

30



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

LA CALIDAD DE LA ENERGIA EN  
INSTALACIONES HOSPITALARIAS

T E S I S

Que para obtener el Título de  
INGENIERO MECANICO-ELECTRICISTA  
(AREA ELECTRICA-ELECTRONICA)

P r e s e n t a n

**ECHAZARRETA FERRAEZ; SAUL ALFREDO**  
**ROLDAN VAZQUEZ RAUL ALFREDO**



Director de Tesis:

Ingeniero Augusto Octavio Hintze Valdez

México, D. F.

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Dedicatorias:

A México, el país que amo entrañablemente y espero siempre enaltecer.

A La Universidad Nacional Autónoma de México, Madre Pía ,  
con filial gratitud.

A La Facultad de Ingeniería, Alma Máter, con profunda  
devoción.

Saúl Echazarreta Ferréaz.

---

A mi madre, que sin su apoyo nunca hubiera logrado este sueño.

A mis hermanos, que gracias a su motivación pude salir  
adelante.

Alfredo Roldan Vázquez.

Introducción.....	1
<b>1 Requerimientos De La Carga Y El Manejo De Energía.....</b>	<b>3</b>
1.1 Introducción.....	3
1.1.1 Cargas.....	3
1.1.2 Grupos de Cargas.....	3
1.1.3 Crecimiento de la Carga.....	3
1.1.4 Utilización de la Energía.....	4
1.2 Cargas Vs Tipo de Instalación.....	4
1.3 Cargas de Alumbrado.....	5
1.3.1 Demanda de Alumbrado.....	5
1.4 Cargas de Potencia.....	6
1.4.1 Equipamiento del Edificio.....	7
1.4.2 Equipo Funcional.....	9
1.4.3 Equipo Médico.....	10
1.5 Costo de la Energía.....	11
1.5.1 Negociaciones con la Compañía Suministradora del Servicio Eléctrico.....	13
1.6 Fuentes Alternas.....	19
1.6.1 Consideraciones sobre el Diseño.....	20
1.6.2 Sistemas de Administración de Energía.....	21
<b>2 Distribución Del Sistema Eléctrico De Potencia.....</b>	<b>25</b>
2.1 Introducción.....	25
2.2 Clasificación de los circuitos.....	25
2.3 El equipo eléctrico y su instalación.....	30
2.3.1 Transformadores.....	31
2.3.2 Tableros de Distribución, Tableros Generales y Centro de Control de Motores.....	32
2.3.3 Dispositivos de protección.....	32
2.3.4 Conmutadores o Sistemas de Transferencia Automáticos y No - Automáticos.....	34
2.3.4.1 Tipos de Cargas.....	35
2.3.4.2 Valores Nominales del Voltaje.....	44
2.3.4.3 Valor Nominal de la Corriente en Régimen Continuo.....	44
2.3.4.4 Valores Nominales de las Corrientes de Sobrecarga y de Falla.....	45
2.3.4.5 Monitoreo de la Fuente.....	45
2.3.4.6 Retrasos de Tiempo.....	46
2.3.4.7 Señales de Control de Entrada y Salida.....	47
2.3.4.8 Mecanismo de Conmutación Principal.....	48
2.3.4.9 Operación del Sistema.....	48
2.3.4.10 Conmutadores (switches) de Transferencia No - Automáticos.....	50
2.3.4.11 Varios Conmutadores de Transferencia Vs. Uno Solo.....	51

2.3.5	Generador.....	52
2.3.6	Tableros de Distribución.....	53
<b>3</b>	<b>La Calidad De La Energía.....</b>	<b>54</b>
3.1	Introducción.....	54
3.1.1	Crecimiento de Cargas Perturbadoras.....	55
3.1.2	El Concepto de la Calidad de la Energía.....	56
3.2	Clasificación de Disturbios.....	56
3.2.1	Origen de los Disturbios.....	57
3.2.2	Disturbios Frecuentes.....	60
3.3	Fundamento de las armónicas.....	64
3.3.1	Efecto de las corrientes armónicas.....	65
3.4	Disturbios en el Voltaje en el Sistema de Distribución de la Compañía.....	66
3.5	Interacciones entre la Fuente de Potencia y la Carga.....	67
3.5.1	Características de las Fuentes de Disturbios Transitorios de Voltaje.....	67
3.5.1.1	Cargas en Pasos.....	67
3.5.1.2	Corrientes de Inrush (Motores, filtros LC en Línea y fuentes de potencia).....	68
3.5.1.3	Corrientes de Falla.....	68
3.5.1.4	Interacciones del Regulador de Voltaje.....	69
3.5.2	Impactos Potenciales por Disturbios Transitorios en el Voltaje.....	69
3.5.2.1	Pérdida Completa de la Potencia de CA en las Cargas Electrónicas.....	69
3.5.2.2	Diferencias en el Voltaje por Corto Tiempo.....	69
3.5.2.3	Desplazamiento del Ángulo de Fase Transitorio por Cambios en la Carga Reactiva.....	70
3.5.2.4	Perturbación de los Datos.....	70
3.5.2.5	Variaciones de Frecuencia y Slew - Rate (razón de cambio de frecuencia).....	70
3.5.3	Fuentes Características de la Distorsión del Voltaje en Estado Estable.....	70
3.5.3.1	Cargas No Lineales.....	70
3.5.3.2	Cargas Reactivas.....	71
3.5.4	Impactos Potenciales de las Distorsiones de Corriente en Estado Estable.....	72
3.5.4.1	Resonancia Debida a las Corrientes Armónicas de la Carga.....	72
3.5.4.2	Calentamiento debido a una Fuente de Voltaje no Senoidal.....	72
3.5.4.3	Efectos del Desplazamiento del Ángulo de Fase (Factor de Potencia).....	72
3.5.4.4	Diferencias de la Forma de la Onda de Voltaje entre Subciclos.....	72
3.6	Ondas de Voltaje (Surges).....	73
3.6.1	Fuentes Características.....	73

3.6.1.1 Ondas por Maniobra.....	73
3.6.1.2 Ondas Inducidas por el Medio Ambiente.....	75
3.6.1.2.1 Ondas Inducidas por Descargas Atmosféricas.....	75
3.6.1.2.2 Redistribución de Carga Atmosférica sin Arco.....	76
3.6.1.2.3 Descargas Electrostáticas (C.E.).....	77
3.6.2 Interacción con Cables enterrados.....	77
3.6.3 Interacción con los Conductores sobre Tierra.....	78
3.6.4 Impacto Potencial.....	78
3.6.4.1 Interrupción de los Datos.....	79
3.7 Dispositivos recomendados para elevar la calidad de la energía.....	80
3.7.1 Transformadores de Aislamiento.....	80
3.7.2 Filtros contra Ruido.....	82
3.7.3 Filtros para Corrientes Armónicas.....	83
3.7.4 Supresores de Ondas de Sobrevoltaje.....	84
3.7.5 Reguladores de Voltaje.....	85
3.7.5.1 Cambiadores de Taps.....	86
3.7.5.2 Reguladores Buck - Boost (Cargar - Aumentar).....	87
3.7.5.3 Transformadores de Voltaje Constante.....	88
3.7.6 Acondicionadores de Potencia.....	89
3.7.7 Sintetizador Magnético.....	89
3.7.8 Sistemas de emergencia.....	90
3.8 Resumen de Dispositivos que Mejoran la Potencia.....	91
3.9 Ejemplo de cálculo del factor K.....	92
3.10 Ejemplo de Corrección de Factor de Potencia.....	98
<b>4 Sistemas de Emergencia.....</b>	<b>109</b>
4.1 introducción.....	109
4.2 Grupos Motor - Generador.....	109
4.2.1 Ubicación.....	110
4.2.2 Montaje.....	110
4.2.3 Aislamiento de Vibraciones.....	110
4.2.4 Enfriamiento.....	112
4.2.5 Temperatura.....	115
4.2.6 Arranque.....	116
4.2.7 Gobernador.....	118
4.2.8 Valores Nominales.....	119
4.2.9 Dimensión del Alternador.....	120
4.2.10 Regulador de Voltaje.....	122
4.2.11 Operación en Paralelo.....	124
4.2.12 Excitadores.....	129
4.2.13 Toma de la Carga.....	129
4.2.14.Pruebas de operación.....	130
4.3 Controles del Grupo Motor – Generador.....	130
4.3.1 General.....	130
4.3.2 Controles de Seguridad.....	131
4.3.3 Arranque Automático.....	132
4.3.4 Dispositivos Contenido en el Panel de Control del Grupo Motor – Generador.....	133

4.3.5	Anunciador Remoto.....	133
4.4	Cargadores para las Baterías de Arranque.....	134
4.4.1	Descripción General.....	134
4.4.2	Definición de Términos.....	135
4.4.3	Valores Nominales del Cargador.....	136
4.4.4	Cálculo del Cargador.....	138
4.4.5	Ventajas y Desventajas de las Celdas de Plomo - Ácido y de Níquel Cadmio.....	141
4.4.6	Efecto Memoria de las Batería de Níquel Cadmio.....	141
4.4.7	Características Típicas de Comportamiento.....	143
4.4.8	Características de los Accesorios Opcionales.....	143
4.4.9	Información Sobre la Instalación y el Mantenimiento.....	144
4.5	Sistemas para Sincronización y Control en Paralelo en Instalaciones con Varios Grupos M - G.(Motor-Generador).....	145
4.5.1	Conexión en Paralelo.....	145
4.5.2	Consideraciones Sobre el Gobernador del Grupo Motor - Generador.....	147
4.5.3	Conexión en Paralelo al Azar.....	147
4.5.4	División de la Carga.....	148
4.5.5	Para Establecer la Prioridad entre las Cargas.....	148
4.5.6	Corte de Carga.....	148
4.5.7	Medios para la Conexión de la Carga.....	149
4.5.8	Operación de un Sistema Típico.....	149
4.5.9	Que Sensor en Sistemas de Generadores en Paralelo.....	152
4.5.10	Fuentes de Poder para la Lógica de Control.....	157
4.5.11	Instrumentación.....	159
4.5.12	Interruptor de Potencia del Generador.....	159
4.6	Suministradores de Potencia en Forma Ininterrumpida (UPS).....	160
4.7	UPS ESTÁTICA.....	161
4.8	UPS Rotatoria.....	164
4.9	Procedimiento de cálculo de una planta de emergencia.....	169
4.9.1	Ejemplo de compilación de datos y cálculo de la capacidad de la planta de emergencia.....	172
<b>5</b>	<b>Planeación Para El Cuidado Del Paciente.....</b>	<b>178</b>
5.1	Introducción.....	178
5.2	Cableado de Dispositivos.....	178
5.2.1	General.....	178
5.2.2	Receptáculos grado Hospital.....	179
5.2.3	Receptáculo de tierra aislada "Grado Hospital".....	179
5.2.4	Receptáculos Resistencia - Seguridad "Grado Hospital".....	180
5.2.5	Receptáculos - Interruptores de falla a tierra y Circuito Interruptor de Falla a Tierra "Grado Hospital".....	180
5.2.6	Receptáculos en áreas de Anestesia.....	181
5.2.7	Enchufes y Receptáculos para Radiografía Móvil.....	181
5.2.8	Placas de Pared.....	182
5.2.9	Unidades de Cabecera.....	182
5.2.10	Consolas de Pacientes.....	183

5.3 Áreas Típicas de cuidado de pacientes. ....	183
5.3.1 Cuartos de Pacientes.....	184
5.3.2 Áreas de Cuidado Coronario.....	185
5.3.3 Áreas de cuidado intensivo.....	186
5.3.4 Departamento de Emergencia. ....	187
5.3.5 Sala Quirúrgica. ....	188
5.3.6 Pediatría.....	189
5.3.7 Sala de Recién Nacidos.....	190
5.3.8 Áreas de Cuidado Psiquiátrico.....	192
<b>Conclusiones.....</b>	<b>193</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>195</b>



## Introducción.

Así como la profesión médica crece día con día, cada vez más esta área depende de equipos e instrumentos eléctricos y electrónicos de mayor complejidad, por lo que el diseño de la distribución del sistema de energía eléctrica para instalaciones hospitalarias se está convirtiendo crecientemente en algo más complejo.

Se requiere una selección adecuada de los componentes y arreglos del sistema para que la instalación hospitalaria pueda dar un servicio adecuado a sus pacientes, así como contar con un servicio eléctrico seguro, confiable y económico.

La pérdida total o parcial del sistema de energía eléctrica en una institución hospitalaria puede causar problemas graves; la pérdida de la energía en los sistemas de alumbrado en algunas áreas estratégicas hace difícil o imposible realizar algunas tareas médicas de gran importancia, así como suministrar medicina, desempeñar procedimientos quirúrgicos, o cumplir con algunos trabajos de laboratorio.

La pérdida de energía en los equipos de refrigeración de los bancos de tejido, hueso, sangre y órganos humanos, puede dejar a la institución hospitalaria sin recursos vitales, si es que estos llegaran a necesitarse; y todavía más grave, la pérdida de energía en los equipos usados para la preservación de la vida (bombas para el corazón, máquinas de diálisis, etc.) puede ser fatal.

Obviamente la continuidad en el servicio eléctrico debería ser uno de los criterios de mayor importancia en el diseño del sistema eléctrico. Pero la seguridad es el criterio que en particular toma mayor importancia en el diseño del sistema eléctrico en un hospital, debido a las siguientes razones:

A) el personal médico está frecuentemente en contacto con aparatos eléctricos durante sus actividades diarias.

