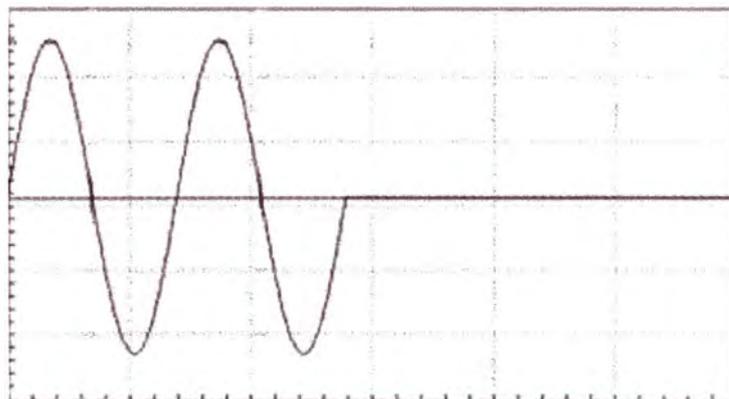


Fig. 1.8 Forma de onda de tensión con black out

### 1.3.11 Variaciones de frecuencia

Se denomina a la desviación de la frecuencia de la onda fundamental nominal especificada, que en nuestro caso es de 60 Hz. Este fenómeno se produce por las variaciones en la generación por efecto del balance entre ésta y las cargas alimentadas. Cuando las variaciones son apreciables, la gran mayoría de equipos electrónicos pueden ser afectados en su funcionamiento o resultar averiados. Generalmente en sistemas grandes, la frecuencia es casi estable, siendo imperceptible por los equipos alimentados debido a la gran inercia del sistema. En sistemas pequeños, como por ejemplo los sistemas de emergencia alimentados por grupos electrógenos donde las variaciones de tensión y frecuencia son más notorias, este fenómeno está presente en mayor grado. Su amplitud y duración están en función de la rapidez de respuesta de los sistemas de control de la generación a los cambios de la carga del sistema. En la fig. 1.9 se muestra la forma de onda de tensión con variación de frecuencia.

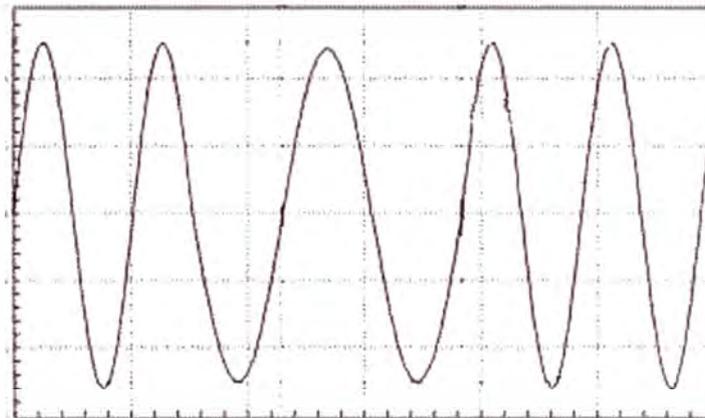


Fig. 1.9 Forma de onda con variación de frecuencia.

Debido a la magnitud de la amplitud, se tienen dos tipos de perturbaciones:

- a) Las de baja frecuencia, menores de 2500 Hz. En este tipo están los flickers y los Armónicos.
- b) Las de alta frecuencia, en el rango entre 10 KHz. y 30 MHz.

### 1.3.12 Distorsión armónica

Es la perturbación que tiene el mayor efecto perjudicial en una instalación eléctrica ya que distorsiona grandemente a la forma de onda de tensión ó corriente, con inyección de frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia de operación del sistema eléctrico. Los sistemas de energía generan tensiones de tipo sinusoidal con una frecuencia llamada fundamental, que en nuestro medio es de 60 Hz.

Para definir un armónico se consideran dos parámetros: su amplitud, que es el valor instantáneo de la onda, generalmente expresada como un porcentaje de la fundamental, y su orden, que es la relación de la frecuencia del armónico referido a la frecuencia fundamental, de tal manera que en un sistema de 60 Hz. la componente armónica de 5° orden tiene una frecuencia de  $5 \times 60 = 300$  Hz. En la fig. 1.10 se aprecia la forma de una onda distorsionada y su descomposición en ondas de armónicos de 5° y 7° orden presentes.

Cuando el orden de los armónicos no es múltiplo entero de la frecuencia fundamental, la distorsión toma el nombre de interarmónica.

La distorsión armónica presenta tres características que la definen como tal:

- i) La onda tiene valores definidos dentro de un intervalo, es decir que la energía es finita.
- ii) La onda es periódica, es decir que tiene la misma forma de onda en cada ciclo.
- iii) La onda es permanente, es decir que se presenta en todo instante.

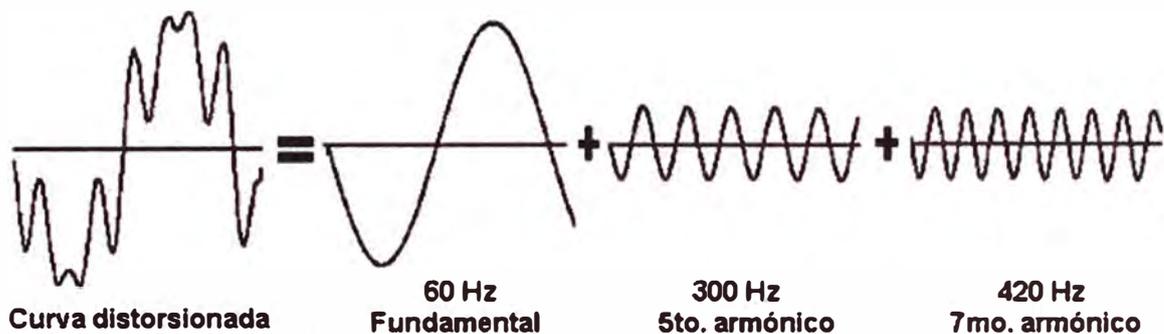


Fig. 1.10 Forma de una onda distorsionada por los armónicos de 5° y 7° Orden

En ondas simétricas balanceadas, las componentes armónicas pares se anulan, teniendo incidencia en el sistema solo las componentes impares.

#### a) Origen de los armónicos

Para entender las causas que los originan, se tienen dos definiciones [4]:

**Carga lineal.** Es aquella carga que al aplicársele una tensión sinusoidal, se origina una corriente proporcional también sinusoidal. Tiene un comportamiento pasivo y puede estar compuesto por resistencias, inductancias, capacitancias, o una combinación de éstas.

**Carga no lineal.** Es aquella que al aplicársele una tensión sinusoidal, la corriente que se produce no es sinusoidal pura, presentando una onda con distorsiones respecto de la onda de tensión.

Los armónicos se originan debido a la presencia de cargas no lineales dentro del sistema eléctrico. Dentro de las cargas no lineales típicas están los convertidores estáticos,

rectificadores, reguladores de velocidad, arrancadores estáticos, reactancias saturables cuya curva de magnetización es no lineal, hornos de arco y equipos de soldadura, equipos electrónicos con rectificadores a la entrada. También son fuentes de armónicos las instalaciones de alumbrado con lámparas de descarga, bancos de transformadores trifásicos conectados en estrella – estrella y cargas desbalanceadas o aquellas que presentan problemas en el sistema de puesta a tierra.

Los convertidores estáticos y los rectificadores en funcionamiento normal generan armónicos que están en relación a su número de pulsos, mediante la expresión:

$$h = np \pm 1 \quad (1.1)$$

Donde:

$h$       orden del armónico

$p$       número de pulsos

$n =$     1, 2, 3, etc.

#### **b) Efectos de los armónicos**

Debido a la aparición de corrientes circulantes con forma de onda distorsionada se generan tensiones también deformadas en diferentes puntos del sistema eléctrico. Dependiendo de la magnitud de estas corrientes la distorsión de las ondas de tensión será mayor ó menor, lo que ocasiona perjuicio ya sea instantáneo o de largo plazo en los elementos que conforman el sistema tales como:

- i) Reducción de la vida útil y degradación de la eficiencia de equipos.
- ii) Incremento de las pérdidas por efecto Joule en conductores y equipos,
- iii) Sobrecalentamiento en el neutro de un sistema trifásico con neutro accesible y en los conductores debido al efecto pelicular que se presenta por la disminución de la sección eficaz de los conductores cuando se incrementa la frecuencia de la corriente circulante.
- iv) Vibración y recalentamiento en los devanados de transformadores y generadores.
- v) Problemas de interferencia en los sistemas de comunicaciones y centrales telefónicas por el incremento del nivel de ruido.
- vi) Fallas en las lecturas de los dispositivos de medición.
- vii) Apertura de fusibles, disparo de interruptores y dispositivos de protección y control debido al sobrecalentamiento originado por las corrientes armónicas.
- viii) Los equipos electrónicos sensibles como los módems, switches, servidores y computadoras, necesitan ser alimentados por fuentes de tensión muy estables para evitar

variaciones que ocasionen los re-arranques de los equipos, lo que puede producir daños irreparables.

Otro efecto perjudicial producido por los armónicos en un sistema eléctrico es la disminución del factor de potencia de la instalación. En términos generales en una instalación afectada con armónicos, el factor de potencia total es menor que el factor de potencia de la componente fundamental. Esto significa que para transmitir una misma potencia activa es necesario que las instalaciones estén diseñadas para una potencia aparente mayor.

La resonancia aparece cuando la reactancia total resultante del sistema eléctrico da lugar a un circuito resonante a la frecuencia de las componentes armónicas. Esta reactancia que consta de inductancias y condensadores puede generar corrientes altas que sobrecarguen al sistema, o también generar tensiones altas que ocasionen problemas de pérdida de aislamiento ó daños en equipos sensibles. Debido a que la reactancia de un condensador es inversa proporcional a la frecuencia, al aparecer frecuencias cada vez más altas por efecto de los armónicos, la reactancia de los condensadores se hace cada vez más pequeña siendo casi cero, lo que tiene el efecto de un cortocircuito en el sistema.

En este capítulo se han detallado las perturbaciones que pueden ocasionar malfuncionamiento, reseteo, e incluso el daño de los equipos eléctricos instalados en un sistema eléctrico. Una alternativa para evitar eso es el empleo de los equipo llamados UPS.

## CAPÍTULO II

### DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS ININTERRUMPIDOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

#### 2.1 Descripción de los UPS

Los Sistemas Ininterrumpidos de Energía, abreviados como UPS, son equipos electrónicos cuya finalidad es mejorar la calidad de la energía que reciben los equipos sensibles a las perturbaciones. El UPS tiene las siguientes funciones:

- i) Proporciona energía estable en tensión y frecuencia a la carga crítica, ante cualquier perturbación que se presente en la alimentación del sistema.
- ii) Evita que las perturbaciones de la red se propaguen hacia la carga crítica.
- iii) Proporciona energía de back up, esto significa que ante un corte total del flujo eléctrico en la alimentación (Black Out) ó en presencia de variaciones de voltaje y/o frecuencia en la red, entrega energía estabilizada en tensión y frecuencia a la carga crítica mediante un banco de baterías.
- iv) Aisla a la carga crítica de la red.

En la fig. 2.1 se muestra el diagrama de bloques básico de un UPS, donde se aprecia sus etapas de funcionamiento.

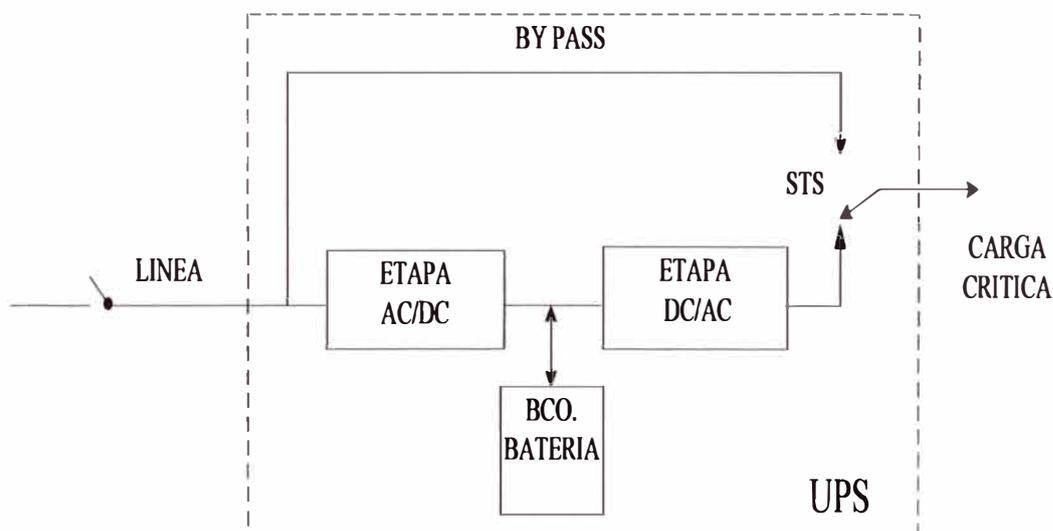


Fig. 2.1 Diagrama de bloques básico de un UPS

En este diagrama se aprecian las siguientes etapas:

- i) Etapa AC/DC, es la etapa rectificadora/cargadora. En esta etapa se realiza la conversión de la tensión alterna de entrada, en tensión continua. A su vez, se realiza la carga del banco de baterías mediante un cargador estático.
- ii) Etapa DC/AC, es la etapa inversora, donde la tensión continua se reconvierte en tensión alterna ya filtrada y estabilizada para ser entregada hacia la carga crítica.
- iii) Una línea de By Pass, para alimentar a la carga crítica en caso se produzca una avería en alguna de las etapas indicadas.
- iv) Un Switch estático de Transferencia (STS) interno, que realiza la transferencia de la carga crítica entre el inversor y la línea de by pass.

## **2.2 Tipos de topología de UPS**

Los UPS tienen diferentes topologías de fabricación y su uso depende de la aplicación que se requiera. Básicamente el principio de funcionamiento es el mismo, diferenciándose en el tiempo de respuesta y en el grado de confiabilidad de protección. Estas topologías son las siguientes[5]:

### **2.2.1 Stand by**

Esta topología es la más simple y la menos confiable. En esta configuración su modo de funcionamiento Normal es cuando el inversor está en estado de espera, es decir que la carga crítica esta siendo alimentada permanentemente a través de la línea de by pass y el rectificador está alimentando al sistema DC del UPS que mantiene el banco de baterías en carga. En estas circunstancias, la carga crítica está recibiendo la tensión con las perturbaciones de la red. Al producirse un corte de energía, una variación marcada de la tensión ó pérdida de frecuencia en la red, la carga crítica es transferida hacia el inversor el cual se activa y entrega tensión estabilizada a partir de la energía acumulada en el banco de baterías. Esto quiere decir que solamente en este estado de funcionamiento la carga crítica estará protegida contra las perturbaciones de la red. A este modo de funcionamiento se le conoce como Modo “baterías”. La fig. 2.2 muestra este funcionamiento en el cual la fig. (a) muestra su funcionamiento en modo normal con el inversor en stand by y la fig. (b) muestra su funcionamiento cuando el inversor está activado.

El tiempo de respuesta típico para realizar la transferencia de la carga crítica de la línea de by pass hacia la línea del inversor es del orden  $t \leq 4$  milisegundos. Este tiempo es considerablemente prolongado cuando se trata de equipos de comunicaciones extremadamente precisos, por lo que su uso se centra para proteger equipos de mediana

importancia y pequeñas potencias como las computadoras personales en estaciones de trabajo de manera local.

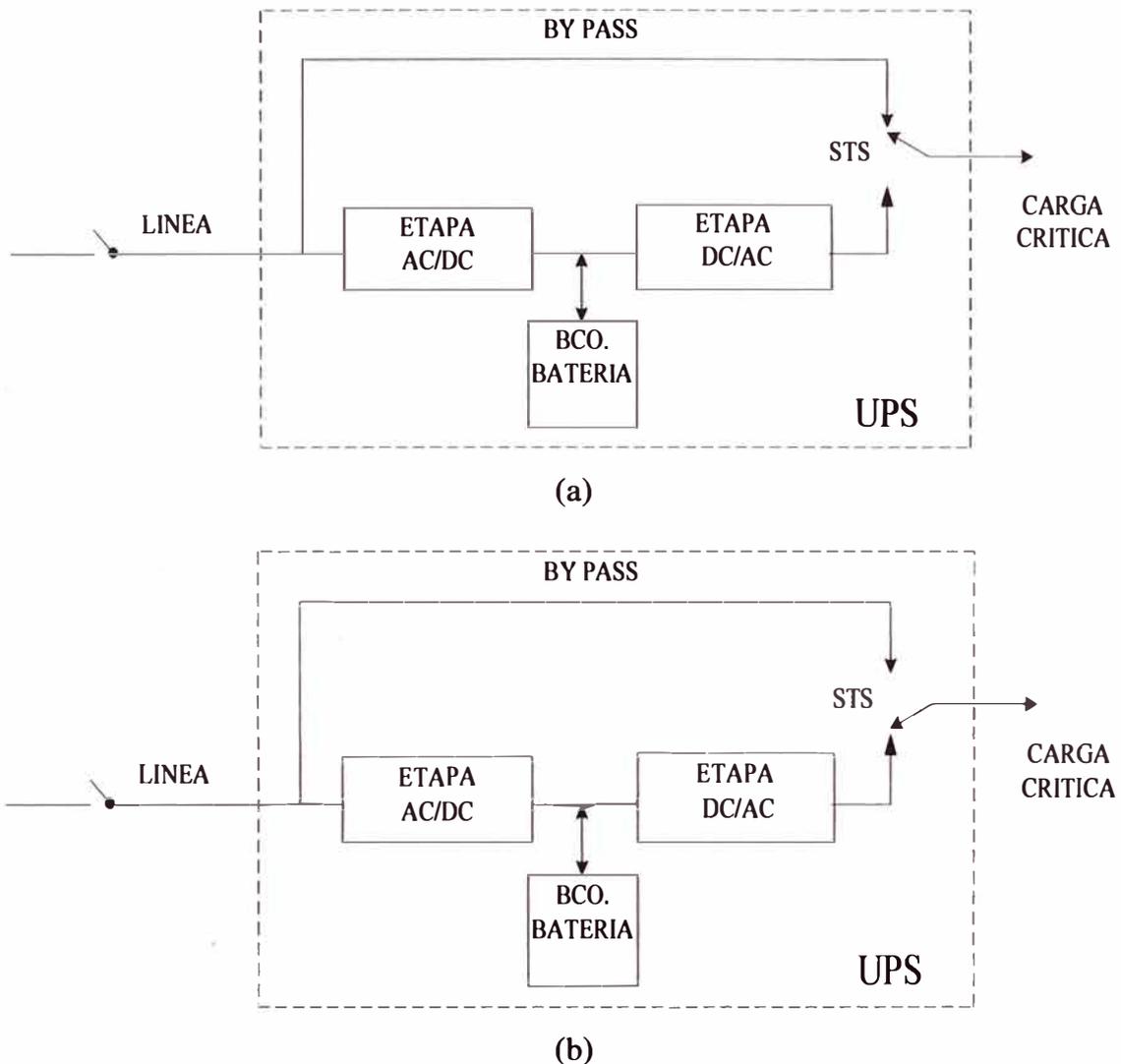


Fig. 2.2 Modo de funcionamiento de un UPS stand by, (a) modo normal, (b) modo Batería

### 2.2.2 Interactivo

Su configuración es similar al stand by, con la diferencia que en la línea de by pass se cuenta con un elemento de filtro y supresor de picos. Su modo de funcionamiento también es similar al del Stand By al igual que el tiempo de respuesta de la transferencia.

### 2.2.3 On line doble conversión

En esta topología la característica fundamental es que el inversor está permanentemente activado y entregando energía estabilizada a la carga crítica. En el momento de producirse un corte del fluido eléctrico el UPS detecta esta falla y pasa a funcionar en modo "baterías". Por lo tanto la energía acumulada en el banco de baterías continúa activando al inversor, por

lo que el tiempo de transferencia es cero, lo que asegura que la carga crítica siempre estará protegida y no perderá los procesos que halla estado realizando. Se dice que es de doble conversión por que se realiza la rectificación de la señal de entrada, pasa por un proceso de acondicionamiento y se reconvierte en señal alterna estabilizada y acondicionada para ser entregada a la carga crítica. Esta topología de UPS es requerida cuando se desea proteger equipos muy sensibles a las variaciones de tensión como equipos de transmisión de datos, servidores módems. En la fig. 2.3 se aprecia el diagrama de bloques de esta topología.

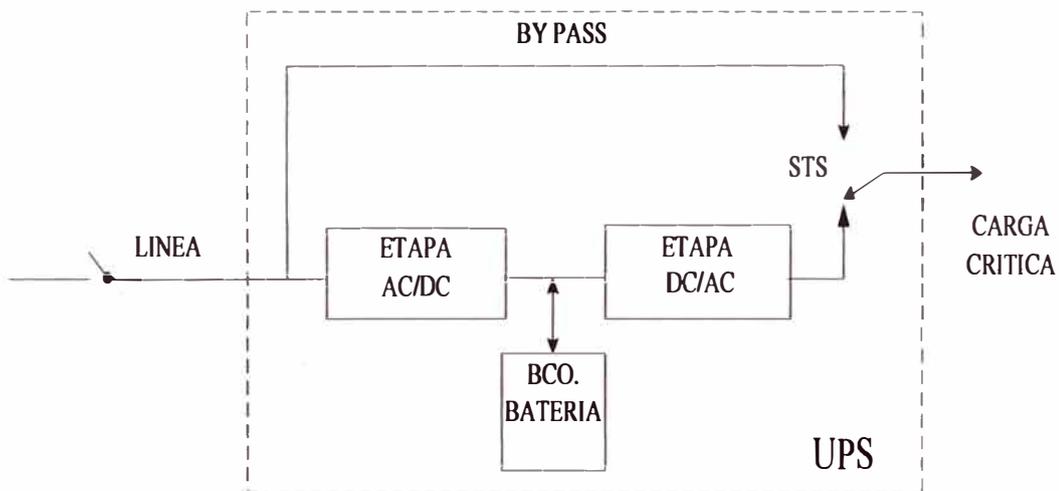


Fig. 2.3 Diagrama de bloques básico de un UPS de topología On Line funcionando en modo Normal.