B) los pacientes son vulnerables a descargas eléctricas. Debido a su debilidad, anestesia y/o inconsciencia; algunas descargas eléctricas que pudieran no afectar

a personas saludables, pueden ser fatales para los pacientes que se encuentran en un estado de salud deplorable.

C) es necesaria la seguridad para el personal de mantenimiento que acude diario o semanalmente y está en contacto con el sistema de distribución, ya sea por el mantenimiento de rutina o, por la instalación o renovación de equipo médico.

El último criterio básico en el diseño es el aspecto económico; el apremio generalizado por reducir el costo del cuidado de la salud y por desarrollar cada vez un mercado más competitivo en el área de la salud, ha intensificado la necesidad de diseños eléctricos más económicos.

El diseñador debe considerar los costos iniciales, así como los gastos de operación del sistema eléctrico. Además, el diseñador debe observar en el diseño la posible expansión del sistema y que dicho crecimiento sea viable económicamente.

## **CAPÍTULO 1**

### **REQUERIMIENTOS DE LA CARGA Y EL MANEJO DE ENERGÍA.**

#### **1.1 Introducción.**

Como con otros tipos de edificios, la determinación de las cargas a alimentar por el sistema eléctrico es fundamental para el diseño de una instalación al cuidado de la salud. Igualmente importante es la aplicación económica de materiales, mano de obra, y dispositivos eléctricos que alimenten las cargas identificadas. Como una meta, toda la instalación debe alimentar las cargas iniciales, proporcionar un margen para ampliaciones y debe fomentar el uso eficiente de la energía.

##### **1.1.1 Cargas.**

Uno de los propósitos de este capítulo es ayudar al diseñador a estimar las cargas generalmente encontradas en las instalaciones hospitalarias y mostrar el rango típico de potencia requerido por las cargas.

##### **1.1.2 Grupos de Cargas.**

El efecto acumulado de grupos de cargas individuales es uno de los determinantes del diseño del sistema de distribución. Este capítulo proporciona información de los hospitales que están en operación, la cual es útil para proyectar la demanda total en otra instalación. En forma análoga, se presenta el perfil para un tipo de instalación en particular. Se advierte, que tal información debe contemplarse dentro del espacio que ocupa por ser una instalación en particular. Esto es, la información es indicativa de un edificio específico en un punto del tiempo específico y no puede ser totalmente extrapolada a un perfil típico.

##### **1.1.3 Crecimiento de la Carga.**

Los patrones que norman a las instalaciones al cuidado de la salud han cambiado rápidamente en los años recientes, y como las ciencias biológicas continúan avanzando, se puede esperar que haya modificaciones a los patrones en el futuro. Estos avances imponen en las instalaciones al cuidado de la salud, la necesidad de adaptarse a las cambiantes demandas que existen y que son de diversas clases. El diseñador de los sistemas eléctricos debe planear ante el

cambio inevitable y debe anticipar un crecimiento de las cargas durante la vida útil de la instalación. De hecho, la persona que diseña, reconoce la naturaleza dinámica de las instalaciones hospitalarias, esto da como resultado la ampliación de la vida útil del lugar. Obviamente, es importante saber el tipo de instalación, puesto que definirá que futuros cambios se puedan presentar. Los hospitales para la docencia son más propensos al cambio a diferencia de los hospitales para la comunidad en general, y estos últimos presentan la misma situación si los comparamos con las instalaciones que atienden pacientes de cuidado intensivo.

#### **1.1.4 Utilización de la Energía.**

El diseño del sistema eléctrico afecta la energía requerida para operar una instalación a lo largo de su vida útil. Esta consideración debe ser tomada en cuenta al realizar el diseño, puesto que las cargas a alimentar afectarán en el futuro todo el complejo eléctrico. Otro propósito de este capítulo es presentar información que ayude a reducir las incógnitas que se le presentan al diseñador, y resultará en una instalación más eficiente. Adicionalmente, se discutirán técnicas para la administración de la energía.

#### **1.2 Cargas Vs Tipo de Instalación.**

Hay muchos tipos de instalaciones al cuidado de la salud. La densidad de carga para todo el edificio variará dependiendo del tipo de instalación. Se puede esperar que los hospitales de docencia y generales ofrezcan el espectro más amplio de tipos de carga y produzcan la más alta concentración de carga por metro cuadrado. Por el contrario, las instalaciones de cuidado mínimo producirán generalmente una concentración de carga baja.

Las clínicas para pacientes externos y los consultorios médicos, serán similares a los edificios comerciales, excepto en donde se cuenten con laboratorios e instalaciones radiológicas. Los hospitales psiquiátricos, las instalaciones de cuidado mínimo, las residencias para las tercera edad, y algunos centros de rehabilitación médica comparten un vínculo común ya que grandes porciones de ellas se dedicarán a atender a los pacientes.

De tal forma, la densidad de carga ( $\text{Watt/m}^2$ ) se verá influenciada en forma importante por el carácter de la instalación.

### 1.3 Cargas de Alumbrado.

Las cargas impuestas por los sistemas de alumbrado son función de diversas variables, entre las cuales se tiene.

- Tareas a realizar.
- Calidad y cantidad de la iluminación requerida.
- Selección de las fuentes de iluminación.

El diseño para el alumbrado de algunas áreas será similar a las de los edificios comerciales. Otros espacios requerirán la aplicación de técnicas de alumbrado específicas. Entre estos últimos están los cuartos de los pacientes, las unidades de cuidado intensivo, las enfermerías, y las salas quirúrgicas y obstétricas. En todos los casos se deben aplicar técnicas de alumbrado, sobre la base de la filosofía de la administración de energía y la capacidad óptima del sistema de distribución.

#### 1.3.1 Demanda de Alumbrado.

Como con otros tipos de carga, se deben aplicar factores de demanda a las cargas de alumbrado cuando se determina la capacidad del componente del sistema de distribución. El factor apropiado dependerá de todos o algunos de los siguientes factores:

- Función realizada en el área alimentada
- Medios para el control de alumbrado.
- Horas de operación para el área alimentada

Como límite superior, la carga continua suministrada por un circuito ramal de alumbrado no debe exceder el 80% de la capacidad de suministro de corriente. Como una buena práctica de diseño, la carga continua suministrada no debe exceder del 70% de la capacidad del ramal. La norma permite el uso de factores de demanda para el cálculo de los alimentadores que abastecen a cada área de alumbrado. Refiérase a la tabla 1. Sin embargo, los que diseñan deben desarrollar sus propios factores sobre la base de las características de un proyecto específico, consistente con las restricciones impuestas por las autoridades. Los

factores mostrados en la tabla 1 se pueden utilizar para dimensionar los componentes del sistema de distribución sugerido por un diseño conservador. Los factores deben aplicarse a la carga de alumbrado conectada en el primer paso, y luego, al producto que resulta de los pasos previos a medida que el diseñador procede con el sistema.

COMPONENTE DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	FACTOR DE DEMANDA DE ALUMBRADO
Bus del panel de alumbrado y dispositivo de sobrecorriente principal.	1
Alimentador del panel de alumbrado y dispositivo de sobrecorriente del alimentador.	1
Bus del panel de distribución y dispositivo de sobrecorriente principal.	
⇒ Primeros 50 kW	0.5
⇒ Arriba de 50 kW	0.4
Componentes restantes.	0.4

**Factores para dimensionar el sistema de distribución.**

**Tabla 1**

#### 1.4 Cargas de Potencia.

Las cargas de potencia se dividen en 3 amplias categorías, que son:

##### 1) Equipo del edificio.

- a) Calefacción, ventilación, aire acondicionado.
- b) Transportación (elevadores, escaleras eléctricas).
- c) Bombas auxiliares (incendio, cárcamos, aire clínico y vacío).

## 2) Equipo funcional

- a) Cocina.
- b) Procesamiento de datos.
- c) Sistemas de comunicación.
- d) Máquinas de oficina y equipo de copiado.

## 3) Equipo médico.

- a) Rayos X.
- b) Terapia por radiación
- c) Laboratorio.
- d) Cirugía.
- e) Cuidado intensivo, recuperación y emergencia.
- f) Terapia física y ocupacional.
- g) Terapia por inhalación.
- h) Farmacia.
- i) Administración de sustancias y materiales.
- j) Registros médicos.

NOTA: Las cargas principales se presentan en las primeras dos categorías y son similares a aquellas que existen en edificios comerciales. La tercera categoría es única en instalaciones hospitalarias.

### 1.4.1 Equipamiento del Edificio.

Los diferentes sistemas que existen en la instalación como el de calefacción, ventilación y aire acondicionado seleccionados para un edificio específico tienen un efecto individual muy importante en el sistema eléctrico. Primero, la selección del combustible será de gran importancia. Si es gas natural o aceite combustible, las cargas eléctricas son menores que si se hubiera escogido la electricidad como fuente de energía. Segundo, la selección del ciclo de refrigeración tendrá un impacto considerable; si se escogen enfriadores de absorción, las cargas eléctricas son menores que aquellas impuestas por enfriadores eléctricos centrífugos o recíprocos. Es muy importante hacer una evaluación profunda entre los diseños mecánicos y eléctricos para que de esta forma se pueda planear la distribución del sistema eléctrico. Para una estimación inicial antes de conocer las cargas reales, se pueden usar los factores mostrados

en la tabla 2, con ellos podemos determinar los principales elementos del sistema eléctrico que conforman los sistemas de AVCA (Alto Voltaje de Corriente Alterna).

EQUIPO	UNIDAD
<b>Máquinas de refrigeración</b>	<b>kVA/Ton De Capacidad De Enfriamiento</b>
➤ Absorción	1
➤ Reciprocante	1
➤ Centrífuga.	1
<b>Bombas auxiliares y ventiladores.</b>	
➤ Bombas de agua fría.	0.08
➤ Bombas de agua condensada.	
- Absorción	0.15
- Centrífuga/Reciprocante	0.07
➤ Ventiladores de torre de enfriamiento	
- Absorción	0.10
- Centrífuga/Reciprocante	0.07
<b>Calderas</b>	<b>kVA/HP de la caldera</b>
- Gas Natural/Aceite Comb.	0.07
<b>Equipo Auxiliar:</b>	<b>kVA/Cama</b>
- Bombas de vacío clínico.	0.18
- Compresores de aire clínico.	0.10

Tabla 2

Los elevadores son generalmente cargas grandes, pero como solo se requieren unos cuantos en la mayoría de las instalaciones al cuidado de la salud, no representan una porción grande del total de la carga. Suponiendo un diseño preliminar del sistema de distribución de hasta 12 pisos, con velocidades verticales



de hasta 140 metros por minuto y una capacidad de 2000 kilogramos, se pueden usar las siguientes recomendaciones:

Elevadores de Tracción Eléctrica	35 - 50 HP
Elevadores hidráulicos	40 - 75 HP

Los elevadores hidráulicos no se emplean normalmente en edificios de más de 7 pisos y las velocidades estarán generalmente limitadas a 45 m/min. Sin embargo, las capacidades podrán ser de más de 2000 kilogramos. Los valores de cargas reales se deben obtener del vendedor del equipo una vez que los requerimientos de transporte vertical han sido lo suficientemente definidos para permitir el cálculo. Las escaleras eléctricas no se usan usualmente en las instalaciones al cuidado de la salud, pero pueden emplearse en algunos edificios. Para un estimado inicial, la carga de una escalera es de aproximadamente 25 HP por cada piso alimentado.

#### 1.4.2 Equipo Funcional.

Este tipo de equipo consiste usualmente de numerosas cargas pequeñas, excepto aquellas utilizadas en cocinas y algunas copadoras de oficina. El efecto en el sistema eléctrico es que requiere de un panel y múltiples circuitos ramales pero de baja densidad de carga. La selección del combustible en la cocina es el principal determinante. Si el combustible primario es gas natural, las cargas eléctricas serán menores en una base de Watt por metro cuadrado, que cuando la electricidad es el combustible primario. Para propósitos de estimación se pueden usar las siguientes características al calcular el área del piso de la cocina: cocimiento y preparación, lavado de platos, área de almacenaje o despensa, cuarto refrigerador/congelador, líneas de preparado de alimentos, espacio para charolas y oficinas.

Combustible primario	Watt/ m <sup>2</sup> (Eléctricos)
Gas natural	245
Electricidad	1220

El equipo de cómputo se emplea en varias áreas de un hospital típico. Como mínimo, se pueden anticipar sistemas autosoportados para pacientes, contabilidad general y para análisis de laboratorio. Sin embargo, es común encontrar actualmente todos estos integrados, dentro del sistema de administración de información en todo el hospital. Tales sistemas usan muchas estaciones de entrada en toda la instalación con el propósito de producir un documento unificado del paciente al momento de darlo de alta, además del control de inventario, facturación, porciones del registro médico de los pacientes, comunicaciones, etc.

Como en otro tipo de instalaciones, los requerimientos de potencia para computo son generalmente moderados en donde se ubica el servidor, y bajos en las estaciones de trabajo distribuidas en la instalación. La carga total en la sala de computo central no excede de los 45 kVA, ocasionalmente sistemas grandes o varios sistemas ubicados en un mismo lugar pueden requerir hasta 75 kVA.

En estaciones con monitores o teletipos la demanda de potencia no excede 1 kVA. Mientras la cantidad de potencia es importante, la calidad y confiabilidad del voltaje suministrado es igualmente importante. Es común el uso de transformadores de aislamiento, que incluyen con frecuencia pantallas electrostáticas; sin embargo hay excepciones, el uso de UPS, Sistema Ininterrumpible de Potencia por sus siglas en inglés (Uninterruptible Power Source) no es una práctica común como debe de suponerse. Sin embargo, podría ser deseable que el servicio fuera tan directo de la fuente como sea posible.

La demanda de potencia de los sistemas de comunicación, como cargas individuales o como un todo, es baja. Las cargas individuales no exceden generalmente los 2 kVA, siendo la mayoría de menos de 1.5 kVA.

Como en otras estructuras comerciales, existe una gran cantidad de equipo de oficina (máquinas de escribir, computadoras, copiadoras) pero la potencia requerida es baja, del orden de 0.3 a 1.2 kVA por equipo. La excepción son las máquinas de copiado grandes, éstas se estiman de 3 a 6 kVA cada una.

#### **1.4.3 Equipo Médico.**

Los sistemas de distribución de potencia que alimentan las instalaciones de las máquinas de rayos X requieren atención especial. El que diseña debe

apegarse a la información específica proporcionada por el vendedor que surte el equipo.

Nuevamente la calidad del voltaje suministrado es importante. En las instalaciones de rayos X, un servicio tan directo de la fuente como sea posible es deseable. Es esencial minimizar los disturbios transitorios y las caídas de voltaje.

Aunque la demanda momentánea de las instalaciones de rayos X es parte importante para dimensionar el equipo y el alimentador de distribución, no se necesita considerarla para calcular la demanda total de potencia impuesta a la fuente, siempre que sea parte de un sistema de tamaño moderado. Si el sistema requiere 750 kVA o más, la naturaleza momentánea de la operación de los rayos X no agregará una medida a la demanda total. Para sistemas pequeños y para ampliación de las instalaciones existentes donde el equipo está cerca de su capacidad, se recomienda prever algo para la demanda por rayos X.

Los laboratorios clínicos en hospitales, requieren numerosos circuitos ramales para alimentar la multitud de dispositivos eléctricos, pero la densidad de carga es generalmente baja y en forma particular están por debajo de 1 kVA. En los laboratorios actuales, algunos equipos llevan a cabo muchas pruebas especializadas; estas cargas son de entre 3 y 8 kVA cada una. Estos mismos dispositivos son frecuentemente sensibles a las condiciones transitorias en el sistema de potencia y pueden requerir la aplicación de supresores de picos de voltaje aplicados en el sitio.

### **1.5 Costo de la Energía.**

Existen varios métodos para determinar la relación Costo - Efectividad de diversos diseños del sistema. Común a todos hay dos elementos de costo básicos: El costo de implementar, o primer costo, y el costo neto obtenido por los ahorros. Dos de los métodos son: el costeo simple de retorno y costeo del ciclo de vida.

1) **Costeo simple de retorno.** El método más sencillo es el periodo de retorno. Este método para determinar la relación Costo - Efectividad de las medidas para el ahorro de energía se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Periodo de retorno} = \text{Primer Costo} / (\text{Ahorros Anuales} - \text{Costos Anuales})$$

El período de retorno se expresa en años. Los ahorros anuales son los ahorros de combustible en el primer año. Los costos anuales son el incremento en costos de mantenimiento debidos a la medida adoptada. El primer costo es el costo total por implementar la mejora.

Generalmente en este método de análisis se ignora lo siguiente:

- a) Costo del dinero: el interés anual del dinero prestado
- b) Costo de reemplazo: el costo por reemplazar equipo
- c) Inflación del combustible: el costo del combustible en años futuros
- d) Ahorro en impuestos: los ahorros por compra de equipo generado por los incentivos de impuestos federales
- e) Depreciación

Cuando el período de retorno es de 3 años o menos este método es lo suficientemente preciso para establecer una decisión.

**2) Costeo del ciclo de vida.** El costeo del ciclo de vida es un medio de evaluar el costo total de comprar, operar y mantener un edificio o pieza de equipo sobre su vida útil. Este método involucra una comparación sistemática de los costos estimados usando un factor de descuento que relacione el valor futuro al presente.

Los procedimientos requeridos para preparar un análisis del costo del ciclo de vida son:

- a) Establecer la información del costo de los no - combustibles, tanto inversión inicial como el costo recurrente o cíclico.
- b) Establecer la información del costo de la energía para el período de tiempo escogido.
- c) Determinar los costos del ciclo de vida.
- d) Determinar los ahorros netos.

e) Calcular la relación del ahorro a la inversión.

f) Medir la relación Costo – Efectividad.

### **1.5.1 Negociaciones con la Compañía Suministradora del Servicio Eléctrico.**

En la mayoría de los casos, la selección de una fuente de potencia será determinada por un análisis hecho por los ingenieros de diseño y los ingenieros de la compañía suministradora. Generalmente la selección es dictada por la economía y, con excepción de complejos con gran factor de carga, los costos favorecen la compra de electricidad para los requerimientos de potencia primaria de la mayoría de las instalaciones. La generación en sitio de la totalidad de la energía requerida y los sistemas de cogeneración pueden aparecer mas atractivos en los momentos en que la disponibilidad de combustible y las restricciones ambientales elevan los costos de las compañías suministradoras. Los equipos de generación de energía eléctrica de emergencia se usan en los hospitales para proporcionar potencia de emergencia a las cargas críticas ante la falla de la fuente principal, y se puede usar para reducir la demanda pico de la compañía suministradora de energía. El diseñador de los sistemas de potencia del hospital juega un papel importante en la selección de las características de la fuente de potencia y de la distribución dentro del complejo, y a través de sus selecciones, bajar los costos de la potencia a largo plazo. Para hacer decisiones costo/efectivo para los dueños, el diseñador debe reconocer las estructuras tarifarias de la compañía suministradora y las prácticas de medición y facturación:

1) **Tarifas de la compañía suministradora.** Cada compañía suministradora de electricidad tiene una serie de tarifas para ofrecer potencia a los clientes en condiciones diversas. Para lograr la selección más económica de obtener potencia, se debe hacer una comparación de estas tarifas. Los siguientes son factores que generalmente forman las bases para establecer las tarifas y evaluarlas:

- a) Demanda máxima en kW o kA.
- b) Consumo de energía en kWh.
- c) Ajuste por bajo factor de potencia
- d) Voltajes disponibles

- e) Adquisición del transformador de potencia de la subestación
- f) Ajuste por costo de combustible
- g) Intervalo de la demanda
- h) Estipulación de facturación mínima.
- i) Provisión de varias mediciones
- j) Cargos por servicio auxiliar o de emergencia
- k) Tarifas por estación o tarifas horarias
- l) Ahorros por pronto pago
- m) Previsiones para cargas fuera de pico y cargas interrumpibles

Cuando se comparan las nuevas tarifas "reformadas" con las tarifas anteriores, generalmente es difícil separar la reforma tarifaria y el incremento en tarifas. Cada consumidor se ve afectado en forma diferente sobre la base del tipo y programa de operación y a la cantidad de equipo de administración de la carga existente o planeada.

**2) Medición por parte de la compañía de suministro eléctrico.** Es importante entender las prácticas de medición de la compañía de suministro para valuar los arreglos del servicio. Las prácticas varían dependiendo de la compañía local y de los requerimientos del cuerpo regulador. El diseño, utilización y características de la carga para una aplicación dada deben ser cuidadosamente sopesados antes de seleccionar las características del voltaje y de la medición. Si están involucradas grandes demandas momentáneas, altamente estacionales, o cargas de bajo factor de potencia, se pueden tener cargos por penalización. Por otro lado, cargas con factor de potencia alto o con un factor de carga alto pueden merecer una bonificación o un crédito en la facturación.

Es una buena práctica ponerse en contacto con la compañía eléctrica que suministra el servicio en las primeras etapas del diseño. Cuando las negociaciones con la compañía suministradora son tardías, puede conducir a costos mas altos y retrasos en el servicio. Una discusión completa del servicio, medición y facturación deberá estar siempre en orden, no importa que tan preliminar se haga. Esto debe de proporcionar tiempo para la consideración de varias propuestas y seleccionar, de entre ellas la más adecuada para una aplicación dada.

a) *Medición por el Tipo de Premisas.* La disponibilidad de una clase particular de medición depende con frecuencia del tipo de edificio y de carga. Un edificio que se ocupa de una sola cosa, tal como un hospital, generalmente será medido por la compañía en el punto de entrada del servicio con un wattthorímetro de demanda.

En algunas instalaciones médicas, puede ser deseable submedir porciones del edificio, esto se podría presentar en los consultorios, farmacia de diferente propietario u otros espacios rentados a concesionarios dentro del proyecto. El consentimiento de la compañía suministradora debe de obtenerse en tales casos.

b) *Medición de acuerdo de la característica del servicio.* La medición del servicio se puede localizar en el lado de alto voltaje o en el de bajo voltaje del transformador, dependiendo de los términos del contrato con la compañía eléctrica. Cuando el medidor está en el lado de alta tensión, las pérdidas del transformador se cargarán al consumidor. En algunos casos, se le da un descuento al usuario para compensar esta pérdida.

c) *Ubicación del medidor.* Sujeto al acuerdo con la compañía suministradora, el medidor se puede instalar dentro del predio en el punto de la distribución secundaria del consumidor, en una caseta de medición adecuada o en un edificio de control separado que también puede alojar los equipos primarios de "switcheo" y los controles asociados.

Las instalaciones exteriores se pueden montar en postes, en una pared exterior, o en una tarima. En general las compañías requerirán tener acceso para tomar lecturas y dar mantenimiento al medidor, y que se proporcione una protección adecuada al mismo.

d) *Tipos de medición.* Abajo se tabulan varios tipos de medición. Los requerimientos de la compañía eléctrica gobiernan los tipos disponibles para un proyecto dado:

- I) Medición maestra
- II) Medición múltiple
- III) Medición primaria
- IV) Medición secundaria

- V) Medición totalizada
- VI) Medición por impulsos
- VII) Medición compensada
- VIII) Submedición
- IX) Medición sustractiva
- X) Demanda coincidente
- XI) Telemedición
- XII) Medición del factor de potencia

**3) Facturación de la compañía suministradora de electricidad.** Es costumbre que las compañías midan y facturen a cada consumidor individual. Las tarifas consideran generalmente requerimientos de costo fijo y variable para proporcionar los servicios. De aquí que "los programas tarifarios" tomen generalmente la forma de una tarifa en "bloque", en donde los costos por servicio incrementado varían usualmente en función de la utilización. Los costos por servicio eléctrico tienen generalmente dos componentes, el cargo por demanda y el cargo por energía. El cargo por demanda se basa en la tasa máxima de la utilización de la energía. El cargo por energía se basa en el consumo total de energía. A muchas compañías se les ha permitido agregar factores de costo variable a sus tarifas. Para complejos hospitalarios, la medición primaria y las formas de facturación son:

a) *Facturación conjunta.* Los clientes institucionales grandes dentro del territorio alimentado por una compañía dada, pueden explorar la disponibilidad de facturación conjunta. Esto consiste en agregar la lectura de dos o más medidores con el propósito de hacer una sola factura. Debido a la práctica usual de precios decrecientes para consumos más grandes, la facturación conjunta puede conducir a una facturación menor por el uso de energía que el uso de medidores individuales podría producir. La facturación conjunta generalmente resulta en un cargo por demanda más alto que un medidor maestro o totalizador porque se agregan las lecturas de demanda máxima en los medidores individuales. Como las demandas máximas raramente ocurren en forma simultánea, la suma aritmética será más grande que la suma simultánea, a menos que se hagan previsiones para la medición de demanda coincidente.

b) *Facturación del factor de potencia.* Si la carga por alimentar tiene un bajo factor de potencia, es posible hacer una evaluación para determinar si se



puede justificar realizar mejoras en el factor de potencia para evitar penalizaciones.

c) *Tarifas continuas.* Algunas aplicaciones involucran alimentar cargas con una característica fija. Para tales cargas, la compañía puede ofrecer una tarifa fija o sin medidor. La tarifa se basa por las características de la carga y tiempo. Los ejemplos incluyen alumbrado por áreas y estaciones de bombeo remotas.

d) *Tarifa fuera de pico.* Esta es una tarifa reducida por servicios que se utilizan en los periodos fuera de pico tales como calentamiento de agua. La compañía monitorea y puede controlar, la utilización fuera de pico utilizando equipo de control o equipo especial.

e) *Facturación por servicio en standby.* También conocido como servicio auxiliar o por avería, este servicio se aplica a los consumidores cuyos requerimientos eléctricos no se suministran completamente por la compañía. En tales casos, la demanda facturada se determina ya sea como un porcentaje fijo de la carga conectada o por medición, dependiendo cual sea más alta. Esto se aplica a cargas que están conectadas eléctricamente a alguna otra fuente de suministro pero que para las cuales se requiere un servicio auxiliar o por avería.

f) *Facturación por servicio de respaldo.* Este servicio se proporciona usando mas de un circuito de la compañía solamente para conveniencia del usuario. El cliente con frecuencia soporta el costo de establecer el circuito adicional y las instalaciones asociadas. Generalmente cada servicio de respaldo se mide y se factura en forma separada.

g) *Facturación por demanda.* Generalmente esto representa una parte importante de la facturación del servicio eléctrico y es importante entender bien que es la medición por demanda y su tarifa. Un medidor de demanda eléctrica mide la tasa de uso de la energía eléctrica sobre un período de tiempo dado, generalmente, son intervalos de 15 minutos, 30 minutos, o 1 hora. El registrador de demanda sondea la tasa máxima del intervalo anterior, el registrador de demanda se restablece periódicamente cuando da lectura para propósitos de facturación.