Al tiempo que el banco de baterías puede entregar su energía almacenada se le conoce como “autonomía” y es limitado, típicamente de 8 a 10 minutos a plena carga. Cuanto menos carga esté soportando el UPS, el tiempo de autonomía se incrementa. Al cabo de este tiempo el banco de baterías desciende hasta un nivel mínimo de voltaje que ocasiona que el inversor del UPS se apague de manera automática. Por esta razón es necesario que el suministro sea repuesto antes de llegar a este punto. De esta manera se dispone del tiempo suficiente para poner en marcha el grupo electrógeno que suministre energía al UPS. Una vez que éste detecta que la tensión a la entrada, ya sea de la red ó del grupo electrógeno es estable, pasa a funcionar del modo “Baterías” al modo Normal.

### 2.3 Elementos que conforman una instalación de un sistema UPS

Los UPS necesitan para su instalación determinadas condiciones mínimas para asegurar un funcionamiento adecuado. Entre éstas tenemos que las magnitudes de la tensión y la frecuencia de entrada estén dentro de un determinado rango. Estos rangos pueden variar de acuerdo al fabricante del UPS. Por ejemplo, los UPS marca Liebert, modelo GXT2

10000RT 230, de 10 kVA, fabricados en Ohio, Estados Unidos, necesitan que la tensión y frecuencia de la red estén entre:

Tensión de entrada : 176 – 276 Voltios

Frecuencia de entrada: 57 – 63 Hz.

En caso que la red entregue tensiones y/o frecuencias fuera de estos rangos, el UPS lo asume como falla en la tensión de la red y pasa a funcionar en modo “baterías”, permaneciendo en este estado hasta que los valores de la red vuelvan a estar dentro de los rangos indicados.

Por otro lado, los UPS necesitan tener referencias fijas de tensiones, es decir que las tensiones de cada fase con respecto a neutro y tierra sean constantes e independientes de cualquier alteración que se produzca en la red de alimentación. Esto es por que las tarjetas electrónicas internas que componen las diferentes etapas del UPS operan con voltajes de referencia fijos con respecto a masa el cual está además conectado a la tierra del sistema. Además de esto, tanto el UPS como la carga crítica necesitan que la diferencia de potencial entre el neutro y tierra sea cero. Otra condición ocasiona la alteración ó envejecimiento de sus componentes lo que en el tiempo se traduce en el deterioro del equipo.

Debido a que no siempre el concesionario de electricidad puede brindar estas condiciones, se emplean otros dispositivos que acondicionen la señal que recibe el UPS. El más utilizado es el transformador de aislamiento.

### **2.3.1 Transformador de aislamiento**

Como se ha señalado, Los UPS ya sean monofásicos ó trifásicos necesitan tener una diferencia de potencial entre sus bornes de neutro y tierra igual a cero. La tensión que entrega el concesionario es en configuración delta, el neutro es flotante y por lo tanto su diferencia de potencial con respecto a cualquiera de las fases y a tierra varía según la carga que esté conectada. Lo mismo sucede en instalaciones que se alimentan con subestaciones delta / estrella sin el neutro puesto a tierra, en donde la diferencia de potencial entre éstos también es flotante. Para fijar la referencia del potencial entre el neutro y la tierra del sistema igual a cero voltios, se emplea el transformador de aislamiento, el cual se instala en la entrada del UPS. En el caso monofásico, una de las fases del secundario está puesta sólidamente a tierra. En el caso trifásico, está en conexión delta / estrella con el neutro del secundario puesto a tierra. En la fig. 2.4 se muestra el esquema de ambas configuraciones. Donde (a) en configuración monofásica y (b) la configuración trifásica.

La razón de tener el secundario en conexión estrella es por que los UPS trifásicos más

usuales tienen transformador interno en estrella.

La relación de transformación en el caso monofásico es de 1:1; en el caso trifásico es de 220 / 380 Voltios, a fin de obtener 220 voltios por fase en el secundario con el neutro conectado a tierra.

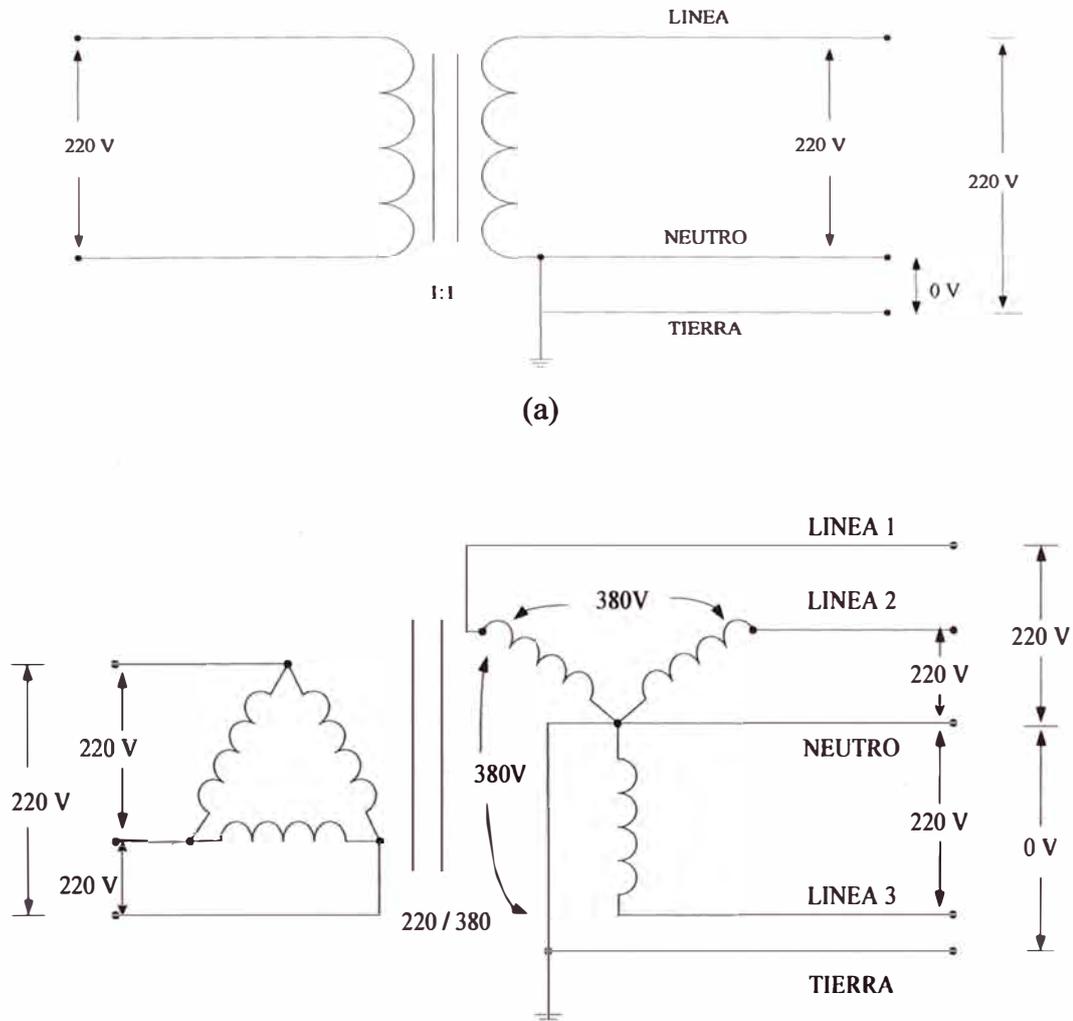


Fig. (b)

Fig. 2.4 Transformadores de aislamiento (a) monofásico y (b) trifásico

El efecto que causan los armónicos en los transformadores es el incremento de la temperatura de operación debido al aumento de la densidad de flujo en el núcleo y las pérdidas en el cobre. Asimismo, por efecto de la suma de las componentes armónicas impares en el neutro del transformador, sobre todo de la tercera armónica, la corriente que circula por el neutro de un transformador trifásico aumenta pudiendo llegar a ser mayor que las corrientes de las fases. En el caso más desfavorable, esta corriente alcanza como valor

máximo 1.73 veces el valor nominal de la corriente de fase, lo que debe tenerse en cuenta en la selección del transformador [6].

El transformador de aislamiento está diseñado para atenuar estos efectos. Aparece el concepto de “factor K” para transformadores [7], establecido por Underwrites Laboratories (UL). El factor K es un índice adimensional que establece la capacidad del transformador de soportar los efectos ocasionados por las cargas no lineales, a fin que el transformador opere a su potencia nominal dentro de los límites de temperatura y corriente permitidas por el factor asociado a él, es decir, que es un índice de sobredimensionamiento del transformador. Debido a que el transformador de aislamiento tipo K debe estar diseñado para soportar los esfuerzos térmicos y atenuar los efectos de los armónicos de la red, deben poseer las siguientes características constructivas:

- i) Debe tener un apantallamiento ó blindaje electrostático entre los devanados primario y secundario a fin de aislar las perturbaciones de la red y atenuar sus efectos hacia la carga.
- ii) El neutro del transformador se diseña para conducir el doble de la corriente de fase.
- iii) Algunos fabricantes reemplazan los bobinados por láminas ó platinas para reducir el calentamiento por efecto de las corrientes de Eddy.

Hay que indicar que el transformador de aislamiento, debido a que es un elemento que refleja la tensión y corriente del primario al secundario, también reflejará las variaciones de tensión, cortes y micro cortes de tensión, es decir que estos problemas que se pueden presentar en la red no son corregidas por él. Lo mismo sucede con los problemas de ruido de línea a tierra, dado que el conductor de tierra es continuo en toda la instalación y no se puede interrumpir. Su utilidad estriba solamente en la atenuación de ruidos de modo común.

### **2.3.2 Tablero de control**

Debido a que el sistema es altamente crítico, la red de alimentación debe ser de uso exclusivo para el mismo. A esto se le llama tener un “circuito dedicado”, es decir, que el sistema es totalmente independiente de cualquier otro tipo de carga, tal como alumbrado, tomacorrientes de uso general, aire acondicionado, electrobombas, etc., que pueda inyectar cualquier tipo de disturbios en la red. En sistemas grandes ó medianos, la alimentación se toma desde la subestación, con un interruptor que alimenta exclusivamente a este tablero. En sistemas pequeños el tablero puede ser alimentado desde un subtablero de distribución.

El tablero dedicado controla y protege el sistema Transformador de aislamiento – UPS mediante la selección de los interruptores apropiados. Además, se suele colocar en este tablero un dispositivo de protección de transitorios ó limitador de tensión, conocido como

SPD (Surge Protective Device).

Los SPD son dispositivos limitadores de tensión que se conectan en bornes de la red eléctrica, en el punto que se desea proteger. Su comportamiento es el de un interruptor controlado que presenta una alta impedancia en condiciones normales. Al alcanzar la tensión un nivel máximo permitido, se comporta como un elemento de baja impedancia, absorbiendo ó limitando las corrientes de impulso. Existen varias tipos de SPD, como son los varistores (resistores no – lineales), los diodos zener, los descargadores a gas, los Arc Chopping ó vía de chispas, los diodos supresores, varistores de carburo de silicio, los supresores de celdas de Selenio y los varistores metal – óxido ó MOV, siendo éstos los más usados por su facilidad de conexión y su costo relativamente más bajo. Dentro de los MOV más usados están los TVSS (Transient Voltage Surge Suppressor), cuya conexión se realiza entre fases y tierra de la red [1]. La fig. 2.5 muestra el esquema de conexión de este dispositivo.

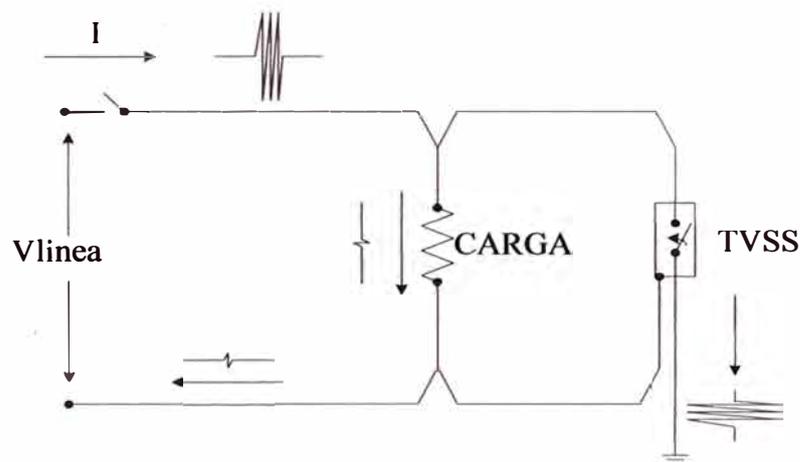


Fig. 2.5 Esquema de conexión de un TVSS

### 2.3.3 Tablero de distribución

Los centros de cómputo tienen equipos considerados críticos. En centros de transmisión de datos grandes, se puede tener algunas decenas de equipos que deben ser alimentados por la energía proporcionada por el UPS. Para ello, se instalan uno o varios tableros de distribución, que son alimentados desde el tablero de control del UPS. Los tableros de distribución cuentan con los interruptores de protección adecuados.

Generalmente los equipos instalados en los centros de cómputo son monofásicos, es por esta razón que se pueden alimentar de dos maneras:

- i) Con un UPS monofásico mediante tres hilos: fase, neutro y tierra.

ii) Con un UPS trifásico mediante cinco hilos: tres fases, neutro y tierra. En este caso la carga se balancea entre cada fase y neutro. Hay que tener en cuenta que la barra del neutro del tablero debe estar dimensionado para conducir las corrientes generadas por la carga crítica con componentes de 3° armónica y sus múltiplos.

#### **2.3.4 Grupo electrógeno**

Una desventaja que tiene el UPS es el tiempo limitado de autonomía en el que puede entregar energía, que puede durar desde unos pocos minutos hasta algunas horas, dependiendo de la cantidad de bancos de baterías externos que se le conecten. Dado que el costo de un banco de baterías externo es elevado, siendo en algunos casos de alrededor del 50 % del costo del UPS, se debe tener la alternativa de una fuente de energía suplementaria a la suministrada por el concesionario de servicio público, que actúe en caso éste se interrumpa ó sufra alguna anomalía. Es por esto que el sistema debe contar con el respaldo de un grupo electrógeno cuya potencia se calcula teniendo en cuenta la potencia del UPS. Además, el caso más desfavorable es cuando el ó los bancos de baterías están descargados, y para que recuperen su carga consumen una cierta potencia. La potencia que se requiere para que el banco de baterías sea recargado, debe ser tomada en cuenta para el dimensionamiento de la potencia total del grupo electrógeno. Las versiones antiguas de UPS requerían que se adicione una potencia del 30 % más para el caso de recarga de baterías. Las versiones actuales ya cuentan con limitador de corriente en la etapa rectificadora / cargadora, por lo que solo se le considera un adicional del 10 % de la potencia del UPS. Debido a que el factor de potencia de los UPS está en el orden de 0.7, se debe calcular sobre la potencia activa de éste y adicionar una reserva de potencia entre el 20 – 25 % en caso de un futuro aumento de carga, para que no opere en condiciones nominales y pueda tener la estabilidad necesaria.

#### **2.4 Configuración de instalación de los UPS**

La necesidad de mayor seguridad y confiabilidad en el suministro eléctrico, la disponibilidad del espacio adecuado, las características de la carga crítica, los tiempos disponibles para realizar una parada del sistema por mantenimiento, el presupuesto asignado para la implementación del sistema, son algunos de los aspectos que determinan la implementación de un sistema que involucre instalar más de una unidad UPS. Existen algunas configuraciones de instalación que dependen de los aspectos antes mencionados y que determinan la selección más adecuada para cada caso específico.

Dentro de los más usuales tenemos las siguientes configuraciones [8]:

- i) Configuración En cascada ó redundante aislada.
- ii) Configuración paralelo, el cual se subdivide en dos principales: paralelo capacidad y paralelo redundante.
- iii) Redundante distribuida.
- iv) Redundante sistema más sistema

#### 2.4.1 Configuración en cascada

Es una configuración de instalación apropiada para dos unidades UPS, uno de los cuales será el principal y el otro será el secundario. Su característica es que ambos UPS tienen doble alimentación independiente entre sí: una para la línea del inversor y otra para la línea de by pass. En la fig. 2.6 se muestra un esquema básico de esta configuración en donde el UPS 1 es el principal y el UPS 2 es el secundario ó de reserva.

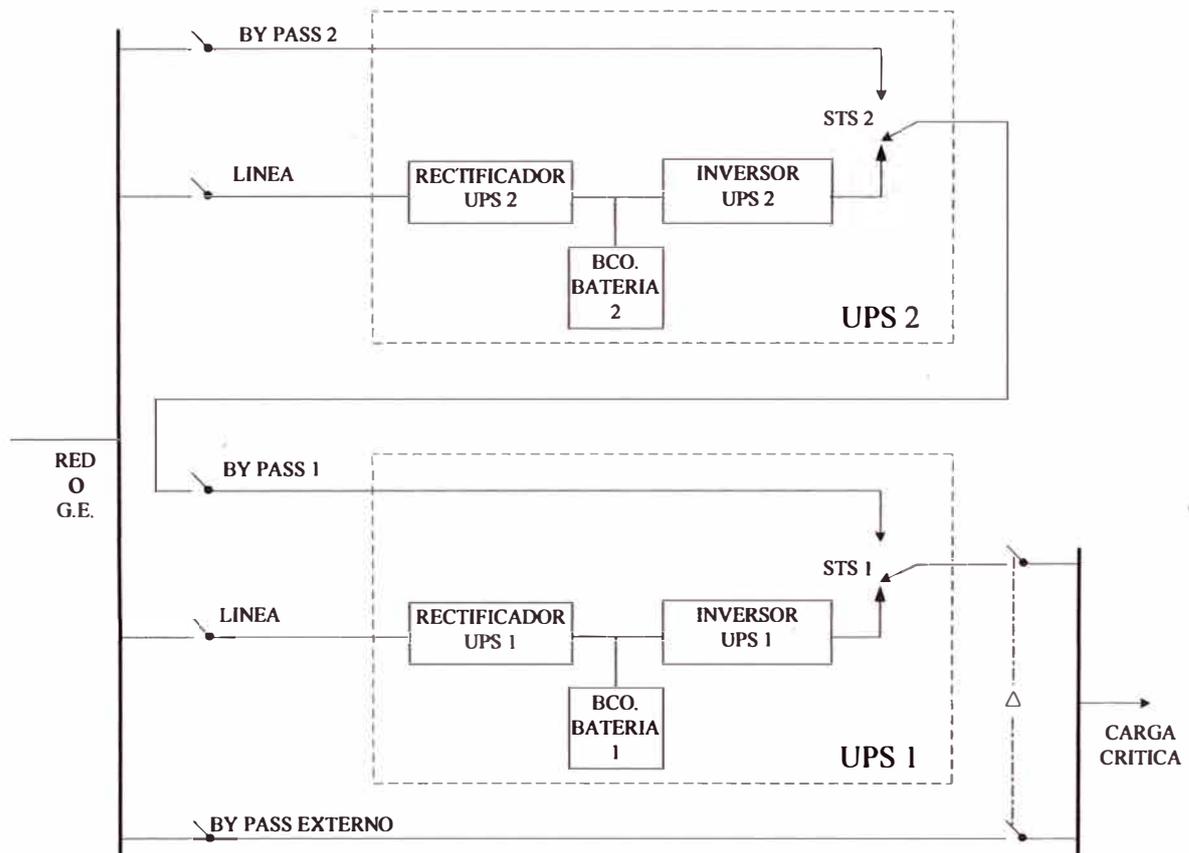


Fig. 2.6 Configuración en cascada

Su funcionamiento es de la siguiente manera:

En condiciones normales, El UPS 1 ó principal tiene su inversor permanentemente activado y alimentando a la carga crítica con energía estabilizada; el UPS 2 ó secundario está alimentando a la línea de by pass del UPS principal y por lo tanto se encuentra operando en

vacío. Ante una falla en el inversor del UPS principal, la carga crítica es transferida a su línea de by pass estático, el cual a su vez está siendo alimentado con energía estabilizada del UPS secundario. De esta manera, la carga crítica permanecerá protegida de las perturbaciones de la red del suministro eléctrico. En el caso que se produzca una caída de tensión ó una sobretensión fuera de los límites fijados por los UPS, o un corte franco de tensión del suministro, ambos UPS entrarán a operar en modo baterías, tomando la energía almacenada en éstas. En esta situación, el UPS principal seguirá alimentando a la carga crítica hasta que se agote la energía de sus baterías. Como el UPS secundario está funcionando en vacío, la descarga de sus baterías será mucho más lenta que la del UPS principal. Por lo tanto, cuando el UPS principal ya agotó la energía de sus baterías, la carga tomará la energía que queda almacenada en el UPS secundario, obteniéndose un mayor tiempo de autonomía del sistema.