*h) Facturación mínima por demanda.* Un cliente puede estar sujeto a una facturación mínima por demanda, que consiste generalmente de (a) Una cantidad fija o de (b) un porcentaje fijo de la demanda máxima establecida sobre un período de facturación previo. Este tipo de cargo, se puede aplicar a consumidores con demandas instantáneas altas, a clientes cuyas operaciones sean estacionales o a aquellos que han contratado el servicio por una capacidad específica. Los requerimientos del equipo y del servicio se deben revisar cuidadosamente para reducir o evitar cargos por facturación mínima por demanda.

Los contratos de la compañía también pueden incluir cláusulas especiales que establezcan cargos mínimos por operación sobre la base de la demanda máxima experimentada en el período previamente contratado, por ejemplo la demanda pico de un año establece la demanda mínima del año siguiente. Los diseñadores deben aconsejar a sus clientes que controlen la demanda pico por varias razones, especialmente donde el contrato de la compañía incluye una cláusula especial. Los clientes deben estar advertidos que un decremento importante en la demanda puede no reflejarse en ahorros por hasta 12 meses, a menos que se negocie una modificación a la cláusula especial.

*i) Facturación por factor de carga.* La relación de la demanda promedio en kiloWatts a la demanda pico en kilowatts durante un periodo de tiempo dado se conoce como el factor de carga. Muchas compañías ofrecen una rebaja o crédito cuando se usa un factor de carga alto, generalmente determinada evaluando cuantas horas durante el periodo de facturación se utilizó la demanda pico medida. Como un ejemplo de tal crédito la compañía puede proporcionar una tasa reducida por cierto número de kilowatts - hora que están en exceso de la demanda pico multiplicada por un número de horas dado (después de 360 h para un mes de 720 h o un factor de carga del 50%).

*j) Servicio interrumpible.* Una forma de cortar la carga pico que utilizan las compañías es el servicio interrumpible. Disponible primeramente para instalaciones grandes con cargas bien definidas que pueden ser rápidamente desconectadas. La compañía ofrece al cliente un crédito por estar dispuesto a realizar una reducción de la demanda hasta un nivel especificado por contrato, durante cualquier período de reducción solicitado. En caso de que el cliente no reduzca la demanda medida cuando menos a la demanda contratada, se le imponen severas penalizaciones financieras.

## 1.6 Fuentes Alternas.

El diseñador tiene responsabilidad con el cliente de investigar los ahorros potenciales de energía y recomendarlos con una ventaja razonable. Lo que sigue es digno de una investigación seria cuando sus retornos están dentro de 15 años. La consideración de formas alternas de energía es una parte del esquema de administración de energía total.

1) **Eólica.** Las máquinas eólicas son recomendadas solamente en aquellas áreas donde hay cuando menos una velocidad del viento promedio anual 21 km/h. Aunque se puede esperar que ellas produzcan su capacidad nominal solamente entre 22% y 38% del tiempo debido a que la carga grande en los hospitales sé podría encontrar un primer costo inicial importante y el retorno sería largo, a menos que los costos de potencia sean lo suficientemente altos para justificar su uso.

2) **Geotermia.** Los depósitos de vapor geotérmico han probado ser fuentes razonablemente económicas de potencia eléctrica. Pero nuevamente los costos iniciales son tan grandes que su uso está limitado a plantas de potencia centrales no a edificios en un sitio específico.

3) **Cogeneración en sitio.** La cogeneración en sitio es la producción de potencia eléctrica simultanea en el punto de utilización junto con la producción y uso de la energía calorífica que nace de forma indirecta de los procesos llevados acabo. Su principal atractivo es en el terreno económico puesto que la opción de producir energía resulta ser más eficiente, provocando que la energía sea más barata que la proporcionada por la compañía suministradora. El promedio para eficiencias del sistema de la potencia producida por una compañía es del 30%, mientras que la cogeneración en sitio en condiciones ideales puede lograr una eficiencia del sistema por encima del 90%.

La cogeneración cuando se usa en donde es generada, produce una eficiencia más alta, eliminando las perdidas por distribución y transmisión. Su eficiencia se incrementa aun más permitiendo que la energía sea usada tan cerca como sea posible en su forma original reduciendo las pérdidas de conversión de energía. La eficiencia también se incrementa con el uso de

calor de desperdicio para calentar agua domestica, calentar espacios y enfriamiento por absorción.

El equipo de generación no necesita ser grande, unidades paquete en el rango de 500 kW a 800 kW se tienen disponibles y han sido instalados en algunos hospitales para cubrir la demanda base.

4) **Celdas solares.** Las técnicas para la generación eléctrica con celdas fotovoltaicas y su almacenaje están cambiando tan rápidamente como lo ha hecho la tecnología de las computadoras en la década pasada. Los avances en la tecnología de las celdas esta abatiendo los costos, La conversión directa de la luz del sol sin partes móviles, bajo mantenimiento, sin la necesidad de técnicos especializados y larga vida, da por resultado que estos sistemas sean adecuados para un rango amplio de aplicaciones.

5) **Ahorro por demanda pico.** En lugar de un método alterno de generar su propia potencia, esta es una técnica que disminuye el cargo por demanda mensual controlando o programando las cargas de tal manera que no excedan un limite presente. Sin embargo, las cargas en los hospitales no son tan colapsables como otras. El generar potencia de un sistema en standby es una alternativa.

Los muchos argumentos en pro y en contra por usar los generadores de emergencia existentes, quedan reducidos a una sola cuestión. ¿Lo permitirán las autoridades locales en edificios? Si no, uno puede emplear solamente el corte de carga convencional. Si es así, un análisis de la carga que puede ser tirada nos dará suficiente información para estimar un simple retorno. Además, puede ser posible usar los mismos generadores de emergencia en standby requeridos por las normas, sin agregar generadores adicionales.

### **1.6.1 Consideraciones sobre el Diseño.**

La conservación de la energía y el costo del capital están frecuentemente en conflicto. Un programa de administración de la energía debe de optimizar la relación. Para lograr un balance se requiere considerar durante el diseño los siguientes tópicos:

**1) Valor energético de los materiales.** Los materiales y equipos de construcción poseen un valor energético formado desde la mina al sitio de construcción. Se agrega un valor energético durante la construcción y la instalación.

Él que diseña debe de reconocer estas restricciones para evitar un sobrediseño. Un análisis cuidadoso de las cargas iniciales que se van a imponer junto con los espacios futuros para el crecimiento de la carga es esencial. Al mismo tiempo, los materiales y equipos eficientes pueden incrementar los costos de capital mientras que bajan los costos de operación.

**2) Alumbrado y control de alumbrado.** Como se observo, la selección de las fuentes de alumbrado y el control del mismo influyen directamente en la utilización de la energía así como la carga del sistema.

**3) Motores.** La selección de los motores para el uso eficiente de la energía es una cosa esencial. Los motores de inducción son algo menos eficientes a cargas parciales; aunado a ello sus factores de potencia son considerablemente pobres. Los motores se deben seleccionar para operar en la porción superior de su rango de carga.

**4) Mantenimiento del factor de potencia.** La predicción del factor de potencia del sistema es difícil durante la etapa de diseño, pero más fácilmente determinable en un sistema que está operando. Sin embargo, se debe considerar la aplicación de capacitores en motores de inducción de 50 HP en adelante. Además, la aplicación de capacitores a la llegada del servicio se debe evaluar durante el diseño y se deben hacer provisiones para su instalación sin un cambio importante en los equipos de switcheo.

### **1.6.2 Sistemas de Administración de Energía.**

El uso de un sistema de administración de energía (EMS: por sus siglas en inglés Energy Management System) es una forma de bajar los costos por energía y por demanda. La administración de energía es una técnica para controlar automáticamente la demanda y el consumo de energéticos en una instalación a un nivel más bajo y más económico, cortando y haciendo ciclos con cargas no críticas durante breves periodos de tiempo.

Una coordinación entre el dueño, el arquitecto y los ingenieros durante la etapa de diseño esquemático nos puede posibilitar el uso de un EMS para los sistemas contra fuego y seguridad, los sistemas de comunicaciones y mantenimiento. El diseño y la especificación de un EMS pueden ser simples o complejos. Controles tales como relojes desconectores constituyen un EMS sencillo; durante un comando de cerrar o desconectar a un equipo durante tiempos predeterminados. Con frecuencia estos dispositivos sencillos pierden de vista las necesidades de mayor consideración de los administradores de la energía y del mantenimiento. Los sistemas computarizados pueden reemplazar mucho del tiempo perdido que emplean las cuadrillas de mantenimiento para verificar los estados de operación de las calderas, ventiladores y otros equipos. Se pueden habilitar las funciones de control de sistemas alto voltaje de corriente alterna (AVCA) y de alumbrado desde una unidad de proceso central, llevar a cabo operaciones tales como el arranque, paro, corte de carga, control mezclas de aire y ciclos de trabajo. Estas funciones se pueden llevar a cabo usando controladores de energía de rango medio.

Para obtener máximos ahorros en energía y en mano de obra, se utilizan sistemas con arquitectura distribuida. Los sistemas anteriores tenían toda la inteligencia programable en el CPU o en un dispositivo de almacenaje auxiliar tal como un disco. Los paneles remotos eran esclavos que implementaban las instrucciones enviadas desde el CPU. No tenían inteligencia propia. Los sistemas actuales tienen microcomputadoras y microprocesadores distribuidos por todo el sistema, incluyendo a los paneles en el campo. La computadora principal queda libre de llevar a cabo tareas de administración de energía sofisticadas y delega las tareas más sencillas a los paneles de campo. Cada panel remoto, puede ser un centro de administración autosoportado que reporta al sistema central y si el CPU central o el enlace de transmisión de datos falla, el sistema completo no queda deshabilitado.

Las opciones actuales incluyen gráficas a color en monitores, comunicación en idioma conversacional, entradas y salidas de rutina del operador, edición de archivos e impresiones y funciones contra incendio y de seguridad.

- 1) Sistemas para edificios grandes, como un hospital, deben incluir los siguientes sistemas de control:

- a) Control de programa de tiempo
- b) Arranque y paro optimo
- c) Dispositivos de supervisión de aire y agua
- d) Optimización de la planta de calderas / enfriadores
- e) Control de entalpía
- f) Corte de Carga / limitación de demanda
- g) Ciclo de trabajo variable
- h) Retroalimentación supervisora

2) Debe ser posible agregar desarrollos futuros como:

- a) El uso de lápices de luz para la operación del sistema
- b) Computadoras de mayor capacidad.
- c) Control digital directo
- d) Transmisión por fibra óptica

Una consideración importante en cualquier sistema son los medios por los cuales se llevan a cabo las comunicaciones entre los diversos equipos. Las opciones incluyen: líneas telefónicas alambradas(par trenzado, coaxial, fibra óptica, etc.) y comunicaciones inalámbricas. Esto es particularmente importante si el sistema de administración de energía se está diseñando para su aplicación en una instalación existente.

Se ha estudiado y escrito mucho respecto al efecto de estos sistemas en la vida útil de equipos como ventiladores y arrancadores de motores. No hay un acuerdo en lo que respecta al pronóstico de vida, a la reducción del servicio debido al desgaste de los equipos que tienen ciclos que modulan con frecuencia o que tienen arranques y paros frecuentes. Algunos fabricantes de sistemas de administración de energía dicen que no hay un cambio apreciable en la vida de los equipos debido a esos sistemas. Se recomienda que el diseñador consulte la literatura técnica buscando conclusiones de los estudios más recientes en este asunto. Finalmente una consideración más importante al seleccionar el equipo EMS es la cuestión del servicio disponible por parte del fabricante para diagnosticar y reparar hardware, para hacer modificaciones al sistema y al

software de operación y para el entrenamiento del personal que vaya a utilizar el sistema.



## CAPÍTULO 2

### DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.

#### 2.1 Introducción

Como se dijo previamente, el sistema de energía eléctrica para una institución al cuidado de la salud requiere de alto grado de seguridad y confiabilidad. En algunas áreas del hospital se requiere de un diseño eléctrico similar al de un edificio de índole comercial; sin embargo, en otras áreas se requieren de algunas consideraciones adicionales debido al uso del costoso y complejo equipo médico, y, además, al hecho de que los pacientes deben ser resguardados de circunstancias eléctricas peligrosas.

En donde se usan gases inflamables, como los empleados para las anestias, se debe extremar precauciones para evitar explosiones y fuego; estas áreas consideradas como peligrosas se deben diseñar tomando en cuenta las normas correspondientes.

En algunas áreas como los cuartos de cirugía (quirófanos) se debe dar mayor atención a la distribución de la energía, por ejemplo, los accesorios de iluminación que se usan para efectuar una cirugía, comúnmente se conectan al sistema general de distribución normalmente aterrizado, esto es efectivo mientras dichos accesorios no se toquen por el personal médico, sin embargo, en el transcurso de la operación, la iluminación muchas veces debe ajustarse, entonces las lámparas, las salidas para instrumentos quirúrgicos, el equipo de monitoreo etc. deben ser energizados a través de un transformador de aislamiento, para evitar descargas en equipos.

#### 2.2 Clasificación de los circuitos

Los sistemas de distribución para un hospital están básicamente divididos en dos categorías:

- El Sistema Eléctrico Normal
- El Sistema Eléctrico Esencial.

Ambos sistemas están conectados a una fuente normal de energía eléctrica, sin embargo, el sistema eléctrico esencial es transferido a una fuente de

energía de emergencia cuando la fuente de energía normal (preferente) sufre una falla.

- **Sistema de Energía Normal.**

El sistema eléctrico no esencial o normal consiste de circuitos y equipo de distribución que se conectan desde la fuente de alimentación normal, para suministrar energía a las cargas que no son consideradas esenciales para la preservación de la vida o indispensables para la operación del hospital.

- **Sistema Eléctrico Esencial.**

El sistema eléctrico esencial para hospitales debe de estar compuesto por dos sistemas independientes capaces de suministrar una cantidad limitada de energía eléctrica para el servicio de alumbrado y fuerza, considerado esencial para la vida, segura y efectiva durante el tiempo que el servicio eléctrico normal se interrumpe por cualquier razón. Estos dos sistemas deben ser el sistema para equipos y el sistema de emergencia.

- a) **Sistema para equipos.**

El sistema de equipamiento es el equipo de distribución trifásica y los circuitos derivados correspondientes, incluyendo los dispositivos de transferencia manuales y automáticos con retraso, para servir a las cargas de los equipos esenciales que son necesarios para la adecuada operación del hospital.

- b) **Sistema de Emergencia**

El sistema de emergencia debe estar limitado a circuitos esenciales para la vida y cuidado crítico. El sistema está formado por dos partes definidas como: la rama de la seguridad de la vida y la rama crítica. Ambas ramas están constituidas por el equipo de distribución y los circuitos derivados, incluyendo los dispositivos de transferencia automática requeridos para habilitar las cargas consideradas como de emergencia o esenciales, que serán transferidas de la fuente normal a la fuente de emergencia.

El circuito derivado de "seguridad de la vida" y el derivado de "carga crítica" del sistema de emergencia deben ser completamente independientes de cualquier

otro alambrado o equipo y no deben estar en las mismas canalizaciones, cajas, contactos, o gabinetes, excepto lo siguiente:

- I) Interruptores de transferencia.
- II) En lámparas de salidas de emergencia alimentadas por dos fuentes.
- III) En cajas comunes de lámparas de salidas de emergencia alimentadas por dos fuentes.

Las normas dicen que el diseño del sistema eléctrico debe permitir que exista un recierre automático después de 10 segundos de interrupción.

- **Rama de la Seguridad de la Vida.**

La rama de la seguridad de la vida es un circuito de importancia vital para los usuarios de una instalación hospitalaria. Este arreglo se encarga de mantener fuerza eléctrica en los sistemas de iluminación crítica, además de los equipos que bombean, sensan o miden muchas de las funciones humanas que son el punto central que nos interesa.

El circuito derivado de seguridad de la vida o rama de la seguridad de la vida deberá alimentar a las siguientes partes del sistema:

**1) Iluminación de las vías de evacuación.** Esto es el alumbrado requerido para corredores, pasillos, escaleras, acceso a puertas de salida y todas las vías necesarias para llegar a lugares seguros en caso de emergencia. Se permite un arreglo de conmutación para transferir alumbrado en pasillos de pacientes del circuito general de iluminación al de iluminación nocturna, siempre que solamente uno de los dos circuitos pueda ser seleccionado y que ambas fuentes de energía no puedan interrumpirse a la vez.

**2) Señalización de salida.** Señales hacia las salidas y en las salidas.

**3) Sistema de alarma y alerta.** Los sistemas de alarma y alerta, incluyen:

- Alarmas de incendio.
- Dispositivos de alarma eléctrica para flujo de agua, conectados al sistema de rociadores, de esta manera se evita aumentar los posibles daños, en caso de existir un sistema de rociadores.

- Dispositivos de detección de llamas, humo o sustancias en combustión.
- Alarmas para los sistemas usados en tuberías de gases médicos no inflamables.

**4) Sistemas de comunicación.** Sistemas de comunicación donde se usan protocolos de radiocomunicación, microondas, telefonía, fibra óptica o algún otro método de envío de datos. Es muy importante atender este punto puesto que en caso de emergencia el sistema de comunicación será un factor clave.

**5) Local del grupo generador.** Iluminación en el cargador de baterías que suministra energía a las unidades de alumbrado alimentadas por baterías, además de contactos clave en el local del grupo generador.

**6) Elevadores.** Iluminación en cabinas de elevadores, sistemas de control, señalización y comunicación.

- **Rama Crítica**

**1) Alumbrado del lugar de trabajo y contactos seleccionados.** El circuito derivado crítico del sistema de emergencia abastecerá energía para el alumbrado del lugar de trabajo, equipo fijo, circuitos especiales de alimentación y contactos seleccionados (clave) que apoyen las siguientes áreas y funciones:

- Locales de anestesia: Se deben mantener con voltaje tanto los contactos, como el equipo fijo. Y sólo el alumbrado del lugar de trabajo.
- Los sistemas aislados de energía requeridos en ambientes especiales.
- Áreas de cuidado para el paciente.

**2) Alumbrado del lugar de trabajo y contactos seleccionados (claves) en:**

- Áreas de pediatría.
- Áreas de preparación médica.
- Área de medicamentos.

- Zonas seleccionadas en el área de recién nacidos.
  - Área de camas de psiquiatría, solo iluminación.
  - Salas de tratamiento.
  - Estaciones de enfermeras (existe la posibilidad de la iluminación de los pasillos).
- 3) Contactos y alumbrado adicional especializado, en lugares de cuidado a pacientes.**
- Sistema de "llamada de enfermeras".
  - Bancos de sangre, de hueso y de tejidos.
  - Salas y gabinetes para conmutadores telefónicos.
  - Iluminación del lugar de trabajo, contactos y circuitos especiales de energía para:
    - a) Camas de cuidado general (al menos un contacto dúplex por cuarto de pacientes).
    - b) Laboratorios de angiográficos.
    - c) Laboratorios de cauterización cardíaca
    - d) Unidad de cuidado coronario.
    - e) Areas o salas de hemodiálisis.
    - f) Areas o salas de emergencia (seleccionados).
    - g) Laboratorios de fisiología humana.
    - h) Unidad de cuidados intensivos.
    - i) Salas de recuperación postoperatoria (seleccionados).
  - Iluminación adicional del lugar de trabajo, contactos y circuitos especiales de alimentación necesarios para el buen funcionamiento del hospital.

Motores para ventilación por extracción monofásicos fraccionarios que normalmente están conectados con motores trifásicos en el sistema, se permitirá que estén conectados al circuito derivado crítico.

**2) Subdivisión del circuito derivado crítico.** Se permite dividir la rama crítica en dos o más circuitos.

*Nota:* Es importante analizar las consecuencias de alimentar un área, solamente con el circuito derivado de alimentación de cuidado crítico, suponiendo que la falla ocurre entre el área y el interruptor de transferencia. alguna proporción de potencia normal y crítica, o de la alimentación crítica, puede ameritar un interruptor de transferencia.

### **2.3 El equipo eléctrico y su instalación**

El equipo eléctrico en una instalación hospitalaria se puede manejar como si se tratase de una instalación industrial o comercial, sin embargo, existen algunas diferencias en los criterios que se involucran en la selección de equipo.

Algunos de los factores que influyen en la selección del equipo son la confiabilidad en la protección y los requerimientos de la coordinación, que tan rápido puede librarse una falla y restablecer el servicio, el costo inicial, el mantenimiento, la disponibilidad y el costo del espacio. El diseñador debe ver la importancia de cada factor y tomar en cuenta que en caso de una falla no solo el equipo se podría dañar si no que pueden perderse vidas humanas. El sistema eléctrico por lo tanto, debe proveer la mayor continuidad de energía posible (dentro de la factibilidad económica) a las cargas.

Todos los componentes usados en el sistema eléctrico de una institución hospitalaria deben de tener una clasificación adecuada y ser instalados apropiadamente. Se debe ser cuidadoso durante el diseño y la instalación, dando a los componentes eléctricos una adecuada ubicación para minimizar su exposición a situaciones de riesgo, como podrían ser las tormentas, inundaciones, sismos, etc.

Se debe proporcionar un espacio amplio a los componentes eléctricos para poder cumplir de manera segura con los requerimientos de operación, mantenimiento y pruebas. Asimismo se debe tener una identificación y rotulación apropiada de todos los equipos tanto en los planos como en los equipos mismos. Equipos tales como controladores de switcheo, tableros de switcheo (centros de

carga), switches de transferencia automática, centros de control de motores, etc. Deben de tener etiquetas que indiquen las cargas que alimentan, el tipo de equipo, su ubicación, el alimentador y su identificador ( el cual debe coincidir plenamente con el especificado en los planos). Todos los cables y buses deben también ser etiquetados indicando que fase se trata y su secuencia.

Después de completar la instalación y antes de energizar se debe limpiar a conciencia todos los componentes eléctricos. Se debe hacer una inspección visual para asegurarse que todos los componentes están instalados apropiadamente, que los dispositivos de protección están bien calibrados y que todo está listo para un procedimiento de prueba. Todos los componentes incluyendo los dispositivos de protección, los circuitos de control, etc. deben ser probados antes de energizar para asegurar una operación adecuada.

El criterio para la selección e instalación de los equipos de distribución del sistema eléctrico esencial se apoya en dar la máxima continuidad de energía a las cargas que alimenta dicho sistema. Para lograr esta confiabilidad es deseable que todos los componentes del sistema eléctrico esencial, sean instalados en forma separada de los componentes del sistema eléctrico no esencial o normal.

Cada rama del sistema de emergencia debe ser instalada separada e independiente de cada una de las otras ramas, y de todos los otros sistemas. Se permite una excepción, el caso donde dos componentes del sistema de distribución requieren dos fuentes separadas, como por ejemplo en un switch de transferencia. Esta redundancia requiere de tableros separados para el sistema de emergencia.

### **2.3.1 Transformadores**

Los transformadores en un hospital son usados usualmente para cambiar de un voltaje de distribución a un voltaje de utilización. Los criterios para seleccionar un transformador son los siguientes:

- Costo de operación.
- Costo inicial.
- Confiabilidad.
- Temperatura de operación.

- Capacidad de sobrecarga.
- Costo de instalación.
- Tamaño.
- Peso.
- Versatilidad.

Contrario a la idea generalizada, un transformador que trabaja a una temperatura baja puede tener costos de operación mayores que un transformador que trabaja a una temperatura mayor. El costo de operación de un transformador está en función de las pérdidas y de la carga del transformador. Se recomienda que se seleccionen transformadores estándar, cuyo tamaño y capacidad este disponible permanentemente en el mercado, para que en caso de que el transformador sufra una falla grave, éste sea rápidamente reemplazado. Además de los costos de operación, la impedancia del transformador debe ser tomada en cuenta.

### **2.3.2 Tableros de Distribución, Tableros Generales y Centro de Control de Motores.**

Estos equipos deben colocarse lo más cercano a las cargas que alimentan para minimizar caídas de voltaje. No deben ser colocados cerca de equipos electrónicos para evitar la interferencia electromagnética, si esto no es posible, se debe tener el cuidado de blindar el equipo. Se debe tener un equipo de medición para monitorear las condiciones de voltaje y corriente de estos equipos.

### **2.3.3. Dispositivos de protección.**

Los dispositivos de protección contra sobrecorrientes deben ser elegidos de tal forma que le den una completa coordinación al sistema. Si una falla o sobrecarga ocurre, es importante aislar el circuito dañado y que se mantenga la energía en el resto del sistema. Los dispositivos de protección están compuestos por dos elementos básicos, uno de detección y otro de interrupción, generalmente se dividen en cuatro categorías:

- Interruptores Termomagnéticos equipados con relevadores de protección o con disparadores de acción directa.



- Contactores equipados con relevadores de sobrecarga.
- Sistemas de Transferencia equipados con relevadores de voltaje.
- Interruptores equipados con fusibles.

Los elementos de interrupción llevan a cabo las siguientes funciones:

a) *Contactores e interruptores de transferencia*: Recierran, llevan e interrumpen corrientes de carga, interrumpen corrientes de sobrecarga, resisten pero no son capaces de interrumpir corrientes de corto circuito.

b) *Interruptores*: Cierran, llevan e interrumpen corrientes de carga y cuando están apropiadamente coordinados con un fusible, resisten pero no pueden interrumpir corrientes de corto circuito, el fusible detecta e interrumpe las corrientes de corto circuito.

c) *Interruptores Termomagnéticos*: Cierran, llevan e interrumpen corrientes de carga, resisten e interrumpen corrientes de sobrecarga y corto circuito.

De estos dispositivos, sólo los circuitos interruptores y switches con fusible son usados para protección contra sobrecorrientes, los switches de transferencia son usados sólo para transferir las cargas de una fuente a otra. Los contactores son usados generalmente para arrancar motores.

Hay básicamente tres tipos de detectores:

a) *Fusibles*: los fusibles detectan e interrumpen corrientes anormales, es un elemento que no se puede calibrar.

b) *Relevadores de Alta Tensión*: Los relevadores están diseñados para responder a cambios de magnitudes eléctricas. Las magnitudes básicas que detectan son la corriente, el voltaje, el ángulo de fase y la frecuencia. Los relevadores están diseñados para responder a una o a más magnitudes, instantáneamente o en tiempo inverso. Generalmente se pueden calibrar, tienen una operación satisfactoria en un gran rango de temperatura, son de construcción resistente. Los relevadores, aunque no están limitados, se pueden conjuntar junto con circuitos termomagnéticos. Sus contactos energizan al circuito de disparo del interruptor, el cual abre todos sus polos.

c) *Disparadores de acción directa*: Responden a la corriente instantáneamente o en tiempo inverso. Se mantienen dentro de un circuito interruptor (de bajo voltaje) en serie con los polos de interrupción y cuando se activa, mecánicamente se abren todos los polos. Los hay de tipo térmico, electromagnético, electromecánico, electrónicos y microprocesados. Suelen tener un rango de calibración.