Esta configuración presenta ciertas ventajas como que tanto el UPS principal y el secundario pueden ser de igual ó diferente potencia nominal, así como de diferente marca y modelo, lo que posibilita emplear un UPS que esté actualmente en servicio, agregándose solamente un UPS más, abaratando los costos por implementación de este sistema. Además, ambos UPS no necesitan estar sincronizados entre sí, ya que funcionan de manera independiente. Por otro lado presenta algunas desventajas, como por ejemplo, que la alimentación hacia la carga crítica está supeditada al buen funcionamiento del switch estático de transferencia del UPS principal. También, si bien es cierto que su costo de implementación es menor, su costo operativo es alto debido a que uno de los UPS está permanentemente en vacío solamente consumiendo energía para mantenerse en stand by. Este sistema solo es aplicable para UPS que tengan doble alimentación, es decir que el inversor y la línea del by pass se energizan de manera independiente. Otra restricción es que el UPS secundario debe tener la suficiente capacidad para soportar una sobrecarga que ocurra en el UPS principal, ya que al transferirse la carga crítica a la línea de by pass principal, se seguirá alimentando con energía estabilizada del UPS secundario. De no ser así, la carga crítica se alimentará de la línea de by pass del UPS secundario, sin ninguna protección.

#### **2.4.2 Configuración en paralelo**

Esta configuración es utilizada para diferentes aplicaciones, desde aumentar la capacidad de la potencia del sistema de respaldo de energía estabilizada, hasta brindar protección redundante a la carga crítica. Su característica principal es que los UPS se alimentan desde la misma barra de entrada y sus salidas también alimentan a una barra de carga común,

interactuando entre ellos por medio de un sistema de control interno que regula la frecuencia y tensión de cada UPS. Para ello, los UPS deben cumplir con los siguientes requisitos: igualdad de potencia, tensión, frecuencia de operación y secuencia de fase en los equipos trifásicos.

En esta configuración aparece el concepto de capacidad ó “Sistema N”, donde N representa la potencia necesaria para abastecer la totalidad de la carga crítica. Este concepto se puede entender de acuerdo a la configuración elegida, cada una con características propias. Las más importantes son:

**a) Paralelo capacidad**

Cuando la potencia necesaria por los equipos a ser protegidos es mayor que cualquiera de las potencias de los UPS individualmente, y si además la suma de las potencias de los UPS es mayor o igual que la potencia total requerida se configura un sistema Paralelo Capacidad. Así, si por ejemplo la potencia de la carga crítica es de 100 KW, se pueden emplear dos UPS de 50 KW ó tres UPS de 40 KW conectados en paralelo. En este caso, el sistema es considerado como “Sistema N”, ya que las potencias de la carga y la suministrada por los UPS son aproximadamente equivalentes. En la fig. 2.7 se muestra esta configuración, donde se aprecia que la potencia total del sistema es igual a la potencia requerida por la carga crítica.

También se muestra un componente importante del sistema, el cual es la línea de by pass externo ó de mantenimiento, que nos permite sacar de servicio ambos UPS sin paralizar el funcionamiento de la carga crítica. El by pass externo tiene un sistema de enclavamiento mecánico de tal manera que cuando el interruptor de salida de la barra común estabilizada está cerrado, el de by pass permanece abierto sin posibilidad de cerrarse, y viceversa lo cual es imprescindible que se cumpla ya que las tensiones estabilizada y de by pass son generalmente diferentes y no deben encontrarse en la barra de alimentación de la carga crítica.

La ventaja principal de esta configuración es que se puede incrementar la potencia de forma escalonada mediante la colocación de módulos iguales de tal manera que las potencias de cada módulo se van sumando para obtener una potencia total en el sistema.

Su desventaja estriba en que los módulos deben ser de la misma potencia, tensión nominal, marca y modelo, los cuales deben operar sincronizadamente en tensión y frecuencia. En caso de realizar mantenimiento, se deben sacar de servicio ambos UPS por lo que la carga crítica quedará alimentada con energía de la red comercial y por lo tanto expuesta a las

perturbaciones que ésta presenta.

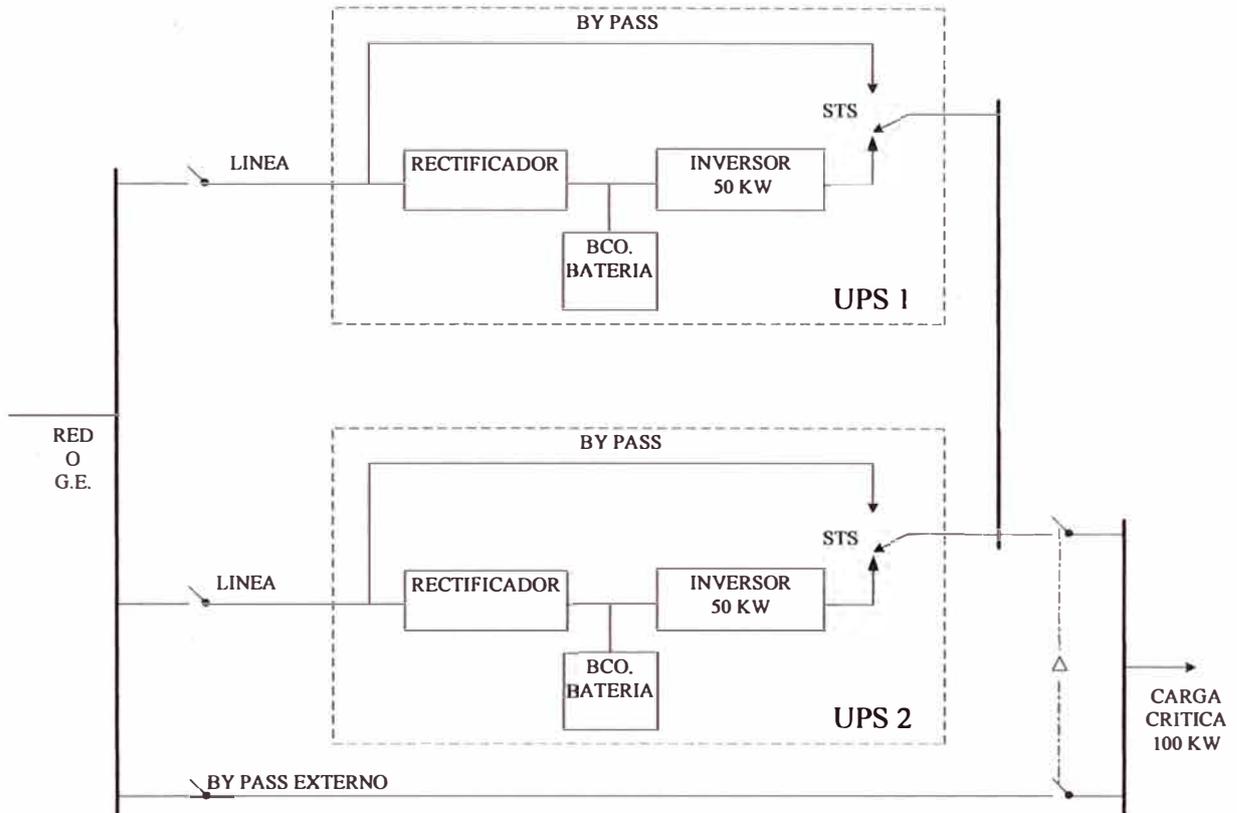


Fig. 2.7 Configuración en paralelo capacidad

### b) Paralelo redundante

Esta configuración se caracteriza por que los módulos UPS pueden soportar a la carga crítica de manera individual. El objetivo es brindar protección redundante, es decir, que ante la falla de cualquiera de los UPS, la carga pueda ser asumida íntegramente por el ó los otros. Para ello, los UPS deben cumplir con las condiciones de paralelismo, es decir, igualdad de potencias, tensiones, frecuencias y secuencia de fases para los módulos trifásicos.

En la fig. 2.8 se muestra esta configuración, en donde se aprecia que la línea de by pass externo tiene un dispositivo de enclavamiento mecánico para evitar que las tensiones estabilizada y de red comercial se encuentren en la barra de alimentación hacia la carga crítica. Cuando se tienen dos UPS en esta configuración, se le denomina “redundancia N+1”, si son tres UPS, se le denomina “redundancia N+2”, y así sucesivamente.

Por ejemplo, si la carga crítica es de 100 KW, se tienen dos UPS de al menos 100 KW cada uno en redundancia N+1, ó tres UPS de al menos 100 KW cada uno en redundancia N+2. Esta configuración tiene la ventaja que se puede sacar de servicio uno a uno los módulos

UPS para fines de mantenimiento sin que la carga quede desprotegida. Si en el peor de los casos, todos los UPS salen de servicio, el sistema cuenta con una línea de By Pass externo, para alimentar a la carga con energía de la red comercial.

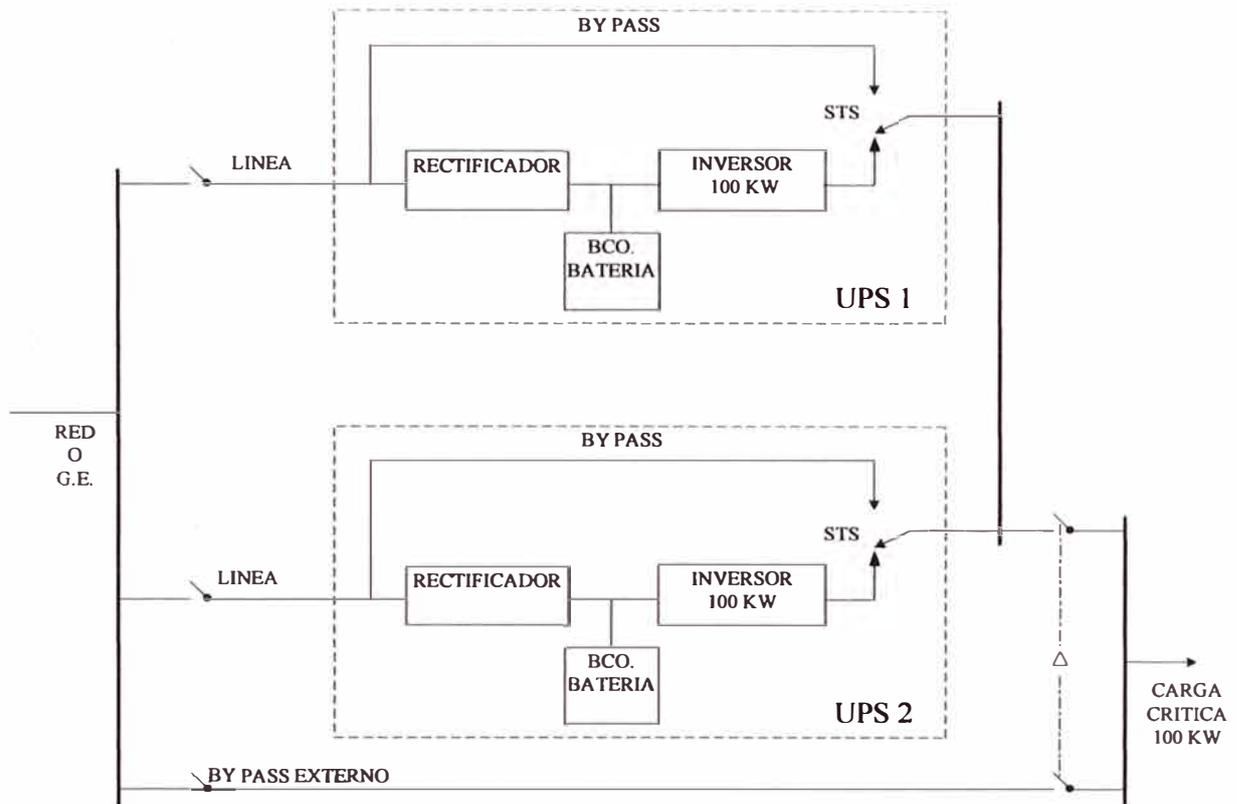


Fig. 2.8 Configuración en Paralelo Redundante N+1

Una particularidad es que cada uno de los UPS conectados en paralelo opera a un porcentaje menor de su potencia nominal. Esto se traduce en que cada UPS va al menos a duplicar su autonomía de baterías por lo que en caso de un corte de energía de la red comercial, el tiempo de autonomía va a aumentar considerablemente. A medida que se van conectando más módulos UPS en paralelo, el porcentaje de carga de éstos va disminuyendo. Por ejemplo, dos UPS en paralelo operarán aproximadamente al 50% de su potencia nominal, tres UPS en paralelo operarán aproximadamente al 33.33% de su potencia nominal, cuatro UPS operarán aproximadamente al 25% de su potencia nominal, etc., con una diferencia del 15% en la repartición de la carga. Esto tiene el inconveniente que la eficiencia de cada UPS va a disminuir con la consiguiente elevación de los costos de operación del sistema.

#### 2.4.3 Configuración redundante distribuida

Es una configuración más compleja ya que involucra el uso de Interruptores Estáticos de transferencia externos. Se emplea cuando la carga crítica es generalmente de doble fuente en

su arquitectura de tal manera que puede ser alimentada por dos UPS a la vez, aunque también pueden existir cargas de una sola fuente. Esta configuración es por lo tanto más costosa que una configuración en cascada o en paralelo redundante. En la fig. 2.9 se muestra una configuración de este tipo.

En la fig. 2.9, STS 1, STS 2 y STS 3 son interruptores estáticos de transferencia exteriores a través de los cuales se van a alimentar las cargas críticas. Los interruptores de transferencia tienen tres juegos de borneras de conexión: dos de entrada y uno de salida, y la alimentación puede ser seleccionada de cualquiera de las dos entradas, no de ambas a la vez por que son independientes y excluyentes entre sí. Los trazos continuos son los alimentadores en línea y los trazos discontinuos son los alimentadores en stand by. Se aprecian cargas de fuente simple y de fuente doble que son alimentadas por tres UPS y que además están como respaldo en caso alguno de ellos salga de servicio.

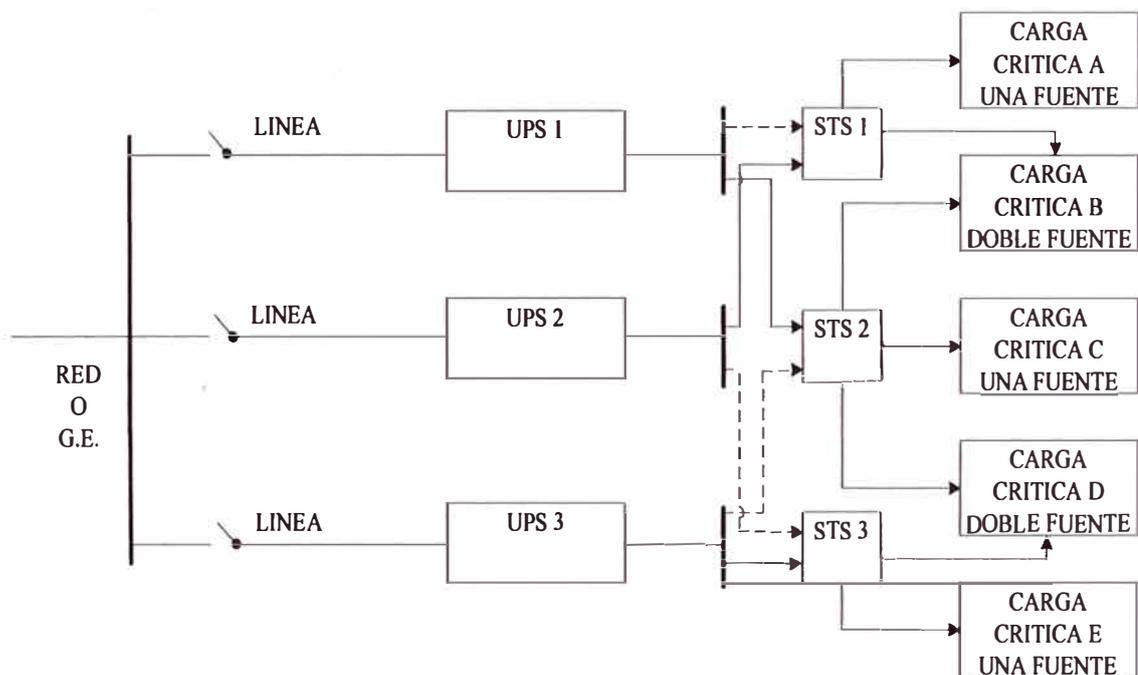


Fig. 2.9 Configuración Redundante Distribuida

Esta función se realizará coordinando los STS para que realicen la transferencia ó las conmutaciones que sean necesarias para que el sistema continúe operando y la carga crítica permanezca protegida. Por ejemplo, si el UPS 1 presenta una falla en su salida, el STS 2 conmuta de su línea principal a la línea de back up que es alimentada por el UPS 3, para continuar energizando a las cargas B, C y D. como los UPS 1 y UPS 3 están operando normalmente, las líneas principales de los STS 1 y STS 3 continúan energizando a las

cargas A, B y D, E respectivamente.

También se aprecia que las cargas de una sola fuente pueden ser alimentadas a través de un STS y las cargas de doble fuente necesitan ser alimentadas a través de dos STS. Este sistema tiene una gran ventaja que es que se puede realizar el mantenimiento preventivo de los UPS de manera segura sin apagar la carga crítica. Su desventaja es que depende del correcto funcionamiento y sincronización de los STS, además que los UPS van a operar a menor potencia de su nominal lo que hace que baje su eficiencia, y su complejidad que encarece la instalación.

Un caso particular es cuando solamente existen cargas de doble fuente, en este caso el sistema puede emplear solamente dos UPS, se eliminaría el uso de STS y las cargas se alimentarían directamente desde las salidas de los UPS, lo cual hace que el sistema sea más simple y menos costoso.

#### 2.4.4 Configuración redundante sistema más sistema

Existen muchas otras configuraciones una más compleja que otra, por ejemplo, cuando uno ó varios UPS en paralelo, se alimentan desde suministros diferentes. Este sistema es conocido como “sistema más sistema”, y se muestra en la fig. 2.10.

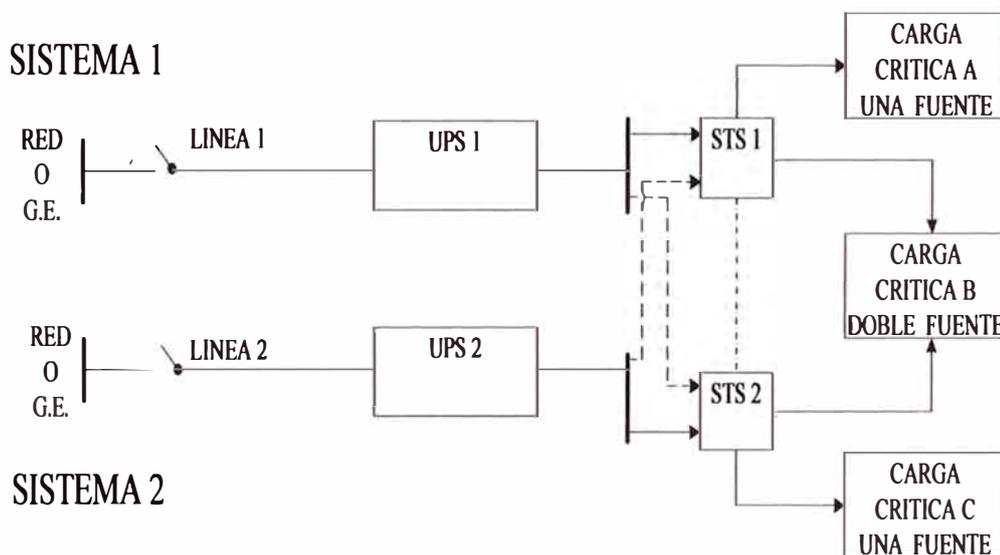


Fig. 2.10 Configuración Sistema más Sistema

En esta fig. 2.10 se muestran dos redes diferentes Red 1 y Red 2, que pueden ser alimentados tanto por su propio suministro ó por su grupo generador propio. Los sistemas 1 y 2 pueden constar de uno ó más UPS en paralelo redundante, lo que implica la utilización de más STS, cuya sincronización se realiza de tal manera que en ningún momento los UPS queden sin alimentación, sea desde cualquiera de los dos suministros ó grupos electrógenos

para asegurar la continuidad del servicio eléctrico, proporcionando alto grado de seguridad. Se emplea cuando las cargas son mayormente de doble fuente. El mantenimiento de cada unidad UPS puede realizarse sin interrupción ó parada de la carga crítica.

En este capítulo se ha detallado el principio de funcionamiento de los UPS, los elementos que componen un sistema ininterrumpido de energía, y las configuraciones básicas más empleadas y aplicables. Sistemas más complejos no resultan prácticos y hasta cierto punto inviables, ya que implican una inversión muy alta.

## CAPÍTULO III

### DISTORSIÓN ARMÓNICA Y CUMPLIMIENTO DE LAS RECOMENDACIONES IEEE 519

#### 3.1 Introducción a la norma IEEE estándar 519 – 1992

Como ya se ha indicado, la calidad de la energía eléctrica está determinada por las siguientes condiciones:

- i) La continuidad del suministro eléctrico.
- ii) Estabilidad de la tensión generada.
- iii) Estabilidad de la frecuencia.
- iv) Forma de onda sinusoidal pura de la tensión generada.

Las perturbaciones tanto transitorias como permanentes ocasionadas en el suministro de energía afectan la calidad de estas variables. Dentro de las perturbaciones más significativas, la distorsión armónica tiene una gran incidencia ya que afecta a la forma de la onda de tensión mediante la inyección de corrientes de frecuencias diferentes de la fundamental, dando como resultado que aquella se deforme.