### **2.3.4 Conmutadores o Sistemas de Transferencia Automáticos y No - Automáticos.**

Los switches de transferencia automáticos se usan cuando se requieren fuentes de potencia alterna que aseguren automáticamente la continuidad de la alimentación a las cargas eléctricas designadas en instalaciones al cuidado de la salud. Un switch de transferencia puede definirse como un dispositivo de emergencia de doble tiro que transfiere automáticamente las cargas eléctricas de una fuente normal a una fuente de emergencia siempre que el voltaje de la fuente nominal falle o se vea reducido en forma importante. El switch transfiere automáticamente la carga nuevamente a la fuente normal cuando ésta se restablece.

Debido a esta posición única en el sistema eléctrico, el switch de transferencia debe ser un dispositivo sumamente confiable de larga vida y mínimo mantenimiento. Los switches de transferencia que se aplican en las instalaciones al cuidado de la salud, deben tener características eléctricas adecuadas para la operación de todas las funciones y equipos que tienen que alimentar. Las características principales que se consideran aquí son:

- 1) Tipos de carga a transferir
- 2) Voltaje nominal
- 3) Corriente continua nominal
- 4) Valores nominales de sobrecarga y de soporte de corriente de falla
- 5) Tipo de dispositivo de protección contra sobrecorriente adelante del switch de transferencia
- 6) Monitoreo de la fuente
- 7) Retrasos de tiempo

- 8) Señales de control de entrada y salida
- 9) Mecanismo de conmutación principal
- 10) Consideraciones de la protección contra fallas a tierra
- 11) Operación del sistema
- 12) Operación de switches de transferencia no automáticos
- 13) Varios switches de transferencia Vs un switch de transferencia grande por sistema.

Confiabilidad y economía son los factores que prevalecen para decidir la mejor selección en una aplicación.

#### **2.3.4.1 Tipos de Cargas**

- 1) Clasificación de la carga.

Los tipos de carga que se alimentan en las instalaciones al cuidado de la salud se definen como:

- a) Cargas del Sistema Total
- b) Cargas de motores
- c) Cargas de Lámparas de Descarga Eléctrica
- d) Cargas Resistivas
- e) Cargas de Lámparas Incandescentes

La norma requiere que los switches de transferencia tengan una marca que indique el tipo de carga que pueden manejar. La marca "Cargas del Sistema Total" indica que el switch de transferencia se puede usar para cualquier combinación de cargas descritas arriba desde el inciso (a) hasta el inciso (e) sin embargo, la carga incandescente no debe exceder del 30% de la carga total a menos que el switch de transferencia este marcado como adecuado para transferir un porcentaje más alto de lámparas incandescentes. La mayoría de los switches de transferencias tienen capacidad nominal para transferir las Cargas del Sistema Total aunque algunos puedan estar marcados Solo Resistencia, Solo Tungsteno, etc., o una combinación de estas marcas. La carga del diseñador del sistema es disminuida cuando él escoge switches listados y nominados para Carga del Sistema Total

## 2) Consideraciones para la transferencia de cargas de motores.

Dos consideraciones de diseño especiales han de ser sopesadas por el diseñador del sistema cuando se van a alimentar motores desde sistemas de potencia alternos:

a) Como evitar los molestos disparos del interruptor y los posibles daños al motor y al equipo relacionado cuando se conmuta un motor entre dos fuentes de potencia energizadas que no están sincronizadas.

b) Como desconectar motores antes de la transferencia y retrasar la reconexión para prevenir la sobrecarga de la fuente de potencia a la cual se está transfiriendo.

Dependiendo de la conformación de la carga, cualquiera o ambas situaciones anteriores requieren consideración para cualquier arreglo dado de potencia dual.

c) Como evitar el daño a motores. Los motores y el equipo relacionado pueden ser dañados cuando se hace la conmutación entre dos fuentes de potencia vivas. Durante las pruebas de rutina del sistema, o durante la transferencia del sistema alterno al normal, ambas fuentes de potencia están a pleno voltaje. La experiencia ha demostrado que los motores trifásicos grandes de 50 HP o más, cuando se transfieren de una fuente energizada a otra también energizada, pueden estar sujetos a corrientes de inrush anormales. Esto a su vez puede conducir a daños en los devanados del motor, en el aislamiento, en los acoplamientos y, en algunos casos, a la carga impulsada. El dispositivo de sobrecorriente del motor puede también disparar ante la anormal corriente de inrush, y requiere de su restablecimiento. Estas corrientes anormales, son causadas por el voltaje residual del motor que esta fuera de fase con la fuente de voltaje a la cual se va a transferir. La situación es similar a conectar en paralelo dos sistemas de potencia que no están sincronizados. Se han usado varios métodos de control para resolver este problema:

*I) Transferencia en fase.*

*II) Circuito de control para desconectar los motores.*

III) Switch de transferencia temporizado con una posición centro - fuera.

IV) Traslape de transferencias y conexión momentánea en paralelo de las fuentes

1) *Transferencia en fase.* Los esquemas de transferencia en fase se han aplicado a los equipos en las instalaciones al cuidado de la salud por muchos años. Con miles de instalaciones como las mostradas en la Figura. 2.1, la transferencia en fase es tal vez el método más popular para transferir motores de bajo deslizamiento que tienen cargas de inercia alta en los sistemas de distribución secundarios.

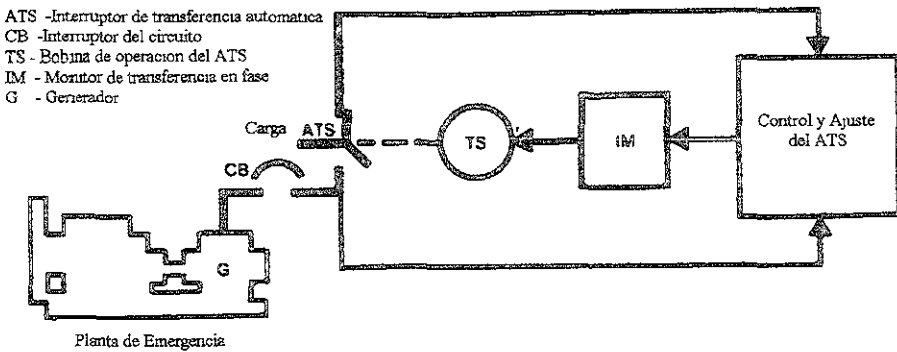


Figura 2.1 Transferencia en Fase

Una de las principales ventajas de la transferencia en fase es que puede permitir que el motor continúe rodando con poco disturbio al sistema eléctrico y al proceso controlado por el motor. Se ha expresado preocupación respecto a la pérdida de velocidad de los motores auxiliares que resulta en ondas de presión en las calderas. Donde pueda ser deseable evitar interrupciones retrasadas en forma intencional para que los controladores de los motores no tengan que ser repuestos, la transferencia en fase es la más práctica. Otra ventaja de la transferencia en fase es que un switch de doble tiro estándar puede ser utilizado con la simple adición de un monitor de fases. El monitor hace un muestreo del ángulo de fase relativo que existe entre las dos fuentes entre las cuales se va a

transferir el motor. Cuando los dos voltajes están dentro del ángulo de fase deseado y se están aproximando a un ángulo de fase cero, el monitor permite al switch su operación y la reconexión se hace entre límites aceptables. Entre más rápido opera el switch, más amplia puede ser la diferencia de frecuencia entre las dos fuentes de potencia sin que se exceda la corriente de arranque normal del motor al tiempo de la transferencia. Bajo ciertas condiciones, el monitor de fase se puede omitir, la transferencia rápida ha sido reconocida como un medio para la prueba de transferencia de auxiliares en las plantas generadoras.

Los switches de transferencia de operación rápida han sido usados por muchos años en la distribución secundaria. Cuando un motor se está transfiriendo entre dos fuentes sincronizadas, un switch de transferencia con tiempo de operación rápido es suficiente generalmente para una transferencia exitosa ya que el motor no tiene tiempo de bajar la velocidad en forma importante.

ii) *Circuito de control para desconectar la carga.* Los circuitos de control para desconectar los motores, como el mostrado en la Figura.2.2, y esquemas de protección similares, son también un medio común para transferir motores.

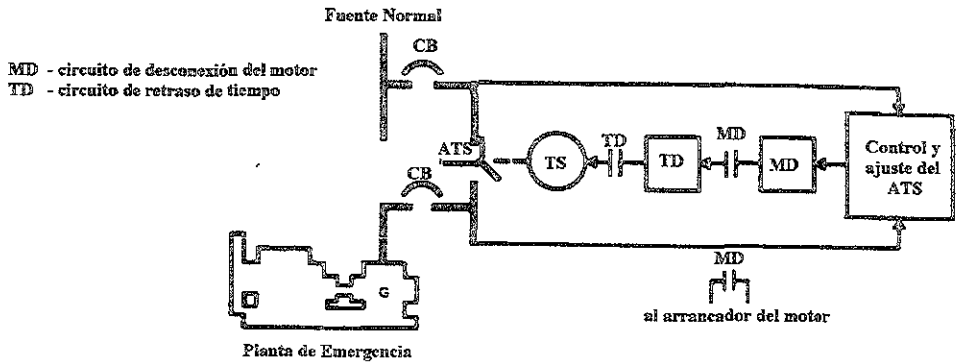


Figura 2.2 Circuito de control para desconectar la carga

Este arreglo y el siguiente (temporizado con una posición centro - fuera) no se deben usar si los motores no pueden ser desenergizados momentáneamente durante la transferencia. La desenergización momentánea puede resultar en un

disturbio inaceptable para el sistema eléctrico y para el proceso controlado por el motor.

Como se indica en la Figura. 2.2, el circuito de control que desconecta al motor es un contacto piloto en el switch de transferencia que abre para desenergizar el circuito de la bobina del contactor del controlador del motor. Después de la transferencia el contacto piloto del switch de transferencia cierra para permitir que el controlador recierre. En estas aplicaciones, el controlador debe restablecerse en forma automática. El circuito de control del switch de transferencia que desconecta al motor aísla positivamente a éste a través de su propio controlador, previniendo una posible interacción con otras cargas del sistema.

Un circuito de control para desconectar el motor en forma apropiada debe abrir el contacto piloto por aproximadamente 3 segundos antes de que se inicie la transferencia a la fuente de potencia alterna. Este retraso de pretransferencia no debe ser mitigado ya que se debe permitir tiempo para que abra el controlador del motor y extinga todo el arqueo antes de que abra el switch de transferencia, dependiendo de la constante de tiempo del motor, o si el tiempo de recierre es proporcionado en el circuito controlador del motor, también puede ser necesario agregar un segundo retraso en el circuito de control que desconecta al motor. Si el circuito controlador del motor no tiene un retraso de tiempo y la constante de tiempo del motor excede 3 segundos, se debe incluir un retraso adicional en el circuito adicional de desconexión. Un retraso de 3 segundos es generalmente satisfactorio. Una excepción pueden ser los motores grandes con inercia alta, los cuales pueden tener constantes de tiempo de entre 4 y 5 segundos, en tales casos, le puede tomar al voltaje residual 6 o más segundos para decaer a un valor aceptable para el recierre. Si se van a transferir varios motores y no se desea reconectarlos en forma simultánea, para prevenir corrientes de inrush excesivas si arrancan simultáneamente el retraso secundario se puede dar con un secuenciador con varios contactos piloto con tiempo y secuencia (un contacto para la conexión de cada circuito controlador de motor).

Como estos arreglos requieren la interconexión de cables de control entre el switch de transferencia y el controlador del motor se deben hacer algunas consideraciones para el diseño y arreglo del sistema para minimizar las trayectorias de las líneas de control. Para resolver este problema, el switch de

transferencia frecuentemente se ubica en forma adyacente a o dentro del centro de control de motores.

III) *Circuito temporizado con una posición centro - fuera.* Los switches de transferencia con una posición centro - fuera (posición neutral) han sido usados como un medio para conmutar motores. La Figura. 2.3 muestra un arreglo típico.

Este arreglo logra resultados similares al circuito de control que desconecta los motores, descrito antes

Una ventaja, siempre que no se requiera recierre con secuencia retrasada, no requerirá de interconexiones entre el switch de transferencia y el controlador del motor.