A fin de poder establecer las condiciones mínimas en las que un sistema eléctrico puede operar sin problemas, se ha establecido la norma IEEE estándar 519, 1992 que sugiere los niveles de distorsión permitidos para la tensión del suministro y la corriente de carga, ya que la calidad de la tensión es responsabilidad de la empresa concesionaria distribuidora y la calidad de la corriente que se inyecta a la red es responsabilidad del usuario.

#### 3.2 Definición de parámetros

Cualquier función periódica puede expresarse de la siguiente manera [9]:

$$f(t) = a_0 + \sum_{h=1}^{\infty} \left( a_h \cos \frac{2h\pi t}{T} + b_h \sen \frac{2h\pi t}{T} \right) \quad (3.1)$$

Donde:

$a_0$  = valor promedio de la función  $F(t)$ .

$a_h, b_h$  = componentes rectangulares del armónico  $h$

$a_n + jb_n = A_n / \varnothing_n$  es el vector correspondiente al armónico  $h$

$$A_h = \sqrt{a_h^2 + b_h^2}$$

$$\varnothing_h = \tan^{-1} \left( \frac{b_h}{a_h} \right)$$

Esta expresión puede ser simplificada de esta otra manera:

$$f(t) = c_0 + \sum_{h=1}^{\infty} c_k \sin(h\omega_0 t + \varphi_h) \quad (3.2)$$

Donde:

$c_0$  = Componente DC la cual es cero en sistemas de distribución.

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

$h$  = orden del armónico

$\varphi_h$  = fase del componente armónico de orden  $h$

Para el caso de tensiones y corrientes cuyas ondas se encuentran afectadas por componentes armónicas, sus expresiones son:

$$v(t) = \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} V_h \sin(h\omega_0 t + \theta_h) \quad (3.3)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} I_h \sin(h\omega_0 t + \delta_h) \quad (3.4)$$

Y sus valores eficaces ó rms:

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2} \quad (3.5)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \quad (3.6)$$

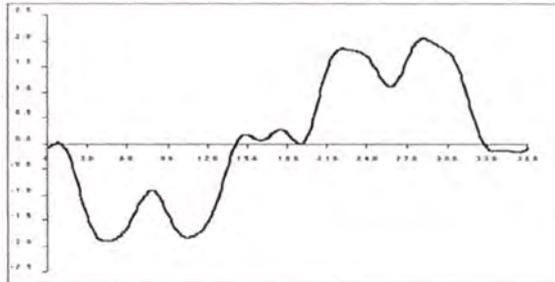
Donde:

$V_h$  = Tensión instantánea con armónico de orden  $h$

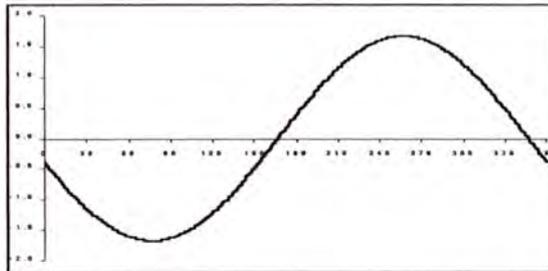
$I_h$  = Corriente instantánea con armónico de orden  $h$

Las armónicas más significativas son las de menor orden debido a su mayor amplitud, en tanto que las armónicas de orden 23 en adelante son despreciables [4].

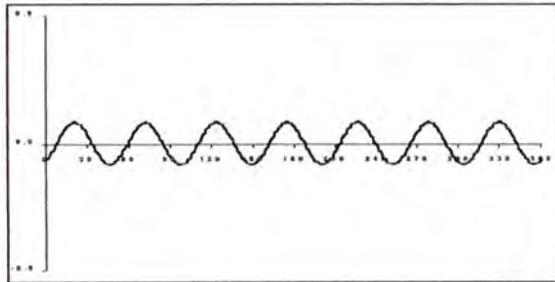
En la fig. 3.1 se muestra (a) una onda distorsionada, (b) la componente fundamental, (c) su componente armónico de 7<sup>o</sup> orden y (d) su componente armónico de 11<sup>o</sup> orden [7].



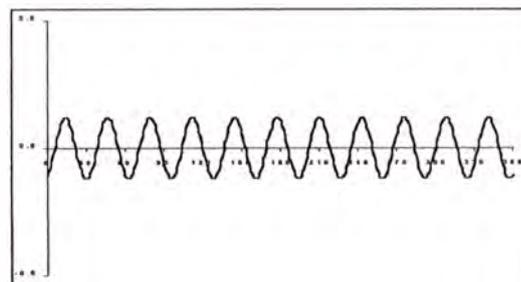
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 3.1 Gráfica de: (a) una onda distorsionada, (b) componente fundamental, (c) 7<sup>o</sup> armónico y (d) 11<sup>o</sup> armónico

### 3.3 Descripción de la norma IEEE estándar 519 – 1992

La norma IEEE estándar 519, 1992 [10] es una revisión de la primera presentación del año 1981. En esta norma se dan guías para diseñar sistemas eléctricos con contenido de cargas no lineales, se describen las formas de onda de tensión y corriente que pueden existir en estos sistemas y se recomiendan los niveles de distorsión permitidos en régimen permanente por el funcionamiento de los equipos convertidores estáticos. En condiciones de régimen transitorio las limitaciones establecidas en la norma pueden ser excedidas. Estos niveles máximos de distorsión de las ondas de tensión y corriente deben ser medidas en un punto intermedio accesible tanto para el concesionario del servicio eléctrico como para el usuario, definido como Punto de Acoplamiento Común (PCC).

En este punto tanto el distribuidor como el usuario ó consumidor pueden tener acceso para realizar mediciones directas de los índices armónicos. Esto, debido a que la interacción de diversas cargas puede ocasionar que se anulen ciertos armónicos y que se obtengan valores dentro de los límites establecidos. Para el caso de plantas industriales, el punto de acoplamiento común esta fijado como el punto entre la carga no lineal y las otras cargas. En la fig. 3.2 se muestra el PCC para un sistema en el cual la carga no lineal se representa como una fuente de corriente.

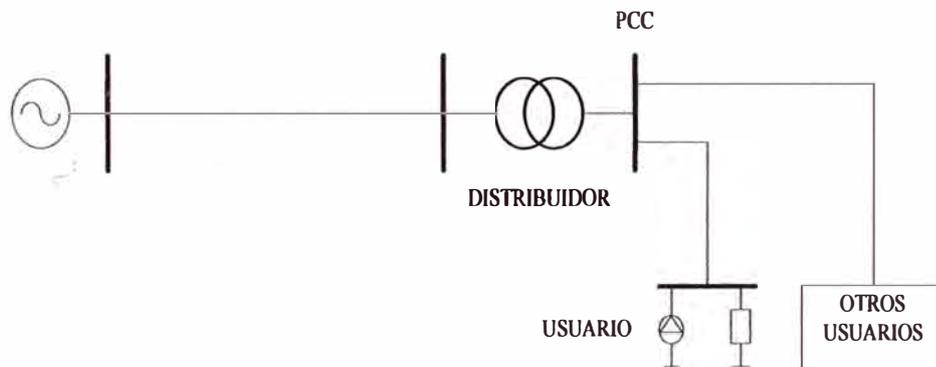


Fig. 3.2 Punto de acoplamiento común (PCC)

### 3.4 Índices de distorsión armónica

Son índices que se utilizan para determinar el grado de distorsión de las ondas de tensión ó corriente presentes en el sistema eléctrico. Los más usuales son:

#### 3.4.1 Distorsión armónica total

La distorsión armónica total (THD) se define como la relación entre el contenido de armónicos de la onda con respecto a la fundamental, expresado en porcentaje.

Que en el caso de la tensión se expresa como:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100 \% \quad (3.7)$$

Donde:

$THD_V$  = Distorsión armónica total de tensión

$h$  = Orden del armónico de tensión

$V_1$  = Componente fundamental de la onda de tensión

Y para el caso de la corriente:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100 \% \quad (3.8)$$

Donde:

$THD_I$  = Distorsión armónica total de corriente

$h$  = Orden del armónico de corriente

$I_1$  = Componente fundamental de la onda de corriente

En el caso de una onda sinusoidal pura, es decir, sin presencia de componentes armónicas, el valor del THD es cero.

### 3.4.2 Distorsión de demanda total

La distorsión de demanda total (TDD) se define como la relación de la corriente armónica con respecto a la máxima demanda de corriente de carga.

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100 \% \quad (3.9)$$

Donde:

$TDD$  = Distorsión de demanda total

$I_h$  = Magnitud de la componente armónica individual

$h$  = Orden del armónico

$I_L$  = Demanda máxima de la componente fundamental de la corriente de carga.

La máxima corriente de carga se calcula en el punto de acoplamiento común y ésta es la

corriente promedio mensual de las máximas demandas de corriente para un periodo de los últimos 12 meses. En caso no se disponga de esta información, su valor puede ser estimado.

### 3.4.3 Factor de influencia telefónica

Abreviado como TIF, es un factor que evalúa el nivel de interferencia ocasionada en los sistemas de telefonía, por emisión de ondas de diferentes frecuencias. Es una magnitud adimensional que se define por la siguiente expresión:

$$TIF = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} [X_h w_h]^2}}{X_t} \quad (3.10)$$

Donde:

$X_t$  = valor rms total de la onda.

$X_h$  = valor medido de las componentes incluidas la fundamental y las componentes armónicas.

$w_h$  = factor de ponderación de audio a la frecuencia  $h$ .

Para la tensión se tiene:

$$TIF_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} [V_h w_h]^2}}{V_{rms}} \quad (3.11)$$

Y para la corriente:

$$TIF_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} [I_h w_h]^2}}{I_{rms}} \quad (3.12)$$

En la práctica la interferencia telefónica puede expresarse de la siguiente manera:

$$TIF_V \times V_{rms} = V \times T \quad (3.13)$$

$$TIF_I \times I_{rms} = I \times T \quad (3.14)$$

Donde:

$V_{rms}$  = Tensión rms total de la onda en kV

$I_{rms}$  = Corriente rms total de la onda en amperios

T = TIF

La norma IEEE estándar 519 - 1992 presenta los valores estimados del TIF, los que se muestran en la tabla N° 3.1

Tabla N° 3.1 Valores del TIF según IEEE estándar 519 – 1992

| Frec. | TIF  | Frec. | TIF  | Frec. | TIF   | Frec. | TIF  |
|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| 60    | 0.5  | 1020  | 5100 | 1860  | 7820  | 3000  | 9670 |
| 180   | 30   | 1080  | 5400 | 1980  | 8330  | 3180  | 8740 |
| 300   | 225  | 1140  | 5630 | 2100  | 8830  | 3300  | 8090 |
| 360   | 400  | 1260  | 6050 | 2160  | 9080  | 3640  | 6730 |
| 420   | 650  | 1380  | 6370 | 2220  | 9330  | 3660  | 6130 |
| 540   | 1320 | 1440  | 6560 | 2340  | 9840  | 3900  | 4400 |
| 660   | 2260 | 1500  | 6680 | 2460  | 10340 | 4020  | 3700 |
| 720   | 2760 | 1620  | 6970 | 2580  | 10600 | 4260  | 2750 |
| 780   | 3360 | 1740  | 7320 | 2820  | 10210 | 4380  | 2190 |
| 900   | 4350 | 1800  | 7570 | 2940  | 9820  | 5000  | 840  |
| 1000  | 5000 |       |      |       |       |       |      |

### 3.4.4 Factor K

Es otro índice que se emplea para estimar las pérdidas eléctricas en los transformadores por efecto del flujo armónico y se expresa como la relación entre:

$$\text{Factor } K = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} (hI_h)^2}{\sum_{h=1}^{\infty} (I_h)^2} \quad (3.15)$$

Donde:

$I_h$  = Contenido armónico individual

$h$  = Orden del armónico

y la corriente:

$$I_{total_{rms}} = \sqrt{(I_{h_1})^2 + (I_{h_2})^2 + (I_{h_3})^2 + \dots + (I_{h_n})^2} \quad (3.16)$$

La expresión (3.15) puede escribirse como:

$$\text{Factor } K = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} (I_h)^2}{I_{total_{rms}}^2} h^2 \quad (3.17)$$

El factor K tiene valores estandarizados por las normas UL 1561 y 1562, de acuerdo al tipo de carga que va a soportar, los cuales son: K – 4, k – 9, K – 13, K – 20, K – 30, K – 40 y K - 50. En la tabla N° 3.2 se muestran algunos valores típicos para cada tipo de carga [11].

Tabla N° 3.2 Valores característicos del Factor K en transformadores

| Carga                                    | Factor K |
|--|----------|
| Iluminación por descarga eléctrica       | K – 4    |
| UPS con filtrado de entrada opcional     | K – 4    |
| Equipo de calefacción por inducción      | K – 4    |
| Máquina de soldar                        | K – 4    |
| Equipos de comunicaciones                | K – 13   |
| UPS sin filtrado de entrada opcional     | K – 13   |
| Cargas de computadoras                   | K – 20   |
| Variadores de velocidad de estado sólido | K – 20   |

De acuerdo a las recomendaciones de ANSI/IEEE C 57.110 – 1986, los valores de “K” se calculan [12]:

- i) K – 1, estimado de cualquier transformador convencional, diseñado para soportar los efectos térmicos ocasionados por las corrientes de Eddy y otras pérdidas que resulten de una corriente de carga sinusoidal a 60 Hz. El transformador puede ó no estar diseñado para soportar el calentamiento ocasionado por corrientes armónicas.
- ii) K – 4, estimado para el diseño de un transformador que proporcione su potencia nominal sin sobrecalentarse, debido a una corriente de carga sinusoidal de 100% a 60 Hz., más el 16 % de la fundamental como 3° armónica, 10 % de la fundamental como 5° armónica, 7 % de la fundamental como 7° armónica, 5.5 % de la fundamental como 9° armónica y pequeños porcentajes hasta el 25° armónico. El valor “4” indica la capacidad de soportar 4 veces las pérdidas de Eddy de un transformador de factor K – 1.
- iii) K – 9, estimado para soportar el 165 % de las corrientes armónicas que soporta un transformador de factor K – 4.
- iv) K – 13, estimado para soportar el 200 % de las corrientes armónicas que soporta un transformador de factor K – 4.
- v) Los transformadores de factor K – 20, K – 30, K – 40 y K – 50 pueden manejar grandes cantidades de corrientes armónicas sin sobrecalentarse.

### 3.5 Niveles de distorsión recomendados por IEEE estándar 519 – 1992

La norma pone límites para los niveles de tensión suministrada por la empresa distribuidora y para la corriente de carga que el consumidor inyecta a la red a fin de minimizar y eventualmente anular los efectos dañinos de los armónicos en el sistema eléctrico. Para ello, recomienda los índices siguientes:

#### 3.5.1 Límites de distorsión de tensión

Establece límites máximos recomendados para la distorsión de la tensión medida en el punto de acoplamiento común (PCC). Estos niveles se muestran en la tabla N° 3.3.

Tabla N° 3.3 Límites de distorsión de tensión (%)

| Barra de Tensión en el PCC                     | Distorsión Individual de Tensión (%) | Distorsión Armónica Total de Tensión THD (%) |
|--|--------------------------------------|--|
| $V \leq 69 \text{ KV}$                         | 3.0                                  | 5.0  |
| $69.001 \text{ KV} \leq V \leq 161 \text{ KV}$ | 1.5                                  | 2.5  |
| $V > 161.001 \text{ KV}$                       | 1.0                                  | 1.5  |

Los porcentajes indicados en esta tabla están especificados para diferentes niveles de tensión y en condiciones de operación normal durante un tiempo mayor a una hora. Para tiempos menores ó en condiciones de operación instantánea estos límites pueden ser excedidos en hasta un 50% sin problemas.

Se observa que cuanto mayor es el nivel de tensión, el índice de THD es menor.

#### 3.5.2 Límites de distorsión de corriente

Se establecen límites máximos permitidos para la distorsión de la corriente inyectada a la red por el consumidor y para diferentes de tensión. La tabla 3.4 muestra los valores límites para tensiones entre 120 V y 69 KV. La tabla 3.5 entre más de 69 KV y 161 KV, y la tabla 3.6 para tensiones mayores de 161KV. Estos límites de corriente se basan en la relación del tamaño de la carga con respecto al tamaño del sistema al cual está conectado. El tamaño de la carga la define la corriente de carga total a la frecuencia fundamental y el tamaño del sistema se establece a partir de la relación de corto circuito en el punto de acoplamiento común y definido como la relación entre la potencia de cortocircuito en MVA y la potencia de la carga en MW ó lo que es lo mismo:

$$\text{SCR} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (3.18)$$

Tabla 3.4 Límites de distorsión de corriente para sistemas de distribución (%)

| Límites de distorsión de Corriente para Sistemas de Distribución General<br>(120 V hasta 69 KV) |      |                  |                  |                  |             |      |
|---|------|------------------|------------------|------------------|-------------|------|
| Máxima Distorsión de Corriente Armónica En Porcentaje de $I_L$                                  |      |                  |                  |                  |             |      |
| Orden de Armónicos Individuales   |      |                  |                  |                  |             |      |
| $I_{sc}/I_L$  | < 11 | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h$ | TDD  |
| < 20*   | 4.0  | 2.0              | 1.5              | 0.6              | 0.3         | 5.0  |
| 20<50   | 7.0  | 3.5              | 2.5              | 1.0              | 0.5         | 8.0  |
| 50<100  | 10.0 | 4.5              | 4.0              | 1.5              | 0.7         | 12.0 |
| 100<1000  | 12.0 | 5.5              | 5.0              | 2.0              | 1.0         | 15.0 |
| > 1000  | 15.0 | 7.0              | 6.0              | 2.5              | 1.4         | 20.0 |

Tabla 3.5 Límites de distorsión de corriente para sistemas de subtransmisión (%)

| Límites de distorsión de Corriente para Sistemas de Subtransmisión General<br>(69.001 KV hasta 161 KV) |      |                  |                  |                  |             |      |
|--|------|------------------|------------------|------------------|-------------|------|
| Máxima Distorsión de Corriente Armónica En Porcentaje de $I_L$   |      |                  |                  |                  |             |      |
| Orden de Armónicos Individuales  |      |                  |                  |                  |             |      |
| $I_{sc}/I_L$   | < 11 | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h$ | TDD  |
| < 20*  | 2.0  | 1.0              | 0.75             | 0.3              | 0.15        | 2.5  |
| 20<50  | 3.5  | 1.75             | 1.25             | 0.5              | 0.25        | 4.0  |
| 50<100   | 5.0  | 2.25             | 2.0              | 0.75             | 0.35        | 6.0  |
| 100<1000   | 6.0  | 2.75             | 2.5              | 1.0              | 0.5         | 7.5  |
| > 1000   | 7.5  | 3.5              | 3.0              | 1.25             | 0.7         | 10.0 |

Tabla 3.6 Límites de distorsión de corriente para sistemas de transmisión (%)

| Límites de distorsión de Corriente para Sistemas de Transmisión General (> 161KV),<br>Generación Dispersada y Cogeneración |      |                  |                  |                  |             |      |
|--|------|------------------|------------------|------------------|-------------|------|
| Máxima Distorsión de Corriente Armónica En Porcentaje de $I_L$   |      |                  |                  |                  |             |      |
| Orden de Armónicos Individuales  |      |                  |                  |                  |             |      |
| $I_{sc}/I_L$   | < 11 | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h$ | TDD  |
| < 50   | 2.0  | 1.0              | 0.75             | 0.3              | 0.15        | 2.5  |
| $\geq 50$  | 3.0  | 1.5              | 1.15             | 0.45             | 0.22        | 3.75 |

Donde:

$I_{SC}$  = máxima corriente de cortocircuito en el punto de acoplamiento común

$I_L$  = máxima corriente de demanda de carga a la frecuencia fundamental, en el punto de acoplamiento común y calculado para un periodo de los últimos 12 meses.

Los límites indicados en las tablas 3.4, 3.5 y 3.6 están establecidos para condiciones de operación normal, durante un periodo de tiempo mayor de una hora. Para tiempos menores ó condiciones instantáneas se pueden exceder estos límites.

\* Todo el equipamiento de generación de energía está limitado a estos valores de distorsión de corriente sin importar la relación  $I_{SC}/I_L$ .

- Los armónicos pares están limitados al 25% de los valores indicados.
- No están permitidas distorsiones de corriente que resulten de compensadores DC.
- En el caso que se utilicen transformadores de fase cambiada ó convertidores con número de pulsos “q” mayor que 6, los límites para los órdenes armónicos se incrementan en un factor:

$$\sqrt{\frac{q}{6}}$$

A medida que el tamaño de la carga del usuario sea menor comparativamente con el tamaño de la carga del sistema, la relación  $I_{SC}/I_L$  disminuye, por lo tanto el porcentaje de corrientes armónicas que el usuario está permitido inyectar al sistema es mayor.

### **3.6 Evaluación de la distorsión armónica en los UPS**

Una de las formas empleadas para corregir los armónicos que circulan por la red es la instalación de UPS. Como se ha visto, por el modo de funcionamiento, los UPS tienen tres topologías ó tecnologías de fabricación principales:

- i) Stand by.
- ii) Interactivo
- iii) On line, doble conversión.

Según el modo de funcionamiento, cada una de estas topologías tiene una respuesta diferente ante los armónicos los cuales se describen:

#### **3.6.1 Evaluación en modo de operación normal**

En operación Normal, los UPS Stand By y los Interactivos operan con el inversor en estado de espera, y la carga crítica se alimenta con la energía que fluye directamente desde el suministro a través de la línea de By Pass. Debido a esto, los armónicos generados en la entrada del UPS se reflejan en su salida, y pasarán hacia la carga crítica. Para el caso de los

UPS On line, doble conversión, el inversor está permanentemente activado, filtrando y estabilizando la señal eléctrica que ingresa al sistema, por lo tanto está corrigiendo permanentemente la tensión y frecuencia a la entrada y los armónicos generados, de tal manera que a la salida del UPS se tiene un THD menor que en la entrada. Estas situaciones se muestran en la figura 3.2 en la cual se aprecia cada topología de UPS ante un THD determinado a la entrada, por ejemplo 10%, y su respuesta a la salida del mismo [13].

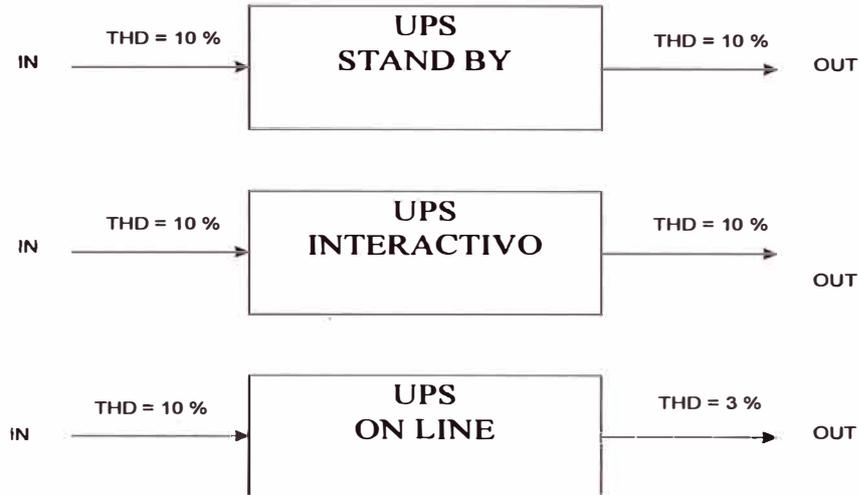


Fig. 3.2 Distorsión armónica en cada topología de UPS en modo Normal

Se observa que el UPS On line es que mejor protege a la carga crítica ante los armónicos disminuyéndolos hasta un 3%, que es un valor típico de corrección.

### 3.6.2 Evaluación en modo de operación by pass

En esta situación, las tres topologías se comportan de manera similar. Al estar alimentando a la carga crítica a través de la línea de By Pass, los armónicos generados en la entrada del UPS serán reflejados en su salida, por lo que la carga crítica recibirá éstas, como se aprecia en la figura 3.3.

### 3.6.3 Evaluación en modo de operación baterías

En este caso, las tres topologías están operando con el inversor activado y alimentando a la carga crítica, por lo tanto el UPS está corrigiendo los armónicos que se generan en la entrada y entrega a la salida un THD menor, tal como se aprecia en la figura 3.4.

## 3.7 Cumplimiento de la norma IEEE estándar 519 – 1992

Los UPS son equipos cuya finalidad es proteger a cargas críticas que operan en 220, 380 ó 440 Voltios. Su ámbito está circunscrito al nivel de baja tensión, por lo que se aplican los valores indicados para límites de distorsión de tensión para baja tensión de la tabla N° 3.3,

siendo el nivel máximo permitido de  $THD_v = 5\%$ .

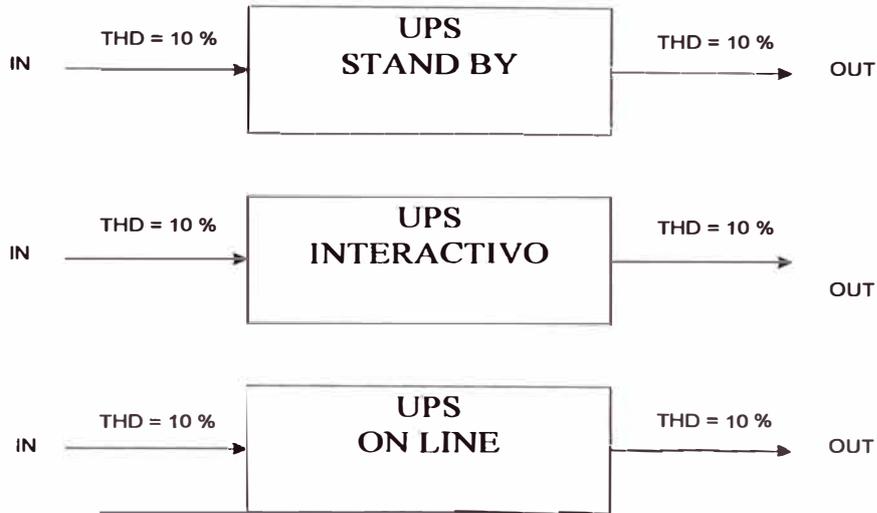


Fig. 3.3 Distorsión Armónica en cada topología de UPS en modo By Pass

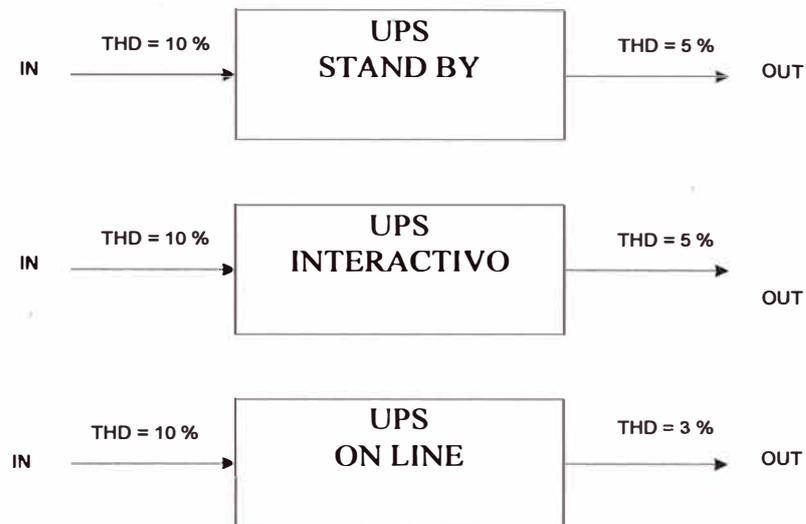


Fig. 3.4 Distorsión Armónica en cada topología de UPS en modo Baterías

Normalmente la corriente de cortocircuito es mucho mayor que la corriente de carga, por lo que el índice TDD va a depender del tamaño del sistema alimentado por el UPS. En este caso el índice más apropiado para límites de distorsión de corriente es el indicado en la tabla N° 3.4, o sea  $TDD_I = 8\%$ .

Para verificar el cumplimiento de la norma, comparamos el valor de  $THD$  con los valores indicados para un equipo UPS on line, doble conversión, marca Liebert, modelo NX, tomados de las especificaciones técnicas del catálogo de productos los cuales se muestran en

la tabla N° 3.7.

Tabla 3.7 Comparación de índices de distorsión armónica de tensión y corriente en el UPS Liebert modelo NX

|         | Índices UPS Liebert modelo NX<br>30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 y 200 KVA<br>( % )  |
|---------|---|
| $THD_V$ | <p>⌈ 1 para carga lineal</p> <p>⌈ 3.5 para carga no lineal a 380 V</p> <p>⌈ 4.0 para carga no lineal a 400 V</p> <p>⌈ 4.5 para carga no lineal a 415 V</p>            |
| $THD_I$ | <p>3.5 para 140 KVA</p> <p>3 para las demás potencias</p> <p>( para condiciones de carga balanceada y <math>THD_V</math><br/>a la entrada <math>\leq 2\%</math> )</p> |

Los índices del UPS mostrados son menores que los recomendados por la norma.

## **CAPÍTULO IV**

### **APLICACIÓN DE UN SISTEMA ININTERRUMPIDO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

#### **4.1 Memoria descriptiva**

##### **4.1.1 Generalidades**

Se presenta un proyecto de instalación de un sistema de UPS para la ampliación del Data Center de una cadena de Supermercados, en el Departamento de Lima.

##### **4.1.2 Antecedentes**

El Data center es alimentado por un UPS de 30 kVA el cual tiene un transformador de aislamiento de 40 KVA instalado a la entrada. Se ha considerado incrementar la carga del mismo, por lo que se ha previsto instalar un sistema de dos UPS de 60 kVA.

Las cargas críticas son equipos de doble fuente de alimentación, es decir, que ambos UPS alimentarán a la carga crítica de manera simultánea. Una de las fuentes puede ser seleccionada como principal y la otra como secundaria, de tal manera que la carga será compartida entre ambos UPS.

##### **4.1.3 Alcances**

Comprende la instalación en baja tensión 220 / 380 V y 60 Hz., de un sistema de dos UPS en configuración Redundante, de acuerdo a los siguientes requerimientos:

- i) Cada UPS alimentará a un tablero de distribución.
- ii) Se cuenta con un punto de entrega de energía común para ambos UPS en 220 V, 60 Hz.
- iii) Todo el equipamiento del sistema como son los dos UPS, dos bancos de baterías y dos transformadores de aislamiento estarán ubicados en una caseta de fuerza en la azotea del edificio. Para soportar el peso, la base de esta caseta será reforzada con estructuras de fierro. La sala además cuenta con un equipo de aire acondicionado de confort, para mantener la temperatura de la sala entre 20°C y 24°C, que es la temperatura de operación de los UPS. Si se sobrepasa este valor, los UPS apagan su inversor y conmutan su switch estático hacia la línea de by pass estático.

##### **4.1.4 Descripción del proyecto**

Se construirá una caseta de fuerza, en la azotea sobre el 5to. Piso del edificio, con material

de dry wall y cuyo piso será reforzado con una plataforma de fierro y en donde se instalarán los siguientes equipos:

i) 02 UPS, cada uno de las siguientes características:

Potencia: 60 kVA

Fases: trifásico

Tensión: 380 / 380 V

Frecuencia: 60 Hz.

ii) 02 tableros de control entrada - salida manual, uno para cada UPS, provisto con interruptores termomagnéticos de caja moldeada.

iii) 01 interruptor de transferencia automática exterior, de 3x 250 A

iv) 02 tableros de distribución de cargas críticas, uno para cada UPS, en 380 / 220 V, provistos con interruptores termomagnéticos, ubicados en la sala del Data Center, en el 2do. Piso, a 35 m. de distancia de la sala de fuerza.

v) Una malla de puesta a tierra, que consiste de 03 pozos de tierra dispuestos verticalmente y enlazados entre sí, ubicados en el sótano del edificio.

vi) La carga crítica del Data Center, considerando los equipos actuales y el equipamiento futuro consiste de 15 racks ó módulos para equipos de comunicaciones, con una potencia de 4 kW cada uno.

vii) Se emplearán 02 UPS de potencia normalizada de 60 kVA / 48 kW Por lo tanto, un solo UPS puede asumir la totalidad de la carga crítica sin problemas y el otro queda en stand by, para el caso de mantenimiento sin tener que apagar la carga.

viii) 02 transformadores de aislamiento, de potencia normalizada 100 kW / 125 kVA, en configuración Delta / Estrella a 220 / 380 V, 60 Hz., uno para cada UPS.

ix) 01 grupo electrógeno de potencia normalizada 72 kW, 220 V, 60 Hz. para alimentar la línea de emergencia para ambos UPS. Su ubicación es en la azotea sobre el 5to. piso del edificio dentro de una caseta a 20 m de distancia de la sala de fuerza.

#### **4.1.5 Cálculos eléctricos**

##### **a) Determinación de la máxima demanda requerida**

La potencia instalada actual del Data Center, y su futura ampliación se indican en el cuadro de cargas indicado en la tabla N° 4.1.

En esta tabla se determina la potencia requerida del Data Center el cual es estimado en 48 kW se selecciona un sistema de UPS de 48 kW.

Como el factor de potencia del UPS es 0,8 la potencia de cada UPS será de:

$$S = 48 / 0,8 = 60 \text{ kVA} \quad (4.1)$$

Tabla 4. 1 Cuadro de cargas

| Carga                | Potencia Instalada (kW) | Factor de Demanda $F_d$ | Factor de Simultaneidad $F_s$ | Máxima Demanda (kW) |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|
| 15 Racks de 4 kW c/u | 60                      | 0,8                     | 1.0                           | 48                  |
| Total                |                         |                         |                               | 48                  |

### b) Determinación del alimentador en 220 Voltios

El punto de entrega de tensión desde donde se realizará la instalación, está a 60 m de distancia.

Empleando:

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3} V_N} \quad (4.2)$$

Donde:

$I_N$  = corriente nominal

S = potencia del sistema, 60 kVA

$V_N$  = tensión nominal, 0,22 kV

Reemplazando valores:

$$I_N = \frac{60}{\sqrt{3} \times 0,22} = 157,46 \text{ A}$$

La corriente de diseño:

$$I_D = 1,25 I_N \quad (4.3)$$

Reemplazando valores:

$$I_D = 196,83 \text{ A}$$

Del catálogo de cables de energía de la marca Indeco, el conductor seleccionado será:

Tipo: NYY

Sección: 3 – 1x70 mm<sup>2</sup>

Capacidad de corriente en ducto: 222 A

Para el cálculo de la caída de tensión empleamos la fórmula:

$$\Delta V = K I_D \rho \frac{L}{S} \leq 2,5\% V_N \quad (4.4)$$

Donde:

$$K = \sqrt{3}$$

$$I_D = 196,83 \text{ A}$$

$$\rho = 0,0175$$

$$L = 60 \text{ m}$$

$$S = 70 \text{ mm}^2$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times 196,83 \times 0,0175 \times \frac{60}{70}$$

$$\Delta V = 5,11 < 5,5 \text{ V}$$

Por lo tanto el conductor seleccionado es: 3 – 1 x 70 mm<sup>2</sup> NYY

Selección del conductor de tierra:

Basándonos en el Código Nacional de Electricidad, Sistemas de Utilización, de la tabla N° 4.2: Sección mínima de conductores de tierra para sistemas de corriente alterna ó conductores de tierra múltiples [14].

El conductor de tierra seleccionado es del calibre 1x 35 mm<sup>2</sup> tipo TW

### c) Determinación del alimentador en 380 Voltios

Usamos la fórmula 4.2, donde:

$I_N$  = corriente nominal

S = potencia del sistema, 60 kVA

$V_N$  = tensión nominal, 0,38 kV

Reemplazando valores:

Tabla 4.2 Sección mínima de conductores de tierra para sistemas de corriente alterna ó conductores de tierra múltiples

| Capacidad de conducción del conductor de acometida de mayor sección ó el equivalente para conductores múltiples (A) | Sección del conductor de cobre de puesta a tierra ( $mm^2$ ) |
|---|--|
| 101 a 125   | 16   |
| 126 a 165   | 25   |
| 166 a 200   | 25   |
| 201 a 260   | 35   |
| 261 a 355   | 50   |
| 356 a 475   | 70   |
| Sobre 475   | 95   |

$$I_N = \frac{60}{\sqrt{3} \times 0,38} = 91,16 \text{ A}$$

Para la corriente de diseño usamos la ecuación (4.3), donde reemplazamos este valor de  $I_N$  resultando:

$$I_D = 113,95 \text{ A}$$

Del catálogo de cables de energía de la marca Indeco, el conductor seleccionado será:

Tipo: NYY

Sección: 3 – 1x25 $mm^2$

Capacidad de corriente en ducto: 132 A

Para el cálculo de caída de tensión empleamos la ecuación (4.4), donde:

$$K = \sqrt{3}$$

$$I_D = 113,95 \text{ A}$$

$$\rho = 0,0175$$

$$L = 35 \text{ m}$$

$$S = 25 \text{ mm}^2$$

$$\Delta V = \sqrt{3} \times 113,95 \times 0,0175 \times \frac{35}{25}$$

$$\Delta V = 4,83 \leq 9,5 \text{ V}$$

Por lo tanto el conductor seleccionado es: 3 – 1 x 25 mm<sup>2</sup> NYY

La selección del conductor Neutro se calcula para el caso más desfavorable:

$$I_N = \sqrt{3} I_F \quad (4.5)$$

Donde:

$I_N$  = corriente en el neutro

$I_F$  = corriente de fase = 91,16 A

Reemplazando valores obtenemos:

$$I_N = 157,89 \text{ A}$$

La corriente de diseño se calcula con la fórmula (4.3), de donde se obtiene:

$$I_D = 197,36 \text{ A}$$

Del catálogo de cables de energía de la marca Indeco, el conductor seleccionado será:

Tipo: NYY

Sección: 1 – 1x70 mm<sup>2</sup>

Capacidad de corriente en ducto: 222 A

La selección del conductor de tierra la hacemos basándonos en la tabla 4.1. El conductor de tierra seleccionado será:

$$1 \times 35 \text{ mm}^2 \text{ TW}$$

## 4.2 Especificaciones técnicas

### 4.2.1 Especificaciones técnicas de materiales y equipos

#### a) Conductores

Todos los conductores de alimentación a los equipos y tableros serán de cobre electrolítico de 99,9% de pureza, de temple blando, recocido, cableado, con aislamiento tipo NYY termoplástico de las siguientes características [15]:

Norma de Fabricación : NTP – IEC 60502 – 1

Tensión de servicio : 1 kV

Temperatura de Operación                      80°C

Los conductores para puesta a tierra serán del tipo TW, para operación a 80°C y de color amarillo, salvo para puesta a tierra de partes metálicas, soportes y bandejas porta cables las que serán con conductores de cobre desnudo cableado.

#### **b) Electroductos**

Serán de cloruro de polivinilo (PVC), de tipo rígido pesado según estándar, de 3 m. de longitud, con campana en uno de sus extremos, de diámetros adecuados para la cantidad y sección de los cables. Las curvas y conexiones a caja serán originales de fábrica. Los diámetros mínimos a utilizarse son de 40 mm Ø.

#### **c) Cajas**

Serán de fierro galvanizado del tipo pesado, cuadradas, para adosar, provistos con tapa del mismo material y fijados a ella con tornillos autorroscantes. Sus dimensiones mínimas serán 300 x 300 x 150 mm.

#### **d) Tableros de control y distribución**

Serán para uso interior del tipo para adosar, con grado de protección IP40, de frente muerto sin partes bajo tensión accesibles, diseñado para una tensión de servicio de 380 Voltios, comprendiendo un gabinete metálico fabricado en plancha de fierro LAF de 1,5mm de espesor, con acceso frontal mediante puerta del mismo material, con cerradura tipo push botton, mandil batiente con cerradura tipo mariposa, previsto para la entrada y salida de cables por la parte inferior y superior.

Serán sometidos a un acondicionamiento de limpieza profunda y protegida con pintura base anticorrosiva y acabado con pintura del tipo martillado secado al horno de color RAL 7032. Las barras de distribución son de cobre y serán colocadas sobre aisladores de resina y serán pintadas según lo indicado en la tabla 4.3.

Las dimensiones ancho x altura x fondo, de los tableros de control de UPS serán de las siguientes medidas: 800 x 600 x 200 mm, y los tableros de distribución serán de 1200 x 500 x 200 mm. Los tableros de distribución estarán provistos de un medidor multifunción, trifásico con panel 96 x 96 mm, para medición de: kW, kVAR, kVA, V, A, Hz, cos Ø, kWh, Máxima demanda,  $THD_V$ , y  $THD_I$ .

Además estarán provistos de interruptores termomagnéticos generales tipo caja moldeada y del tipo bolt on para riel DIN en el caso de los circuitos derivados lo que le da mayor seguridad en el contacto a la barra y dispondrán de espacios de reserva suficientes para futuras ampliaciones.

Tabla 4.3 Colores de barras de los tableros de distribución

|        |                |
|--------|----------------|
| Fase R | Color Rojo     |
| Fase S | Color Negro    |
| Fase T | Color Azul     |
| Neutro | Color Blanco   |
| Tierra | Color Amarillo |

### e) Interruptores

Los tableros de control de UPS y de distribución dispondrán de interruptores con protección termomagnética contenidos en caja moldeada de material aislante, con medios de apertura y cierre en aire de alta velocidad, para una tensión de servicio de 380 Voltios. Serán de operación manual por medio de palanca, la que llevará claramente marcada las posiciones de conectado (ON) y desconectado (OFF).

Las características de disparo serán de tiempo inverso, las que se obtendrán con un elemento bimetálico y un elemento magnético. El mecanismo de disparo será del tipo común, de manera que una sobrecarga en uno de sus polos hará abrir a los otros polos y será de disparo libre, es decir aún cuando la palanca esté en la posición de conectado (ON).

Vendrán provistos de terminales de tornillo, con contactos de presión para conectarse a los conductores.

### f) Bandejas portacables

Serán del tipo malla, de acero galvanizado en zinc resistente a la corrosión según norma ASTM B6 con adherencia según ASTM A123, de 400 x 100 mm de sección.

### g) UPS

Los UPS tendrán las siguientes características [16]:

#### i) Entrada (By Pass):

|                         |                                   |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Potencia nominal        | : 60 kVA                          |
| Tensión de entrada      | : 380 V, +15 %, -20 % por defecto |
| Frecuencia de entrada   | : 60 Hz, +/- 10% por defecto      |
| Corriente de entrada    | : 91 A                            |
| Fases                   | : trifásico más neutro            |
| Capacidad de sobrecarga | : 135 %                           |
|                         | 170 % por 10 min                  |
|                         | 1000 % por 100 mseg               |

Máxima corriente de neutro : 170 % de la corriente nominal

Transf. By Pass-inversor :  $\leq 1$  mseg

ii) Salida (Inversor):

Potencia : 60 kVA / 48 kW

Tensión de salida : 380 V, +/- 1% con carga balanceada.