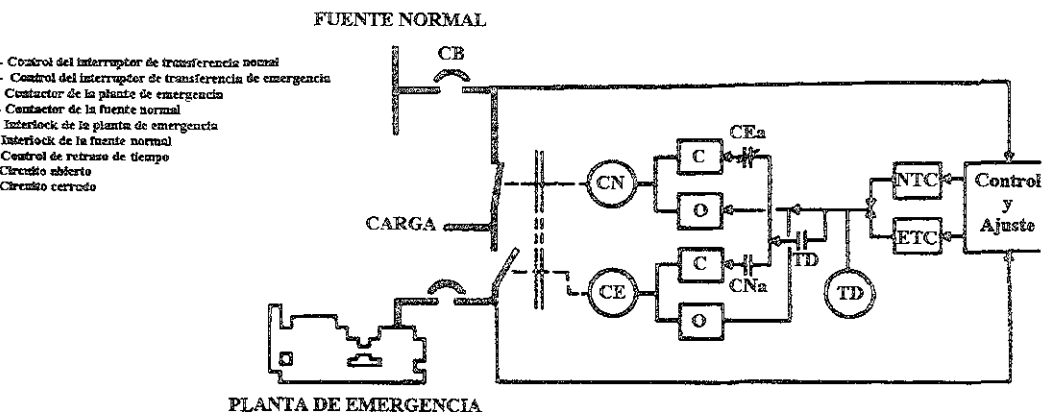
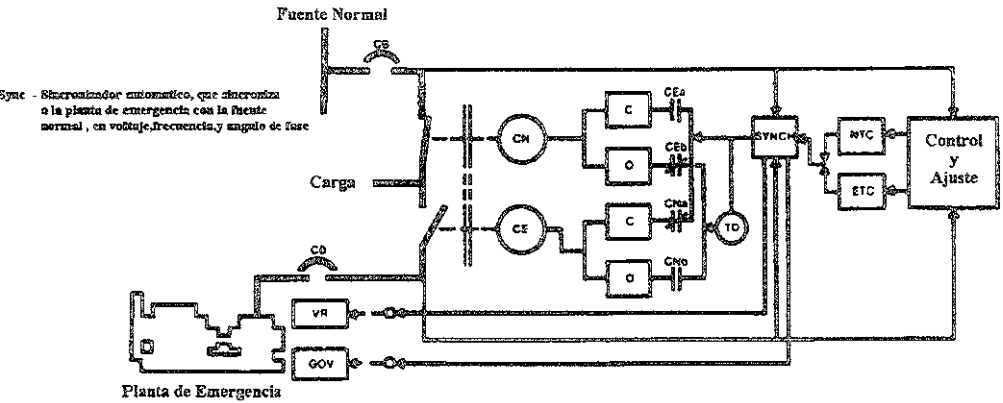


Figura 2.3 Circuito temporizado con posición Dentro - Fuera.

IV) *Transferencia en transición cerrada.* La transferencia con transición cerrada que se pone en paralelo momentáneamente con las dos fuentes parece ser, a primera vista, una solución ideal (ver Figura. 2.4).





**Figura 2.4 Transferencia en Transición Cerrada**

Una transferencia de carga sin interrupción debe proporcionar la mínima cantidad de disturbio al sistema y al proceso. Sin embargo, el traslape se puede hacer solamente cuando están presentes ambas fuentes y están apropiadamente sincronizadas en voltaje, frecuencia y ángulo de fase. En caso de falla de una fuente, la transferencia con traslape puede ser extremadamente difícil de lograr, por no decir imposible. La transferencia con traslape solo se puede usar durante transferencias y retransferencias de prueba de un generador a la compañía de suministro, cuando ambas fuentes estén a pleno voltaje.

Si bien el arreglo con traslape es técnicamente posible, no siempre es práctico debido a la renuencia de las compañías suministradoras para permitir la conexión en paralelo de fuentes de potencia extrañas en sus líneas. Sin embargo, hay indicaciones de que esta renuencia puede ser templada en el futuro debido a la crisis energética.

3) Conexión de carga en forma secuencial al generador.

Algunos grupos motor - generador tienen con frecuencia, capacidad limitada para suministrar el total de las corrientes de inrush y de arranque de la carga conectada. Para propósitos económicos, los grupos generador se dimensionan con frecuencia para proporcionar la corriente de plena carga mas una capacidad limitada para el arranque de motores. En tales casos, se vuelve esencial retrasar la reconexión de cargas cuando se les transfiere de la fuente de potencia normal al generador en sitio.

El artículo 517 de la norma oficial mexicana indica que los switches de transferencia de la carga en equipos del sistema (principalmente motores), en hospitales, sea equipado con relevadores de tiempo que retrasaran la transferencia de la carga conectada al grupo generador. El propósito es asegurar que la conexión de las cargas de emergencia del sistema esté hecho y se restablezcan dentro de los primeros 10 segundos después de la falla. Los switches de transferencia que alimentan los motores son entonces transferidos secuencialmente al grupo generador.

Otra razón para el corte de carga, es la necesidad de quitarle la energía a ciertas cargas, como aquellas que utilizan rectificadores controlados de silicio (SCRs) para evitar daño o la falla de tales componentes durante la transferencia. Enseguida están varias soluciones que actualmente se usan para resolver estos problemas agregando ciertas características en los circuitos de los switches de transferencia

a) Switches de transferencia con circuitos de retraso de tiempo individual en la transferencia a emergencia. Este arreglo es de uso frecuente actualmente. Si hay varios switches de transferencia en una instalación, el retraso de tiempo se puede ajustar ligeramente en cada uno de ellos para que el cierre lo hagan en forma secuencial hacia el generador. Se debe tener en cuenta los requerimientos de inrush de cada motor, los kVA de arranque que quedan disponibles en el generador, y la importancia respectiva de las cargas cuando se determina la secuencia de transferencia.

b) Switches de transferencia con circuitos de señales para definir la desconexión de una carga única antes de transferir y la reconexión después de la transferencia. Este arreglo se describió antes bajo el título "circuito de control para desconectar carga". Con el retraso adicional, el circuito de control no solo asegura

que el motor es desconectado antes de la transferencia sino que también previene que el motor sea reconectado hasta varios segundos después de que el switch de transferencia ha transferido y reconectado todas las otras cargas que están alimentadas por el mismo switch de transferencia.

c) Switches de transferencia como en b) pero con circuitos con varias señales para secuenciar la conexión de varias cargas hacia el generador. Un refinamiento adicional del sistema descrito arriba utiliza varios circuitos de señales cuando varios motores van a ser alimentados desde el mismo switch de transferencia y se desea reconectarlos en forma secuencial. Comúnmente se proporcionan de 2 a 9 circuitos. El tiempo de retraso entre los pasos de reconexión es ajustable entre 2 y 60 segundos para permitir que la corriente de arranque se reduzca a un valor seguro antes que al siguiente motor se le dé la señal para ser reconectado. Una vez que el retraso queda ajustado, es el mismo para cada paso.

4) Consideraciones sobre la carga del transformador de aislamiento del hospital. Los transformadores de aislamiento se usan con frecuencia en las salas de anestesia y en ambientes especiales de las instalaciones dedicadas al cuidado de la salud.

Los transformadores se localizan generalmente en el lado de la carga del switch de transferencia que alimenta la rama crítica. La construcción eléctrica y mecánica de algunos de estos transformadores es tal que cuando el transformador es energizado se presentan con frecuencia altas corrientes de inrush. Éstas son algunas veces lo suficientemente altas para causar molestos disparos del dispositivo de protección de sobrecorriente. Estos transformadores usan enlaces cuadrados de acero polarizado (con grano orientado). El flujo magnético se conserva en la última posición que tenía cuando se quito el voltaje. Existen varias soluciones para evitar los molestos disparos dependiendo del fabricante de transformadores. Algunas veces, una reactancia en serie, un arranque con impedancia, y dispositivos de sobrecorriente especiales, se consideran como soluciones

### **2.3.4.2 Valores Nominales del Voltaje**

Un switch de transferencia automático es único en el sistema de distribución eléctrico porque está localizado donde dos fuentes de potencia no sincronizadas están comúnmente conectadas a él. Esto significa que los voltajes impuestos al aislamiento pueden llegar a ser tan altos como 960 VCA en un sistema de 480 VCA.

Un diseño apropiado del switch de transferencia debe proporcionar espacios y aislamiento suficiente para soportar estos esfuerzos extra de voltaje. Por esta razón, el espaciamiento eléctrico de un switch de transferencia se debe apegar a las normas vigentes que apliquen.

Los valores nominales de voltaje en esta discusión se limitarán a aplicaciones en sistemas eléctricos esenciales en instalaciones al cuidado de la salud donde los switches de transferencia son de 600 V nominales o menos.

Los voltajes nominales de corriente alterna de los switches de transferencia automática son normalmente 120, 208, 240, 480 o 600 V, de una o varias fases. Las frecuencias estándar son 50 - 60 Hz. Los switches de transferencia automática también pueden ser alimentados con otros voltajes o frecuencias cuando se requiera.

### **2.3.4.3 Valor Nominal de la Corriente en Régimen Continuo.**

Una corriente continua (carga) se define como aquella que se espera que continúe en su valor máximo durante 3 o más horas. Los switches de transferencia difieren de otros equipos de emergencia en que deben llevar continuamente la corriente de las cargas críticas, mientras que un grupo motor - generador solo suministra potencia durante períodos de emergencia. La corriente fluye continuamente a través del switch de transferencia independientemente de que el switch esté en su posición normal o de transferencia. Los switches de transferencia automática están disponibles en valores de 30 a 4000 Amperes nominales.

La mayoría de los switches de transferencia son capaces de llevar el 100% de la corriente nominal a una temperatura ambiente de 40°C. Sin embargo, algunos switches de transferencia, como aquellos que incorporan en forma integral

dispositivos de protección contra sobrecorrientes, pueden estar limitados a una corriente de carga continua que no exceda del 80% del valor nominal. Cuando se selecciona un switch de transferencia automática solo es necesario determinar la corriente de carga continua máxima que debe llevar el switch de transferencia. Los inrush momentáneos, tales como aquellos que se presentan al energizar el alumbrado o los motores, pueden ser ignorados siempre y cuando el switch esté marcado como "Carga del Sistema Total". Se debe seleccionar un switch de transferencia automática que sea igual o mayor que la corriente continua calculada.

Para proyectos nuevos, el diseñador del sistema puede especificar un switch de transferencia que sea capaz de llevar las cargas previstas para el futuro. En tales casos se recomienda seleccionar un switch de transferencia con una corriente continua nominal igual al total de la carga anticipada.

La corriente continua nominal del switch de transferencia se puede encontrar sumando los amperes requeridos por todas las cargas. Los calefactores eléctricos y las lámparas de tungsteno (incandescentes) tienen corrientes de carga que se determinan de los Watts totales. Las corrientes de carga de las lámparas fluorescentes de vapor de mercurio y de vapor de sodio se deben basar en la corriente que toma cada balastro o autotransformador, no en los Watts totales de la lámpara. Las cargas de motores se determinan con las corrientes de plena carga del motor. No se consideran las corrientes de inrush y de rotor bloqueado del motor para dimensionar un switch de transferencia

#### **2.3.4.4 Valores Nominales de las Corrientes de Sobrecarga y de Falla.**

Los switches de transferencia están sujetos con frecuencia a corrientes de corta duración que exceden los valores nominales continuos. El switch debe tener la capacidad de manejar corrientes más altas por sus valores nominales de corriente de sobrecarga y de soporte.

#### **2.3.4.5 Monitoreo de la Fuente.**

Con mucha frecuencia la fuente normal viene de una compañía de suministro cuya potencia se transmite por muchos kilómetros hasta el punto de utilización. El panel de control monitorea el voltaje de todas las fases. (Ya que la frecuencia de la compañía es constante, para todos los propósitos prácticos, solo

se necesita el monitoreo del voltaje). Para sistemas trifásicos, se deben monitorear los 3 voltajes entre fase para proporcionar una protección completa.

Además de las fallas en el alimentador, el monitoreo protege contra la operación a voltaje reducido, que pueden dañar a las cargas. Como la sensibilidad de las cargas con respecto al voltaje varía, el ajuste de voltaje para conectar (pick-up), y para desconectar (drop-out) de los monitores debe ser ajustable. Un rango típico de ajuste para conectar esta entre el 85% y 100% del nominal mientras que el ajuste del voltaje para desconectar es entre 75% y 98% del pick - up seleccionado. Los ajustes usuales para la mayoría de las cargas son 95% del nominal para pick - up y 85% del nominal para desconectar (drop - out) 90% de pick - up.

En tanto que esté disponible el voltaje normal al límite preajustado o por encima de él, el switch deberá permanecer conectado a la fuente normal. De otra forma, si se pierde el voltaje, en solamente uno de varios switches, entonces solamente ese switch de transferencia será transferido a la fuente de emergencia. Los switches restantes deberán permanecer conectados a la fuente normal.

El sensor de voltaje de la fuente alterna necesita ser sólo en una fase ya que la mayoría de las aplicaciones involucran un generador en sitio con una relativamente corta distancia que va al switch de transferencia automática. Además del monitoreo del voltaje, la frecuencia de la fuente alterna también se debe monitorear. A diferencia de la fuente de la compañía suministradora la frecuencia del grupo generador puede variar durante el arranque. El monitoreo de la frecuencia evita la sobrecarga del grupo generador mientras que está arrancando y puede así evitar que se detenga. El monitoreo adecuado de frecuencia y voltaje protegerá contra la transferencia de cargas a un grupo generador con una potencia de salida inaceptable.

#### **2.3.4.6 Retrasos de Tiempo**

Se proporcionan retrasos de tiempo para programar la operación de un switch de transferencia automática para evitar el arranque y transferencia innecesaria a la fuente alterna. Un retraso de tiempo de hasta 6 segundos, dejará pasar las interrupciones y reducciones momentáneas en el voltaje de la fuente normal pero permitirá el arranque y la transferencia si la reducción o la pérdida es

sostenida. El retraso de tiempo se ajusta generalmente en un segundo. Pero se puede ajustar más arriba si los recierres en las líneas de bajo voltaje toman un tiempo mas largo para operar o si las caídas de potencia momentánea exceden frecuentemente un segundo. Si se usan ajustes largos para el retraso de tiempo, se debe tener cuidado para asegurar que se tiene tiempo suficiente para cumplir con los requerimientos de 10 segundos para restablecer la carga.