Frecuencia de salida : 60 Hz, +/- 2 Hz.

Corriente de salida : 114 A

Fases : trifásico más neutro

Capacidad de sobrecarga : 110 % por 60 min

125 % por 10 min

150 % por 1 min

225 % por 200 mseg

Capacidad de carga no lineal : 100 %

Máxima corriente de neutro : 170 %

$THD_V$  :  $< 1$  con carga lineal

$< 3,5$  % con carga no lineal

iii) Baterías (etapa DC):

Tensión : 480VDC

Carga flotante : 540 VDC

Máx. Corriente ajustable : 25 A

Potencia cargador baterías : 10 kW

Temp. de compensación : 25°C

iv) Características ambientales:

Temperatura de operación : de 0 a 40° C

Nivel de ruido : 59 dB a 1 m

Altura de operación : 0 a 1000 m.s.n.m.

**h) Interruptor estático de transferencia**

El STS, tiene las siguientes características [17]:

Marca : ASCO

Modelo: serie 4000

Capacidad: 250 A

Tensión de operación : 600 V

Además cuenta con:

04 contactos auxiliares, dos normalmente abiertos NO y dos normalmente cerrados NC.

Microprocesador controlador programable con teclado y pantalla LCD para:

Sensado de sub/sobre tensión tanto para fuente normal y de emergencia.

Sensado de sub/sobre frecuencia para fuente normal y de emergencia.

Sensado de tensión rms con +/- 1% de seguridad.

Sensado de frecuencia con +/- 0,2% de seguridad.

Sensado de la secuencia de fases para cargas sensibles a cambios de fase.

Detección de desbalance de tensión entre fases.

Historial para 99 eventos con la hora y fecha de ocurrido, el tipo y la causa del evento.

Tiempo de retardo de arranque de grupo electrógeno, ajustable de 0 a 6 segundos.

Tiempo de retardo de transferencia de la posición normal a emergencia ajustable de 0 a 60 minutos.

Tiempo de retardo de re-transferencia de la posición de emergencia a la posición normal ajustable de 0 a 60 minutos.

#### **i) Transformador de aislamiento**

Tendrán las siguientes características:

|                         |                                   |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Potencia Nominal        | : 100 kW / 125 kVA                |
| Tensión Primario        | : 220 V                           |
| Tensión Secundario      | : 380 V                           |
| Conexión                | : Delta / Estrella más neutro     |
| Fases                   | : trifásico                       |
| Frecuencia de operación | : 60 Hz                           |
| Factor                  | : K – 13                          |
| Altura de operación     | : 0 a 1000 msnm                   |
| Norma de fabricación    | : IEC 185 – 186 / ITINTEC 370.002 |

#### **j) Grupo electrógeno**

El grupo electrógeno tiene las siguientes características:

Grupo motor - Generador:

|                   |            |
|-------------------|------------|
| Potencia continua | : 72 kW    |
| Potencia Stand By | : 79, 2 kW |
| Tensión           | : 220 V    |
| Corriente nominal | : 236 A    |

|                 |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|
| Fases           | : 3                               |
| Frecuencia      | : 60 Hz                           |
| RPM             | : 1800                            |
| Nº de cilindros | : 6 en línea                      |
| Aspiración      | : turboaspirado                   |
| Arranque        | : eléctrico por solenoide, 24 VDC |
| Gobernador      | : mecánico                        |
| Largo           | : 2400 mm                         |
| Ancho           | : 750 mm                          |
| Altura          | : 1437 mm                         |
| Peso            | : 1220 kg                         |

Tablero de control:

Medidor multifunción de tensión, corriente, frecuencia, temperatura de agua y presión de aceite.

Interruptor Termomagnético de 3x 250 A de caja moldeada.

Sistema de enfriamiento: Mediante radiador tropicalizado, enfriado por agua.

Sistema de combustible: Mediante inyectores, bomba de inyección y filtro reemplazable, con base tanque de 200 Galones.

Sistema de lubricación: Mediante bomba de aceite, filtro reemplazable y dispositivo de protección por baja presión.

Sistema de admisión y escape: Con múltiple de admisión, filtro de aire, silenciador residencial con flejes flexibles para amortiguación de la vibración.

Acoplamiento: El acoplamiento motor.– generador es lineal, directamente por medio de la volante y montado sobre un bastidor de acero por medio de aisladores antivibratorios del tipo resorte, que asegura el alineamiento rígido y permanente del conjunto.

Se dispondrá de cáncamos para izaje del conjunto motor – generador.

#### **k) Puesta a tierra**

Para brindar protección al personal y a los equipos, se ha previsto la reconstrucción de una malla de puesta a tierra, que consiste de tres pozos de tierra separados una distancia de 5 m entre los adyacentes y 8 m entre más lejanos en disposición de L. Cada pozo tiene dimensiones 1,00 x 1,00 x 3,00 m de profundidad.

Los electrodos serán una varilla de cobre electrolítico al 99.9 % con extremo en punta, de

20 mm Ø x 2,40 m de longitud.

Se utilizará como aditivo el compuesto ECOGEL.

El conductor entre electrodos de los pozos será de cobre desnudo cableado, de 99,9 % de pureza, temple blando, recocido, de 50 mm<sup>2</sup> de sección.

Los conectores serán de cobre, para conexión entre electrodos y conductor.

Los conductores de tierra serán del tipo TW color amarillo y sección mínima de 16 mm<sup>2</sup>, salvo en el aterramiento de las estructuras y bandejas del Data Center que serán con conductor desnudo de 10 mm<sup>2</sup>

#### **4.2.2 Especificaciones técnicas de montaje**

##### **a) Conductores**

Antes de proceder a su instalación, se limpiarán y secarán los ductos de PVC y las cajas. Para facilitar el paso de los conductores se empleará talco ó parafina aplicándose a éstos a medida que van introduciéndose en los ductos. No se debe aplicar grasas, aceites ni sustancias líquidas.

Los conductores deben ser de tramos continuos entre cajas no permitiéndose los empalmes dentro de las tuberías. Cualquier empalme se realizará en el interior de las cajas de paso y serán eléctrica y mecánicamente seguros, mediante grampas ó con conectores de presión protegiéndose con cinta aislante y vulcanizante.

Los conductores sobre bandejas portacables tipo escalerilla deben estar alineados, sin que se produzcan cruces y firmemente sujetos con cintillos de plástico.

##### **b) Electroductos**

Toda la red de electroductos se instalará adosada mediante elementos de sujeción tipo abrazaderas pesadas de doble oreja y soportes fabricados con ángulos de fierro negro.

Los electroductos que estén en contacto con el piso deberán estar protegidos con un dado de concreto pobre.

La red de electroductos debe mantener continuidad para lo cual debe estar unido firmemente entre cada tubería y entre cajas mediante el empleo de conectores a presión las que serán fijadas con pegamento a base de PVC para asegurar la hermeticidad de la red.

No estará permitida la formación de trampas o bolsillos que puedan ocasionar la acumulación de humedad. Los electroductos estarán libres de contacto con cualquier otra tubería no permitiéndose una cercanía menor de 15 cm con las tuberías de agua.

No estarán permitidas más de dos curvas de 90° en los tramos entre cajas para evitar dificultad en el cableado. De ser necesario se colocará una caja intermedia.

Se dejará como guía dentro de cada tubería un alambre galvanizado N° 16 para realizar el cableado respectivo.

#### **c) Cajas**

Se fijarán sobre el piso y pared mediante soportes fabricados de estructura angular de fierro negro pintados con base anticorrosiva y acabado en color gris mate. Su ubicación y altura será según el espacio disponible.

#### **d) Tableros de control y distribución**

Antes de su instalación se limpiará el área a ser ocupada. Se fijarán a la pared mediante tarugos de expansión y tirafones de acero galvanizado de 80 mm x 6 mm de diámetro.

Estarán perfectamente alineados y se verificará su posición mediante nivel ó plomada. Su borde superior estará a una altura de 1,80 m sobre el nivel del piso terminado.

#### **e) Bandejas portacables**

Se usarán soportes colgantes. Se fijarán mediante espárragos de acero galvanizado roscados de 10 mm a una distancia de 0,40 cm del techo. Los soportes serán del mismo material, estarán colocados a una distancia media de 1,20 m entre ellos, salvo en las curvas donde se colocarán en los extremos para evitar esfuerzos adicionales.

Las bandejas portacables se colocarán de manera continua y estarán conectadas entre sí con juntas del mismo material. Estarán puestas a tierra mediante un conductor de cobre desnudo de 10  $mm^2$  de sección.

#### **f) UPS**

Es preferible instalarlos en un ambiente de acceso restringido solo para personal autorizado. La temperatura de operación recomendada es no más de 25°C y humedad relativa menor de 96%. Si bien la máxima temperatura de operación es 40°C, las baterías deben operar entre los 15°C y 25°C, ya que por encima de esta temperatura, su vida útil disminuye.

Se debe disponer de un espacio mínimo para labores de mantenimiento, de 0,80 m hacia el frente y hacia la parte posterior, que permita abrir las puertas respectivas.

El piso de la caseta está reforzado con estructuras de fierro nivelada y recubierta con un material aislante sintético.

Todas las conexiones se realizan por la parte delantera abriendo el panel respectivo.

Antes de instalar los equipos, se debe conectar el conductor de tierra para evitar una descarga por posibles corrientes de fuga, las que son muy altas.

#### **g) Transformadores de aislamiento**

Se debe mantener un espacio de trabajo mínimo de 0,60 m por lado, para posibilitar una

adecuada disipación de calor y evitar interferencias sobre los otros equipos instalados dentro de la sala de fuerza.

Se ubicarán sobre una estructura reforzada de fierro y aislado con material sintético.

#### **h) Grupo electrógeno**

El grupo electrógeno se encuentra colocado sobre una losa de cimentación de concreto armado. Está construido sobre un conjunto de vigas estructurales entre columnas del piso inferior. El bastidor de base se encuentra firmemente fijado a la losa mediante pernos de acero a fin de evitar su desplazamiento sobre ella. El espacio libre alrededor de él es:

Al frente: 0,60 m, a la izquierda: 0,70 m, a la derecha: 0,70 m y a fondo : 0,60 m.

La estructura del grupo electrógeno se encuentra sólidamente conectado a tierra mediante un conductor de cobre de  $1 \times 50 \text{ mm}^2$  cuyo otro extremo se encuentra conectado en la barra de tierra del tablero de emergencia ubicado dentro de la caseta del grupo electrógeno.

El sistema de escape de gases desemboca directamente al exterior por el techo de la caseta y termina en un codo de fierro negro de 65 mm para evitar el ingreso de humedad ó polvo.

#### **i) Pozos de tierra**

La excavación se realizará de una dimensión de 1,00 x 1,00 m, y una profundidad de 3,0 m. Se aplicarán capas de tierra de cultivo de baja resistividad eléctrica, previamente cernida, libre de piedras y otros elementos resistivos, de 0,5 m cada capa, las que serán humedecidas y compactadas. El electrodo de cobre se instalará en el centro del pozo conjuntamente con las capas de tierra tratadas con bentonita.

La aplicación del aditivo se realizará estrictamente según las recomendaciones del fabricante, utilizando abundante agua en su disolución.

El conductor de enlace de los 3 pozos se instalará directamente enterrado a una profundidad de 0,30 m.

Cada pozo tendrá marco y tapa de concreto de 0,40 x 0,40 m.

### **4.2.3 Pruebas**

Se realizarán las siguientes pruebas:

#### **a) Conductores**

Se realizarán las siguientes mediciones:

- i) Aislamiento entre fases activas
- ii) Aislamiento entre cada fase y tierra.
- iii) Continuidad de conductores.

Entre dos dispositivos de protección y con los conductores desconectados. El valor de

aislamiento no debe ser menor a 1000 Ohmios/V.

Para tal fin se empleará un megohmetro, aplicando una tensión continua de al menos 500 Voltios en cada conductor.

#### **b) Sistema de tierra**

Mediante el empleo de un telurómetro se medirá la resistencia del sistema, cuyo valor máximo no debe exceder de 5 Ohmios para todo el sistema. Para ello se instalarán las estacas de tensión y corriente a una distancia no menor de 5 y 10 m respectivamente del electrodo de tierra.

#### **c) UPS**

Para realizar el arranque de los UPS, se sigue la siguiente secuencia:

- i) Se energiza la entrada, cerrando el interruptor de entrada, quedando el UPS queda entonces funcionando en modo by pass.
- ii) En este estado, se inicia el arranque presionando el pulsador START. El UPS realiza un test de sus componentes, chequeando primero si los valores de tensión y frecuencia son adecuados y si la secuencia de fases es la correcta. Si no hubiera anomalía en la señal de entrada, el UPS pasa a realizar el test de la etapa inversora.
- iii) Luego, el UPS realiza un test de baterías.
- iv) El UPS activa su interruptor estático interno para transferir su salida de la línea de by pass a la línea del inversor, quedando operando en modo normal ó “UPS ON”.
- v) Cerrar el interruptor de salida para energizar la carga.

Si hubiera alguna anomalía en alguno de estos pasos, el UPS se inhibe y detiene la secuencia de arranque hasta que la causa del problema sea solucionado.

#### **d) Interruptor estático de transferencia**

Para el STS se realizan pruebas de funcionamiento:

- i) En modo normal.
- ii) Prueba de arranque de grupo electrógeno.
- iii) Prueba de transferencia de carga del modo normal a emergencia.
- iv) Prueba de re - transferencia de carga del modo emergencia a normal.

#### **e) Grupo electrógeno**

- i) Prueba de arranque manual y automático.
- ii) Prueba de sincronismo de fases y frecuencia entre el UPS y el fluido eléctrico entregado por el grupo electrógeno. De ser necesario realizar la calibración pertinente.
- iii) Prueba de parada manual y automática.

## f) Aplicación del código nacional de electricidad

Para todo lo no especificado en el presente proyecto, es válido el Código Nacional de Electricidad en vigencia, aprobado por la Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas el año 2006.

### 4.3 Evaluación económica del proyecto

#### 4.3.1 Costo de inversión del proyecto

En la tabla 4.4 se muestra el costo de inversión

Tabla 4.4 Cuadro de inversión

| Ítem | Partida                                       | Unidad | Cantidad | P. Unitario S/. | P. Parcial S/. |
|------|---|--------|----------|-----------------|----------------|
| 01   | Equipamiento:                                 |        |          |                 |                |
|      | UPS y banco de baterías                       | Und.   | 02       | 103 250,00      | 206 500,00     |
|      | Transformador de aislamiento                  | Und.   | 02       | 9 145,00        | 18 290,00      |
|      | Grupo electrógeno                             | Und.   | 01       | 97 350,00       | 97 350,00      |
| 02   | Instalación eléctrica, incluye Tableros y STS | Global |          | 49 848,09       | 49 848,09      |
| 03   | Obras civil, cimentación y caseta             | Global |          | 19 218,75       | 19 218,75      |
|      | Costo directo                                 |        |          |                 | 391 206,84     |
|      | Gastos Generales 5%                           |        |          |                 | 19 560,34      |
|      | Utilidad 25%                                  |        |          |                 | 97 801,71      |
|      | Subtotal                                      |        |          |                 | 508 568,89     |
|      | IGV 19%                                       |        |          |                 | 96 628,09      |
|      | Costo Total                                   |        |          |                 | 605 196,98     |

Son seiscientos cinco mil ciento noventiseis y 98/100 Nuevos Soles, equivalente a US\$ 205151,52 Dólares Americanos, a un tipo de cambio de S/. 2,95. El costo por instalación está detallado en el anexo B y el tiempo de ejecución del proyecto es de 45 días calendarios, incluyendo equipamiento e instalación.

#### 4.3.2 Rentabilidad

Consideremos los siguientes parámetros:

1. Asumimos en condiciones extremas, que en el lapso de un mes solamente se produce una parada del Data Center por alguna anomalía en el suministro eléctrico. Para reinicializar el sistema, se requiere de un proceso secuencial de encendido de los equipos del Data Center que dura aproximadamente una hora.
2. La cadena de supermercados cuenta con 20 locales.
3. Cada local cuenta con aproximadamente 20 cajas registradoras en promedio.

4. Cada caja registradora factura en promedio S/. 600,00 en una hora.

De estos parámetros, se calcula la facturación que se dejaría de emitir por efecto de una parada del sistema.

Facturación/ Hora = S/. 600,00 x 20 cajas x 20 locales = S/. 240 000,00 Nuevos Soles

La utilidad neta por facturación es del 30% es decir:

Utilidad neta/ Hora = S/. 72 000,00 Nuevos Soles.

Esta Utilidad neta es la que se dejaría de percibir si no hubiera respaldo del sistema de UPS. Para fines de justificación de la inversión, se considera el 100 % de esta utilidad como beneficio mensual. El flujo de Beneficio vs. Inversión se muestra en la tabla 4.5, donde la tasa de interés es de 24 % anual ó 2 % mensual a rebatir. La garantía por los equipos suministrados cubre un periodo de 24 meses, por lo que los costos de mantenimiento preventivo son asumidos por el proveedor de los mismos. Por lo tanto, para el usuario, dicho costo es igual a cero en este periodo.

Tabla 4.5 Relación Beneficio – Inversión

| Tiempo (Meses) | Inversión S/. | Beneficio S/. | Beneficio – Inversión S/. |
|----------------|---------------|---------------|---------------------------|
| 00             | 605 196,98    | 0,00          | ( - ) 605 196,98          |
| 01             | 617 300,92    | 72 000,00     | ( - ) 545 300,92          |
| 02             | 556 206,94    | 72 000,00     | ( - ) 484 206,94          |
| 03             | 493 891,08    | 72 000,00     | ( - ) 421 891,08          |
| 04             | 430 328,90    | 72 000,00     | ( - ) 358 328,90          |
| 05             | 365 495,48    | 72 000,00     | ( - ) 293 495,48          |
| 06             | 299 365,39    | 72 000,00     | ( - ) 227 365,39          |
| 07             | 231 912,70    | 72 000,00     | ( - ) 159 912,70          |
| 08             | 163 110,95    | 72 000,00     | ( - ) 91 110,95           |
| 09             | 92 933,17     | 72 000,00     | ( - ) 20 933,17           |
| 10             | 21 351,83     | 72 000,00     | ( + ) 50 648,17           |

Se determina que la inversión efectuada se recupera en el décimo mes desde la puesta en funcionamiento del proyecto. Dado que el tiempo de vida útil de los UPS es de 10 a 15 años, se justifica su implementación.

## CONCLUSIONES

1. Se ha determinado que los UPS de tecnología de fabricación on line, doble conversión son los que mejor corrigen las perturbaciones tanto transitorias como los armónicos generados en la red por las cargas críticas.
2. los UPS de tecnología stand by e interactivos no son adecuados para protección de sistemas grandes. Su ámbito de aplicación se limita a pequeñas aplicaciones no críticas.
3. los transformadores de aislamiento con núcleo apantallado pueden ser reemplazados por los transformadores normales de núcleo laminado si éstos se sobredimensionan al doble de la potencia requerida ya que se necesita que el neutro soporte aproximadamente el 173 % de la corriente nominal de fase. En este caso, la implementación del equipamiento puede alcanzar costos más altos.
4. No es recomendable instalar el transformador de aislamiento a la salida del UPS, por que sus devanados presentan una impedancia muy baja y se comportan como un corto circuito. Al energizar la salida del UPS, éste lo asume como tal y de inmediato protege a su inversor, pasando a funcionar en modo by pass aún sin carga. En el peor de los casos si el efecto es muy rápido, puede averiarse el inversor.
5. Todo sistema eléctrico alimentado por UPS debe ser de uso exclusivo para la carga crítica y debe ser independiente del resto de la red eléctrica para evitar que las perturbaciones propias de la red influyan en la operación del UPS.
6. Los UPS on line presentan una mejor THD de tensión el cual está dentro del rango recomendado por la norma IEEE Std. 519 – 1992. Los UPS stand by e Interactivos generan una forma de onda que no es sinusoidal pura cuando activan su inversor, lo que puede afectar a la carga si ésta es muy sensible.
7. La configuración de instalación paralelo redundante N+1 es la más práctica y la que brinda mayor confiabilidad para proteger a la carga crítica ya que en caso de falla de alguno de los UPS, la carga es de inmediato asumida por los otros manteniéndola protegida permanentemente. Las configuraciones redundante distribuida y sistema más sistema son para casos muy especiales en que la carga crítica posea doble fuente de alimentación

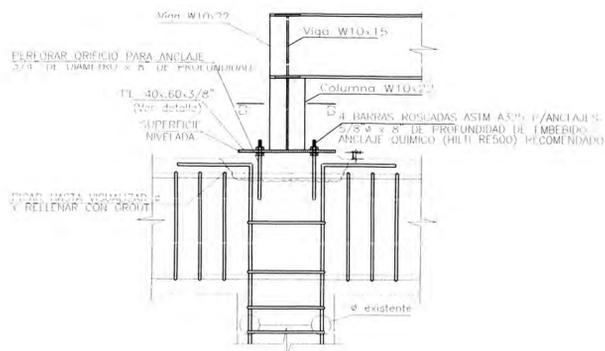
además de ser muy costosa su implementación.

8. Los límites del THD de tensión son más pequeños cuanto mayor es el nivel de tensión donde se realice la evaluación de los armónicos.

9. El sistema presentado como solución para el Data Center del usuario es el que mejor se adapta a las condiciones actuales de suministro y al tipo de carga. Existe una proyección para que el sistema sea alimentado desde dos suministros y dos grupos electrógenos de respaldo, con lo que la configuración pasaría a ser del tipo sistema más sistema.

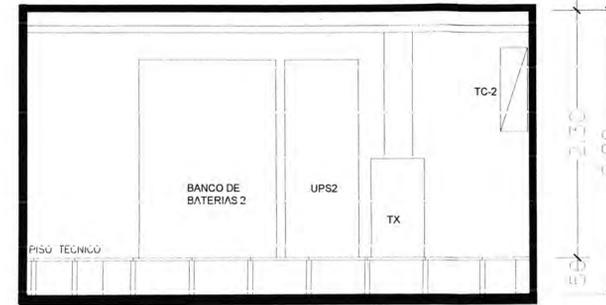
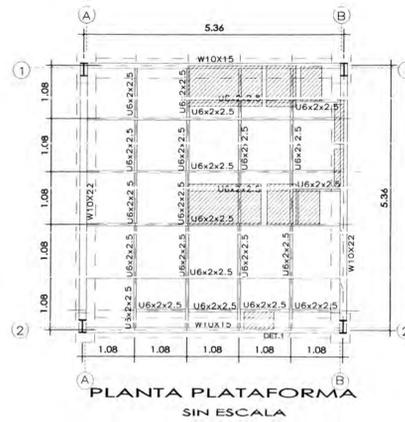
## **ANEXOS**



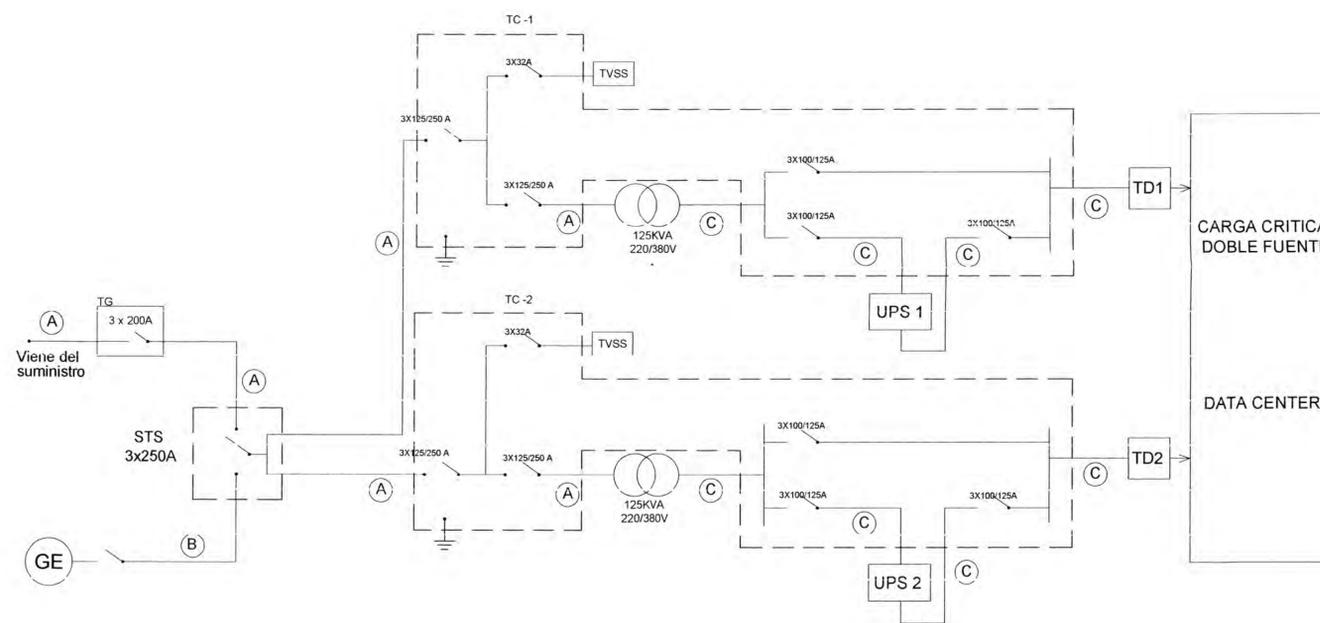
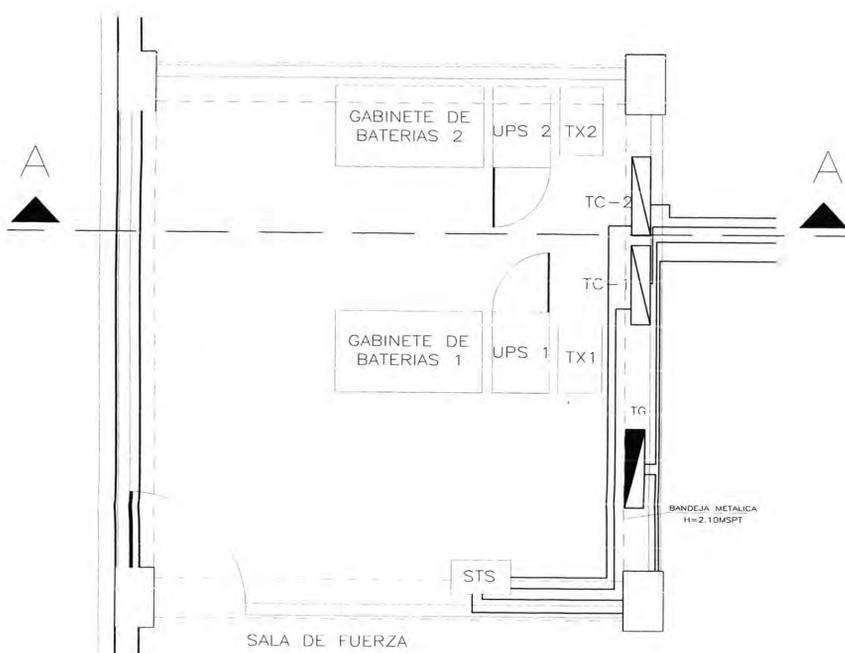


DETALLE DE ANCLAJE EN COLUMNAS DE CONCRETO  
SIN ESCALA

| CUADRO DE PERFILES |        |               |
|--------------------|--------|---------------|
| W10x22             | W10x15 | U 6'x2'x2.5mm |
|                    |        |               |
| Viga, Columna      | Viga   | Vigueta       |
| SIN ESCALA         |        |               |



SECCION A A



| LEYENDA |                                       |
|---------|---------------------------------------|
| TG      | TABLERO GENERAL                       |
| STS     | INTERRUPTOR ESTATICO DE TRANSFERENCIA |
| TC      | TABLERO DE CONTROL DE UPS             |
| TD      | TABLERO DE DISTRIBUCION               |
| TVSS    | TVSS                                  |

| CUADRO DE ALIMENTADORES |   |
|-------------------------|---|
| (A)                     | 3-1x70 mm2 NYY+1x35 mm2 TW(T)                 |
| (B)                     | 3-1x70 mm2 NYY                                |
| (C)                     | 3-1x25 mm2 NYY+1x70 mm2 NYY(N)+1x25 mm2 TW(T) |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

|           |                         |            |                              |
|-----------|-------------------------|------------|------------------------------|
| PROYECTO: | SISTEMA UPS REDUNDANTE  | LAMINA:    | IE-02                        |
| DISEÑO:   | WALTER A. NUÑEZ CRUZ    | TITULO:    | DIAGRAMA UNIFILAR Y DETALLES |
| ASESOR:   | ING. TOMAS PALMA GARCIA | FECHA:     | MAYO 2009                    |
|           |                         | ESCALA:    | S/E                          |
|           |                         | DIBUJO:    |                              |
|           |                         | DISTRITO:  | SAN BORJA                    |
|           |                         | PROVINCIA: | LIMA                         |
|           |                         | REGION:    | LIMA                         |

## ANEXO B

**PROYECTO : INSTALACION ELÉCTRICA DE SISTEMA REDUNDANTE DE UPS**

**UBICACIÓN :SAN BORJA**

**FECHA : MAYO 2009**

| ITEM        | DESCRIPCIÓN PARTIDAS   | UNID | CANT. | P.UNIT. | PARCIAL | SUBTOTAL       |
|-------------|--|------|-------|---------|---------|----------------|
| <b>1.00</b> | <b>ALIMENTADORES</b>   |      |       |         |         |                |
| 1.01        | <b>Acometida al tablero general "TG" desde la caja toma LT</b>                         |      |       |         |         | <b>3276.15</b> |
|             | Cable 3-1x70 mm2 NYY   | Ml   | 45.00 | 51.15   | 2301.75 |                |
|             | Tubería PVC - Pesado 65 mm Ø   | Und. | 20.00 | 23.00   | 460.00  |                |
|             | Curvas PVC - Pesado 65 mm Ø  | Und. | 5.00  | 7.00    | 35.00   |                |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 70 mm2                                     | Und. | 6.00  | 15.90   | 95.40   |                |
|             | Caja de pase F°G° 300x300x150 mm   | Und. | 9.00  | 26.00   | 234.00  |                |
|             | Materiales menudos diversos ( incl. Abrazaderas doble oreja, etc.)                     | Est. | 1.00  | 150.00  | 150.00  |                |
| 1.02        | <b>Acometida al tablero de transferencia automática desde el "TG"</b>                  |      |       |         |         | <b>501.15</b>  |
|             | Cable 3-1x70 mm2 NYY   | Ml   | 5.00  | 51.15   | 255.75  |                |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 70 mm2                                     | Und. | 6.00  | 15.90   | 95.40   |                |
|             | Materiales menudos diversos ( incl. Mangas termocontraibles, etc.)                     | Est. | 1.00  | 150.00  | 150.00  |                |
| 1.03        | <b>Acometida al tablero de transferencia automática desde el grupo<br/>electrógeno</b> |      |       |         |         | <b>2824.15</b> |
|             | Cable 3-1x70 mm2 NYY   | Ml   | 45.00 | 51.15   | 2301.75 |                |
|             | Tubería PVC - Pesado 65 mm Ø   | Und. | 10.00 | 23.00   | 230.00  |                |
|             | Curvas PVC - Pesado 65 mm Ø  | Und. | 3.00  | 7.00    | 21.00   |                |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 70 mm2                                     | Und. | 6.00  | 15.90   | 95.40   |                |
|             | Caja de pase F°G° 300x300x150 mm   | Und. | 1.00  | 26.00   | 26.00   |                |
|             | Materiales menudos diversos ( incl. Mangas termocontraibles, etc.)                     | Est. | 1.00  | 150.00  | 150.00  |                |
| 1.04        | <b>Acometida al tablero TC - 1 desde el tablero de transferencia</b>                   |      |       |         |         | <b>564.35</b>  |

|             |   |      |       |        |               |
|-------------|---|------|-------|--------|---------------|
|             | <b>automática</b>   |      |       |        |               |
|             | Cable 3-1x70 mm2 NYY  | Ml   | 5.00  | 51.15  | 255.75        |
|             | Cable 1x 35 mm2 TW  | Ml   | 5.00  | 8.84   | 44.20         |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 70 mm2                              | Und. | 6.00  | 15.90  | 95.40         |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 35 mm2                              | Und. | 2.00  | 9.50   | 19.00         |
|             | Materiales menudos diversos ( incl. Mangas termocontraibles, etc.)              | Est. | 1.00  | 150.00 | 150.00        |
| <b>1.05</b> | <b>Acometida al tablero TC - 2 desde el tablero de transferencia automática</b> |      |       |        | <b>655.55</b> |
|             | Cable 3-1x70 mm2 NYY  | Ml   | 5.00  | 51.15  | 255.75        |
|             | Cable 3-1x 35 mm2 TW  | Ml   | 5.00  | 27.08  | 135.40        |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 70 mm2                              | Und. | 6.00  | 15.90  | 95.40         |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 35 mm2                              | Und. | 2.00  | 9.50   | 19.00         |
|             | Materiales menudos diversos ( incl. Mangas termocontraibles, etc.)              | Est. | 1.00  | 150.00 | 150.00        |
| <b>1.06</b> | <b>Alimentador en 220 V desde el tablero TC - 1 al UPS 1</b>                    |      |       |        | <b>564.35</b> |
|             | Cable 3-1x70 mm2 NYY  | Ml   | 5.00  | 51.15  | 255.75        |
|             | Cable 1x 35 mm2 TW  | Ml   | 5.00  | 8.84   | 44.20         |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 70 mm2                              | Und. | 6.00  | 15.90  | 95.40         |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 35 mm2                              | Und. | 2.00  | 9.50   | 19.00         |
|             | Materiales menudos diversos ( incl. Mangas termocontraibles, etc.)              | Est. | 1.00  | 150.00 | 150.00        |
| <b>1.07</b> | <b>Alimentador en 220 V desde el tablero TC - 2 al UPS 2</b>                    |      |       |        | <b>564.35</b> |
|             | Cable 3-1x70 mm2 NYY  | Ml   | 5.00  | 51.15  | 255.75        |
|             | Cable 1x 35 mm2 TW  | Ml   | 5.00  | 8.84   | 44.20         |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 70 mm2                              | Und. | 6.00  | 15.90  | 95.40         |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 35 mm2                              | Und. | 2.00  | 9.50   | 19.00         |
|             | Materiales menudos diversos ( incl. Mangas termocontraibles, etc.)              | Est. | 1.00  | 150.00 | 150.00        |
| <b>1.08</b> | <b>Alimentador en 380 V desde el UPS 1 al tablero TC - 1</b>                    |      |       |        | <b>586.30</b> |
|             | Cable 3-1x 25 mm2 NYY   | Ml   | 5.00  | 19.97  | 99.85         |
|             | Cable 1x 70 mm2 NYY   | Ml   | 5.00  | 16.49  | 82.45         |
|             | Cable 1x 35 mm2 TW  | Ml   | 5.00  | 8.84   | 44.20         |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 70 mm2                              | Und. | 12.00 | 15.90  | 190.80        |

|             |  |      |       |        |                |
|-------------|--|------|-------|--------|----------------|
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 35 mm2                 | Und. | 2.00  | 9.50   | 19.00          |
|             | Materiales menudos diversos ( incl. Mangas termocontraibles, etc.) | Est. | 1.00  | 150.00 | 150.00         |
| <b>1.09</b> | <b>Alimentador en 380 V desde el UPS 2 al tablero TC - 2</b>       |      |       |        | <b>586.30</b>  |
|             | Cable 3-1x 25 mm2 NYY  | MI   | 5.00  | 19.97  | 99.85          |
|             | Cable 1x 70 mm2 NYY  | MI   | 5.00  | 16.49  | 82.45          |
|             | Cable 1x 35 mm2 TW   | MI   | 5.00  | 8.84   | 44.20          |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 70 mm2                 | Und. | 12.00 | 15.90  | 190.80         |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 35 mm2                 | Und. | 2.00  | 9.50   | 19.00          |
|             | Materiales menudos diversos ( incl. Mangas termocontraibles, etc.) | Est. | 1.00  | 150.00 | 150.00         |
| <b>1.10</b> | <b>Alimentador del tablero TD1 desde el tablero TC - 1</b>         |      |       |        | <b>1878.20</b> |
|             | Cable 3-1x25 mm2 NYY   | MI   | 30.00 | 19.97  | 599.10         |
|             | Cable 1x70 mm2 NYY   | MI   | 30.00 | 16.49  | 494.70         |
|             | Cable 1x 35 mm2 TW   | MI   | 30.00 | 8.84   | 265.20         |
|             | Tubería PVC - Pesado 65 mm Ø                                       | Und. | 10.00 | 23.00  | 230.00         |
|             | Curvas PVC - Pesado 65 mm Ø  | Und. | 3.00  | 7.00   | 21.00          |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 70 mm2                 | Und. | 2.00  | 15.90  | 31.80          |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 35 mm2                 | Und. | 2.00  | 9.50   | 19.00          |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 25 mm2                 | Und. | 6.00  | 6.90   | 41.40          |
|             | Caja de pase F°G° 300x300x150 mm                                   | Und. | 1.00  | 26.00  | 26.00          |
|             | Materiales menudos diversos ( incl. Abrazaderas doble oreja, etc.) | Est. | 1.00  | 150.00 | 150.00         |
| <b>1.11</b> | <b>Alimentador del tablero TD2 desde el tablero TC - 2</b>         |      |       |        | <b>1878.20</b> |
|             | Cable 3-1x25 mm2 NYY   | MI   | 30.00 | 19.97  | 599.10         |
|             | Cable 1x70 mm2 NYY   | MI   | 30.00 | 16.49  | 494.70         |
|             | Cable 1x 35 mm2 TW   | MI   | 30.00 | 8.84   | 265.20         |
|             | Tubería PVC - Pesado 65 mm Ø                                       | Und. | 10.00 | 23.00  | 230.00         |
|             | Curvas PVC - Pesado 65 mm Ø  | Und. | 3.00  | 7.00   | 21.00          |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 70 mm2                 | Und. | 2.00  | 15.90  | 31.80          |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 35 mm2                 | Und. | 2.00  | 9.50   | 19.00          |
|             | Terminales de Cu a compresión para cable de 25 mm2                 | Und. | 6.00  | 6.90   | 41.40          |
|             | Caja de pase F°G° 300x300x150 mm                                   | Und. | 1.00  | 26.00  | 26.00          |

|             |   |      |      |         |                 |
|-------------|---|------|------|---------|-----------------|
|             | Materiales menudos diversos ( incl. Abrazaderas doble oreja, etc.)  | Est. | 1.00 | 150.00  | 150.00          |
| <b>2.00</b> | <b>TABLEROS ELECTRICOS</b>  |      |      |         | <b>20178.00</b> |
| 2.01        | Tablero general TG para adosar, fabricado en plancha LAF de 1,5 mm de espesor, de frente muerto con mandil abisagrado, puerta con cerradura y llave, protegido con dos manos de pintura anticorrosiva y acabado en RAL 7032, secado al horno, dimensiones 400 x 600 x 250 mm, hermético a prueba de agua, equipado con:<br>01 ITM de 3x200 A, 25 kA, 220 V, Merlin Gerin  | Gbl. | 1.00 | 1032.50 | 1032.50         |
| 2.02        | Tablero de control TC - 1, para adosar, fabricado en plancha LAF de 1,5 mm de espesor, de frente muerto con mandil abisagrado, puerta con cerradura y llave, protegido con dos manos de pintura anticorrosiva y acabado en RAL 7032, secado al horno, dimensiones 400 x 600 x 250 mm, hermético a prueba de agua, equipado con:<br>02 ITM de 3x125/250 A, 50 kA, 220 V, regulable<br>03 ITM de 3x100/125 A, 50 kA, 220 V, regulable<br>01 ITM de 3x32 A, 10 kA, 220 V, fijo | Gbl. | 1.00 | 3820.25 | 3820.25         |
| 2.03        | Tablero de control TC - 2, para adosar, fabricado en plancha LAF de 1,5 mm de espesor, de frente muerto con mandil abisagrado, puerta con cerradura y llave, protegido con dos manos de pintura anticorrosiva y acabado en RAL 7032, secado al horno, dimensiones 400 x 600 x 250 mm, hermético a prueba de agua, equipado con:<br>02 ITM de 3x125/250 A, 50 kA, 220 V, regulable<br>03 ITM de 3x100/125 A, 50 kA, 220 V, regulable<br>01 ITM de 3x32 A, 10 kA, 220 V, fijo | Gbl. | 1.00 | 3820.25 | 3820.25         |
| 2.04        | Tablero de distribución TD1, para adosar, fabricado en plancha LAF de 1,5 mm de espesor, de frente muerto con mandil abisagrado, puerta con cerradura y llave, protegido con dos manos de pintura anticorrosiva y acabado en RAL 7032, secado al horno, dimensiones 400 x 600 x 250 mm, hermético a prueba de agua, equipado con:<br>01 medidor multifunción de 96x96 mm.   | Gbl. | 1.00 | 5752.50 | 5752.50         |

|             |   |      |       |         |                |
|-------------|---|------|-------|---------|----------------|
|             | 01 ITM de 3x100/125 A, 50 kA, 220 V, regulable  |      |       |         |                |
|             | 20 ITM de 3x20 A, 32 kA, 220 V, fijo  |      |       |         |                |
| 2.05        | Tablero de distribución TD2, para adosar, fabricado en plancha LAF de 1,5 mm de espesor, de frente muerto con mandil abisagrado, puerta con cerradura y llave, protegido con dos manos de pintura anticorrosiva y acabado en RAL 7032, secado al horno, dimensiones 400 x 600 x 250 mm, hermético a prueba de agua, equipado con:<br>01 medidor multifunción de 96x96 mm.<br>01 ITM de 3x100/125 A, 50 kA, 220 V, regulable<br>20 ITM de 3x20 A, 20 kA, 220 V, fijo | Gbl. | 1.00  | 5752.50 | 5752.50        |
| <b>3.00</b> | <b>SISTEMA DE TIERRA</b>  |      |       |         | <b>6441.04</b> |
| 3.01        | <b>Pozo de tierra que comprende:</b>  | Gbl  | 3.00  | 791.50  | 2374.50        |
|             | Varilla de cobre electrolítico de 2,40 m x 20 mm Ø  | Und. | 1.00  | 165.00  |                |
|             | Dosis química Ecogel  | Und. | 3.00  | 37.00   |                |
|             | Conectores de cobre ó bronce tipo AB  | Und. | 1.00  | 4.50    |                |
|             | Base y tapa de concreto armado 0,40x0,40 m  | Und. | 1.00  | 24.00   |                |
|             | Tierra de cultivo   | M3   | 3.00  | 150.00  |                |
|             | Bentonita 30 Kg.  | Und. | 1.00  | 11.00   |                |
|             | Excavación, relleno y compactación  | M3   | 3.00  | 250.00  |                |
|             | Retiro de material sobrante y eliminación de desmonte   | Gbl  | 1.00  | 150.00  |                |
| 3.02        | <b>Interconexión de pozos de tierra</b>   |      |       |         | 986.84         |
|             | Cable de cobre desnudo temple suave blando de 50 mm <sup>2</sup>  | Ml   | 18.00 | 8.38    | 150.84         |
|             | Tubería PVC - Pesado 40 mm Ø  | Und. | 4.00  | 6.00    | 24.00          |
|             | Dosis química Ecogel 8 Kg.  | Und. | 3.00  | 37.00   | 111.00         |
|             | Apertura, relleno y compactación de zanjas  | M3   | 3.00  | 80.00   | 240.00         |
|             | Tierra de cultivo   | M3   | 3.00  | 50.00   | 150.00         |
|             | Bentonita 30 Kg.  | Und. | 1.00  | 11.00   | 11.00          |
|             | Eliminación de desmonte   | M3   | 3.00  | 50.00   | 150.00         |
|             | Materiales menudos diversos   | Gbl  | 1.00  | 150.00  | 150.00         |
| 3.03        | <b>Conexión a barra equipotencial desde pozos de tierra</b>   |      |       |         | 919.70         |

|   |      |       |         |         |                |
|---|------|-------|---------|---------|----------------|
| Cable 1x 35 mm <sup>2</sup> TW  | MI   | 80.00 | 8.84    | 707.20  |                |
| Tubería PVC - Pesado 40 mm Ø  | Und. | 6.00  | 6.00    | 36.00   |                |
| Curvas PVC - Pesado 40 mm Ø   | Und. | 3.00  | 2.50    | 7.50    |                |
| Terminales de compresión para cable 35 mm <sup>2</sup>  | Und. | 2.00  | 9.50    | 19.00   |                |
| Materiales diversos ( incl: Picado y resane de piso, abrazaderas, etc.)   | Est. | 1.00  | 150.00  | 150.00  |                |
| <b>3.04 Accesorios</b>  |      |       |         |         |                |
| Bandeja porta cables tipo malla, de acero galvanizado en zinc resistente a la corrosión, de 400x100 mm (incl: soportes, etc.) | MI   | 12.00 | 180.00  | 2160.00 |                |
| <b>4.00 Transporte de equipos, herramientas y materiales</b>  | Gbl  | 1.00  | 600.00  | 600.00  | <b>600.00</b>  |
| <b>5.00 Mano de Obra, pruebas en general del sistema eléctrico, aislamiento, tableros y puesta a tierra</b>                   | Cnj  | 1.00  | 8750.00 | 8750.00 | <b>8750.00</b> |

|  |                 |
|--|-----------------|
| <b>COSTO DIRECTO</b>   | <b>49848.09</b> |
| <b>SON: CUARENTINUEVE MIL OCHOCIENTOS CUARENTIOCHO CON 09/100 NUEVOS SOLES</b> |                 |
|  |                 |
|  |                 |

## ANEXO C: FOTOGRAFIAS



■ AC Power  
For Business-Critical Continuity

## *Liebert NX™*

*User Manual*

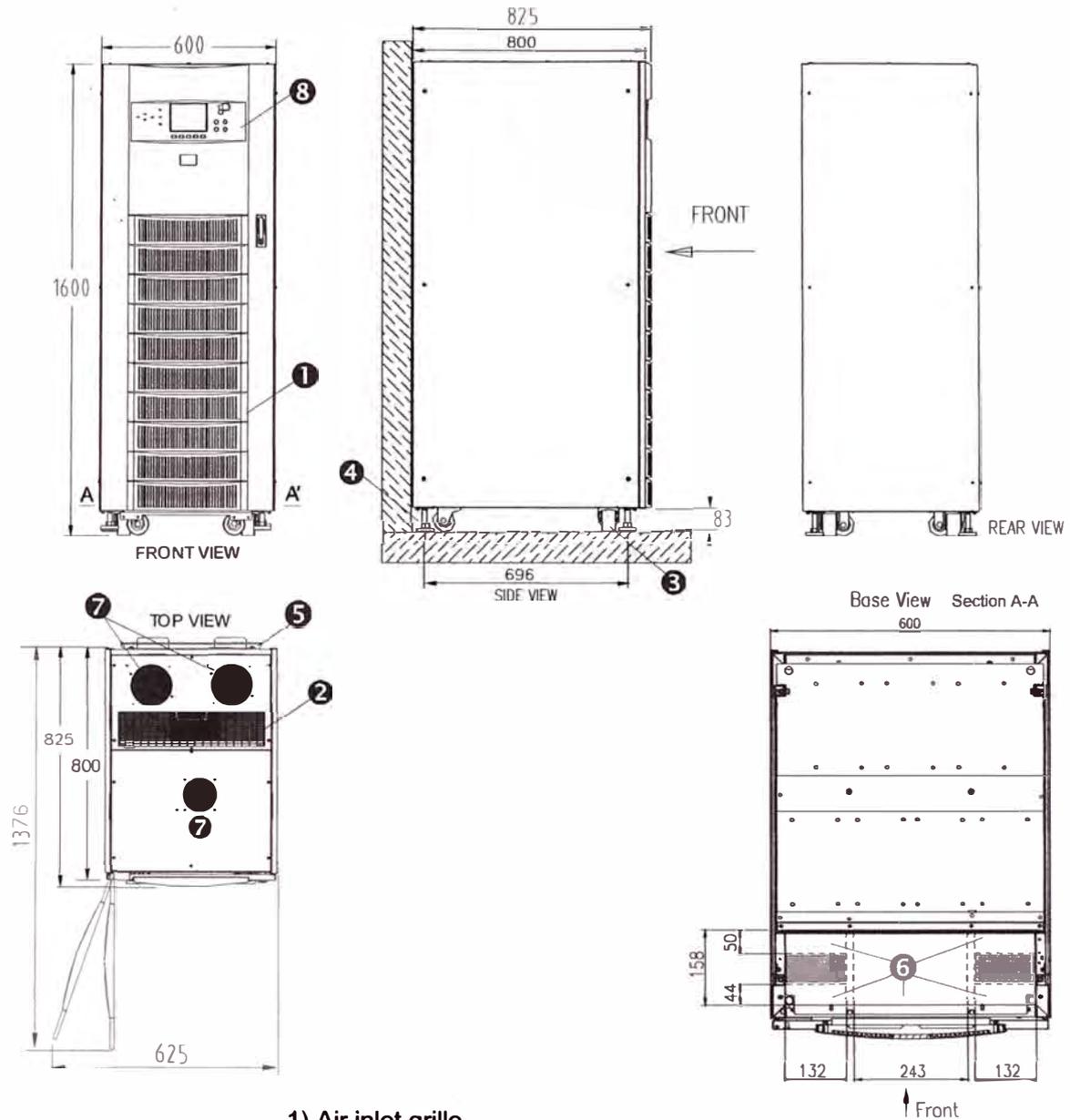
*50 and 60 Hz, 30-200kVA, 400V*



 **Liebert**

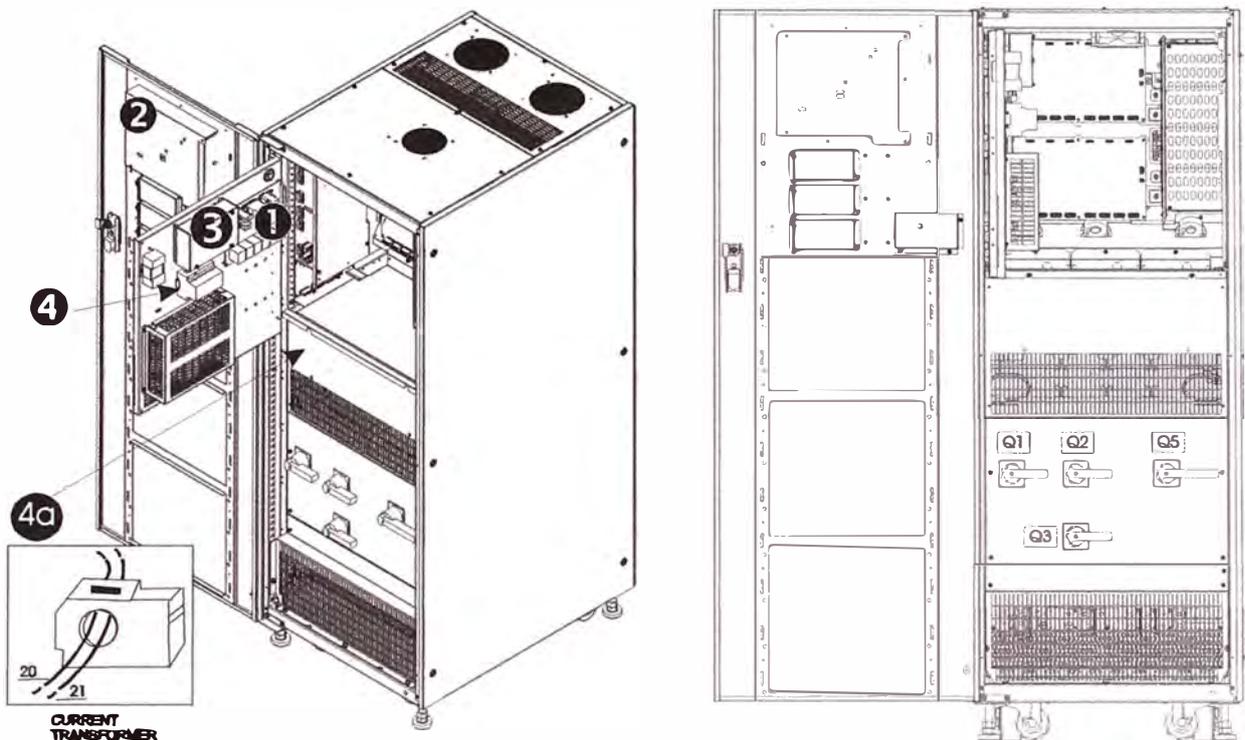
 **EMERSON**  
Network Power

Figure 46 General arrangement—60-80kVA NX

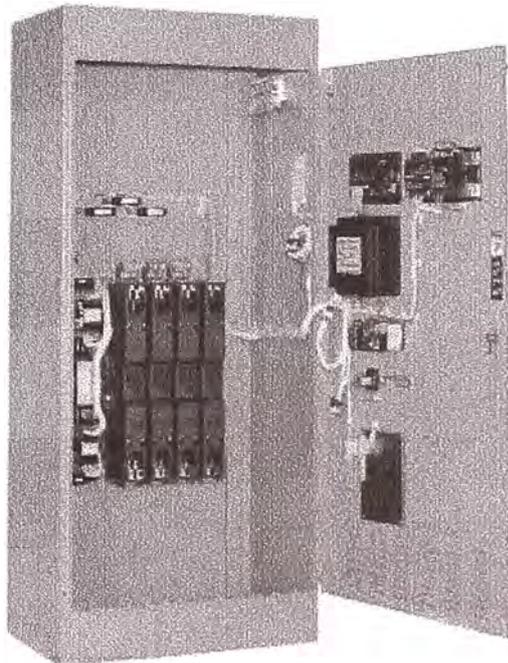


- 1) Air inlet grille
  - 2) Air outlet grille
  - 3) Castors for manoeuvring
  - 4) Adjustable fixing feet
  - 5) Seismic anchors (Option)
  - 6) Cable entry
  - 7) Fans
  - 8) Operator control and display panel
- All dimensions are in mm.

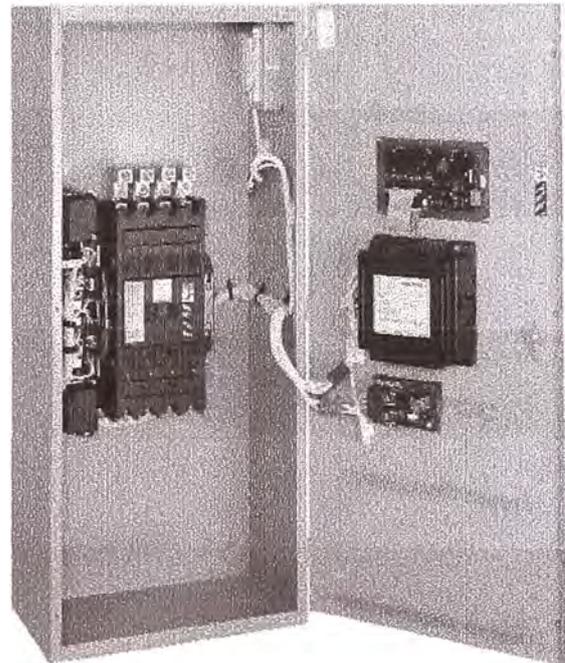
Figure 47 Front view doors open—60-80kVA NX



- 1) Parallel logic board
- 2) Monitor board
- 3) Battery start Interface
- 4 and 4a) Battery Ground Fault detection (optional)



**Fig. 2:** Four pole, Closed-Transition Transfer Switch rated 1000 amperes in Type 1 enclosure.



**Fig. 3:** Four pole, Delayed-Transition Transfer Switch rated 400 amperes in Type 1 enclosure.

## Closed-Transition Transfer Switching

ASCO Automatic Closed-Transition Transfer Switches feature main contacts that overlap, permitting the transfer of electrical loads without power interruption. The switch transfers in a make-before-break mode if both sources are within acceptable parameters. Control logic continuously monitors source conditions and automatically determines whether the load transfer should be open (conventional non-overlap mode) or Closed-Transition. Available 150 through 4000 amperes.

Closed-Transition Transfer within 5 electrical degrees is achieved passively, without control of engine generator set. Therefore, no additional control wire runs are required between the ATS and engine generator set governor. Plus, protective relaying may not be required under normal operation since the contact overlap time is less than 100 milliseconds (consult your local utility on protective relay requirements).

Failure to synchronize indication, extended parallel time protection, and transfer switch lock out are standard features.

## Delayed-Transition Transfer Switching

ASCO Delayed-Transition Transfer Switches are designed to provide transfer of loads between power sources with a timed load disconnect position for an adjustable time period. Applications include older style variable frequency drives, rectifier banks, and load management applications.

- Available 150 through 4000 amperes.
- Utilizes reliable, field proven solenoid operating mechanisms.
- Mechanical interlocks to prevent direct connection of both sources.
- Indicator light (LED Type) for load disconnect position.
- Adjustable time delay for load disconnect position.

# ASCO<sup>®</sup> 4000 SERIES MICROPROCESSOR CONTROLLER

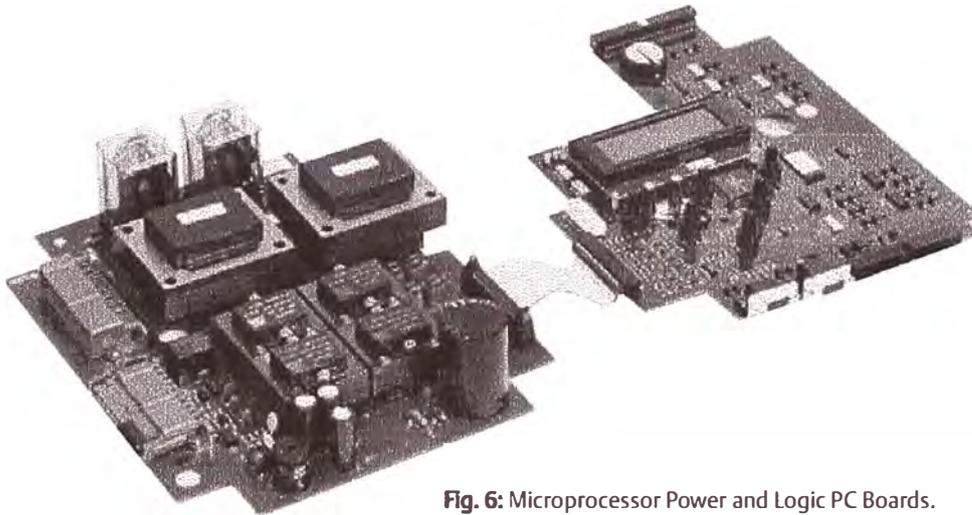


**Fig. 5:** 4000 SERIES Microprocessor Controller.

The 4000 SERIES microprocessor controller is used with all sizes of Power Transfer Switches from 30 through 4000 amperes. It represents the most advanced digital controller in the industry and includes, as standard, all of the voltage, frequency, control, timing and diagnostic functions required for most emergency and standby power applications.

Because of severe voltage transients frequently encountered with industrial distribution systems, the microprocessor logic board is separated and isolated from the power board as shown below. This improves electrical noise immunity performance and helps assure compliance with the rigorous transient suppression standards highlighted below.

The 4000 SERIES microprocessor controller is a Power Control Center which allows the user to easily access detailed information on: system, power source parameters, voltage, frequency and time delay settings, optional feature settings, historical event log, and system diagnostics. A four line, (20) character LCD has a backlit display which enables easy viewing under all conditions. The user can navigate through all screens using only six buttons.



**Fig. 6:** Microprocessor Power and Logic PC Boards.

| 4000 SERIES Microprocessor Controller               |                    |
|---|--------------------|
| Emission Standard - Group 1, Class A                | EN 55011:1991      |
| Generic Immunity Standard, from which:              | EN 50082-2:1995    |
| Electrostatic Discharge (ESD) Immunity              | EN 61000-4-2:1995  |
| Radiated Electromagnetic Field Immunity             | ENV 50140:1993     |
| Electrical Fast Transient (EFT) Immunity            | EN 61000-4-4:1995  |
| Surge Transient Immunity                            | EN 61000-4-5:1995  |
| Conducted Radio-Frequency Field Immunity            | EN 61000-4-6:1996  |
| Voltage Dips, Interruptions and Variations Immunity | EN 61000-4-11:1994 |

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Manual de Calidad de la Energía  
Pirelli – Sica
- [2] Víctor Sánchez Huerta, “Perturbaciones en la Red Eléctrica”, Artículo Técnico del Dpto. de Ingeniería, Universidad de Quintana Roo, Volumen I  
[http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006\\_Vol\\_1/Num\\_1/VS\\_vol\\_I\\_33-38\\_2006.pdf](http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/VS_vol_I_33-38_2006.pdf)
- [3] Josep Balcells Sendra, “Calidad y uso racional de la Energía Eléctrica”, Manual Circuitur S.A.
- [4] Ernesto Noriega Stefanova, “Generalidades sobre los Armónicos y su influencia en los Sistemas de distribución de Energía”, enero 2005  
<http://www.monografias.com/trabajos21/armonicos/armonicos.shtml>
- [5] Mario Franco, “Topologías de UPS”, Nota Técnica N° 4, Fasor S.A. de C.V., enero 2007  
[http://www.fasor.com.sv/nota\\_tecnica\\_4.pdf](http://www.fasor.com.sv/nota_tecnica_4.pdf)
- [6] Procobre “Calidad de Energía”, Artículo Técnico,  
[http://www.procobreperu.org/c\\_calidadelec.pdf](http://www.procobreperu.org/c_calidadelec.pdf)
- [7] Eugenio Téllez Ramírez, “Distorsión Armónica – Programa de Ahorro de Energía”, Artículo Técnico de Automatización, Productividad y Calidad S.A. de C.V.  
<http://www.coeba.com.mx/docs/distorsion.pdf>
- [8] Kevin McCarthy, “Comparación de Configuraciones de Diseño de Sistemas UPS”, Informe Interno N° 75, revisión 1, American Power Conversion, 2005  
[http://www.apcmedia.com/salestools/SADE-5TPL8X\\_R1\\_LS.pdf](http://www.apcmedia.com/salestools/SADE-5TPL8X_R1_LS.pdf)
- [9] Jos Arrillaga, Bruce C. Smith, Neville R. Watson, Alan R. Wood, “Power System Harmonic Analysis”, Editorial John Wiley & Sons, 1997
- [10] IEEE Industry Application Society / Power Engineering Society, “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”, abril 12, 1993
- [11] Mauricio Ardón, “Importancia del factor K en transformadores”, Nota Técnica N° 2 Fasor power Quality, 2006  
[http://www.fasor.com.sv/nota\\_tecnica\\_2.pdf](http://www.fasor.com.sv/nota_tecnica_2.pdf)

- [12] Federal Pacific Transformer Company, “Dry – Type Transformers”, Boletín 7700 – 99, 1999  
<http://www.powertransformer.us/federalpacifick-factortransformers.htm>
- [13] Staff Marketing e Ingeniería Power Quality, “Distorsión Armónica”  
[http://www.pqint.com/docs/pqboletin/pq%20boletin\\_0104-04.ppt](http://www.pqint.com/docs/pqboletin/pq%20boletin_0104-04.ppt)
- [14] Código Nacional de Electricidad, Tomo V “Utilización”, Ministerio de Energía y Minas, 2006
- [15] Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI “Conductores Eléctricos. Cables de energía con aislamiento extruido y sus accesorios para tensiones nominales desde 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) hasta 30 kV ( $U_m = 36$  kV). Parte 1: Cables para tensiones nominales de 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) hasta 3 kV ( $U_m = 3,6$  kV) Norma Técnica Peruana NTP – IEC 60502 - 1  
<http://www.bvindecopi.gob.pe/normas/iec60502-1.pdf>
- [16] Manual de Usuario UPS marca Liebert modelo NX
- [17] Manual de Usuario de Interruptores de transferencia automática STS, marca ASCO serie 4000