Una vez que la carga es transferida a la fuente alterna, otros retrasos de tiempo la retransfieren a la fuente normal hasta que la fuente tiene tiempo de estabilizarse. Este temporizador es controlado por los monitores de voltaje de la fuente preferente y es ajustable entre 0 y 30 minutos. Normalmente se ajusta a 30 minutos. Otra función importante de este temporizador de retransferencia es la de permitir que el grupo generador opere bajo carga durante un tiempo mínimo preseleccionado para asegurar un buen comportamiento continuo del grupo y de su sistema de arranque. Este retraso debe ser nulificado automáticamente si la fuente alterna falla y la fuente normal está disponible, situación determinada por los monitores de voltaje.

Los fabricantes del grupo generador recomiendan con frecuencia un período de enfriamiento para sus equipos que permitirán al grupo trabajar en vacío después que la carga es devuelta a la fuente normal. Un tercer retraso de tiempo, generalmente de 5 minutos se proporciona para este propósito. El trabajar la máquina en vacío por más de 5 minutos no es necesario ni recomendado ya que puede causar que se deteriore .

Algunas veces es deseable transferir las cargas en forma secuencial a la fuente alterna donde más de un switch de transferencia automática está conectada al mismo grupo generador tal como en la rama de equipo del sistema eléctrico esencial. El uso de tal esquema de secuencia puede reducir los requerimientos de capacidad de arranque en kVA del generador. Un cuarto temporizador, ajustable desde 0 a 5 minutos, retrasará la transferencia a emergencia para éste y otros requerimientos similares.

#### **2.3.4.7 Señales de Control de Entrada y Salida**

Cuando el panel de control del switch de transferencia detecta una falla sostenida de la fuente normal, un juego de contactos, uno normalmente abierto y

uno normalmente cerrado, operan para señalar el arranque de la fuente alterna. Estos contactos deben tener capacidad nominal para manejar las bajas corrientes y los bajos voltajes de corriente directa encontrados en la mayoría de los sistemas de arranque en las máquinas.

Se deben proporcionar en el switch de transferencia contactos secos adicionales normalmente abiertos y normalmente cerrados, para la indicación remota de la posición del switch y otras funciones de control.

#### **2.3.4.8 Mecanismo de Conmutación Principal.**

El mecanismo principal de switcheo de un switch de transferencia debe tener las características siguientes:

**1) Operación eléctrica.** Generalmente es deseable operar eléctricamente el switch de transferencia utilizando energía de la fuente a la cual la carga va a ser transferida. Este arreglo asegura una fuente de energía adecuada para la operación del switch.

**2) Sostenida mecánicamente.** Los switches de transferencia sostenidos eléctricamente están limitados en tamaños, se caerán y desconectarán la carga si falla la bobina principal y tienen muy poco aguante contra corrientes de falla. Inversamente, los mecanismos sostenidos mecánicamente no están limitados en tamaño, no se caerán y pueden soportar corrientes de falla más altas.

**3) Interbloqueados mecánicamente (doble tiro).** El mecanismo del switch puede ser del tipo de doble tiro interbloqueado mecánicamente que solo permite 2 posibles posiciones - cerrado en normal o cerrado en emergencia. Si el interbloqueo permitiera que ambos juegos de contactos cerraran al mismo tiempo podría ocurrir un corto circuito de sistema a sistema.

#### **2.3.4.9 Operación del Sistema.**

El sistema de emergencia y el equipo deben estar arreglados de tal manera que en el caso de falla de la fuente de potencia normal, una fuente de potencia alterna sea conectada en forma automática dentro de los primeros 10 segundos a



las cargas del sistema de emergencia y a los dispositivos de switcheo (con retraso de tiempo o no automáticos suministrando potencia a los equipos del sistema.

El switch de transferencia automática se arregla para que haga esta operación. Éste consiste de dos componentes principales: 1) un switch de transferencia de doble tiro, operado eléctricamente y 2) un panel de control. Tal como se muestra en la Figura.2.5

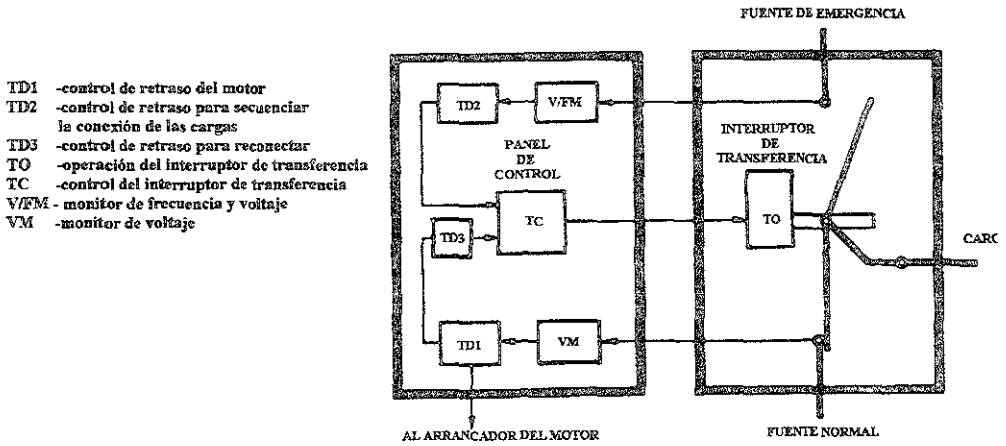


Figura 2.5 Interruptor de doble tiro y tablero de control.

El sistema eléctrico esencial es normalmente alimentado por la fuente de potencia de la compañía suministradora excepto cuando ésta se interrumpe o cae por debajo de un nivel de voltaje predeterminado que es sentido por el monitor de voltaje VM. Los ajustes de los sensores se deben determinar con un cuidadoso estudio de los requerimientos de voltaje de la carga.

A la falla de la fuente normal, arrancará automáticamente el grupo generador que es la fuente alterna después de un retraso de tiempo corto (TD1). Cuando la fuente de potencia alterna tiene un voltaje y una frecuencia que satisfacen los requerimientos de operación mínima del sistema eléctrico esencial, sentido por la combinación de los monitores de voltaje / frecuencia V/FM la carga se conecta automáticamente a la fuente de potencia alterna a través de los

controles de transferencia (TC) y el operador del switch principal de transferencia (TO).

Una vez hecha la conexión a la fuente de potencia alterna, las cargas que comprenden el sistema de emergencia son reenergizadas en forma automática. Las cargas que comprenden el equipo del sistema se conectan en forma automática después de un retraso de tiempo (TD2) en tal manera que el generador no se sobrecarga.

Cuando se restablece la fuente de potencia normal y después de un cierto retraso de tiempo (TD3), el switch de transferencia automática desconecta la fuente alterna y conecta las cargas a la fuente normal. Si la fuente de emergencia falla y la normal ha quedado restablecida, la retransferencia a la fuente normal es inmediata, omitiendo el tiempo de retraso de la retransferencia.

#### **2.3.4.10 Conmutadores (switches) de Transferencia No - Automáticos.**

Los switches de transferencia no automáticos son algunas veces considerados para ciertas partes de los sistemas y varias cargas definidas como no esenciales. Para estas instalaciones es necesario que el personal de operación este presente para efectuar una maniobra y que la carga no sea de una naturaleza de emergencia que requiere el restablecimiento automático inmediato de la potencia. Por esta razón se recomienda que siempre que sea posible todas las cargas se transfieran en forma automática. Cuando existe la posibilidad que la sobrecarga en el generador sea preocupante, puede ser más práctico la transferencia de cargas no esenciales en forma manual.

Los dispositivos usados como switches de transferencia no automáticos deben tener las mismas características eléctricas, mecánicas y de capacidad, que un switch de transferencia automático excepto que se omite el panel de control. La operación se logra ya sea usando una manija de operación manual externamente operable de contacto rápido y apertura rápida o por un botón pulsador de control remoto.

Los switches de transferencia no automática operados eléctricamente deben derivar la potencia para control de la fuente a la cual se hace la transferencia para asegurar el suministro adecuado de potencia al operador eléctrico principal.

Con frecuencia, se usan relevadores de control en el switch de transferencia para evitar las caídas de voltaje atribuibles a las largas trayectorias de los cables de control.

#### **2.3.4.11 Varios Conmutadores de Transferencia Vs. Uno Solo.**

En pequeños hospitales, la norma permite un switch de transferencia grande en lugar de varios switches de transferencia, uno por rama.

El diseñador debe considerar lo siguiente:

1) Un solo switch de transferencia grande situado cerca de la acometida del servicio que controla toda la carga de emergencia, en lugar de instalar switches de transferencia automática en cada rama del sistema de emergencia, puede reducir la confiabilidad total y la flexibilidad del sistema. Una protección máxima se logra mejor, ubicando los switches de transferencia tan cerca de las cargas como sea posible, en esta localización, el switch de transferencia automática no solo monitorea el suministro de la compañía sino también los conductores internos que alimentan al switch de transferencia.

2) Usando switches de transferencia separados en cada alimentador, esto incrementa la confiabilidad total del sistema, debido a que la separación de los conductores se mantiene todo el camino, hasta los tableros de distribución de la compañía suministradora y del generador. Si se usa un switch de transferencia grande, se puede requerir una larga trayectoria para los conductores de la potencia principal. Si algo le pasa a estos conductores o al único switch de transferencia automática, todo el sistema eléctrico esencial quedará fuera; mientras que, con varios switches de transferencia automática, solamente se verá afectada una rama del sistema.

3) Una tercera consideración para el diseño, es la necesidad de transferir las cargas secuencialmente en bloques para no sobrecargar el generador. Varios switches de transferencia automática con retrasos de tiempo ajustables para pasar la carga al generador pueden ser usados para este propósito. Si se usa solamente un switch de transferencia grande, se puede requerir un sobredimensionamiento del generador o el desarrollo de un sistema de corte de carga y de reconexión de la misma.

4) La economía es una consideración adicional. Mientras que varios switches de transferencia pequeños igualan la ampacidad de un switch grande y pueden costar más o menos lo mismo, el costo adicional de los alimentadores separados y de su instalación es una situación que favorece el uso de un switch grande.

Cuando se requiere que los circuitos ramales sean extra - confiables porque estos son responsables de vidas, los dispositivos de protección de área pueden ser una consideración. Estos dispositivos pueden sensor fallas en el lado de la carga de los dispositivos de sobrecorriente ya sea en el panel o directamente en el punto de utilización, tales dispositivos pueden dar una alarma para que se tome una acción correctiva cuando ocurra una apertura por un dispositivo de sobrecorriente (inadvertida, por falla mecánica, o actuada por circuito), por falla de alambrado del circuito, por falla del equipo o una desconexión no intencional del equipo.

### **2.3.5 Generador.**

Generalmente, en una institución hospitalaria el generador es usado como una fuente de energía alterna para el sistema eléctrico esencial en caso de que la fuente normal (la que suministra la compañía eléctrica) falle.

El generador y su motor son los primeros elementos que se deben seleccionar después de calcular los requerimientos del sistema eléctrico esencial. Los factores que se deben de tener en cuenta para la selección son los siguientes:

- Tipo de combustible del motor.
- Capacidad del generador y del motor para poder suministrar la energía a la carga, con sus requerimientos de voltaje, corriente, frecuencia y las corrientes de arranque.
- Factores de instalación, tales como: ubicación, espacio, ventilación, enfriamiento, ruido, depósito de combustible, etc.
- Requerimientos de mantenimiento.
- Costo total

### **2.3.6 Tableros de Distribución.**

Los tableros de potencia deben ser ubicados lo más cerca de su carga como sea posible, deben de colocarse en el mismo piso que la carga que alimentan, deben ser suficientes en número de tal forma que exista una distancia aproximada de 23 metros entre ellos y la carga que alimentan, esto para proveer niveles de voltaje adecuados.

Los tableros deben ser ubicados en un área donde sean fácilmente operados y deben tener un suficiente número de circuitos sobrantes previendo futuras expansiones. Debe existir una trayectoria corta del bus de tierra y la caja metálica al sistema de tierras, para disminuir el riesgo de choques eléctricos en caso de una falla.

## CAPÍTULO 3

### LA CALIDAD DE LA ENERGÍA

#### 3.1 Introducción.

La necesidad de proporcionar un servicio de energía eléctrica confiable con voltaje y frecuencia constante ha sido reconocida desde los inicios de la industria eléctrica, tanto las empresas suministradoras como los usuarios finales han estado insistiendo cada vez más en el concepto de la calidad de la energía, y se ha convertido en una especie de concepto general, alrededor del cual se puede ubicar una multitud de distintos tipos de disturbios y problemas que se pueden presentar en un sistema eléctrico.

Históricamente la calidad de la energía no había sido mayor problema, de hecho en un hospital se consideraba que teniendo continuidad en el suministro de energía ya se contaba con un servicio de calidad suficiente para que la institución funcionara dentro de un rango aceptable de operación, sin embargo el incremento masivo que se ha tenido en la utilización de equipo basado en microelectrónica y de electrónica de potencia ha creado un doble problema, en primer lugar, este equipo es sensible a las variaciones de voltaje, y en segundo lugar genera distorsión armónica. Adicionalmente los problemas se han agravado debido a la combinación de las siguientes tendencias:

- a) Una mayor utilización de equipo médico, de procesamiento de datos, de comunicaciones etc.
- b) Los equipos electrónicos modernos se han vuelto más sensibles a las variaciones de voltaje, los diseños y sus componentes están en su límite; se acabaron los diseños sobrados.
- c) El número de disturbios eléctricos se han incrementado, pues la demanda ha crecido más rápido que la generación
- d) Se ha incrementado el concepto de mayor eficiencia en los sistemas eléctricos, lo cual ha traído como resultado el aumento continuo de dispositivos de estado sólido

### 3.1.1 Crecimiento de Cargas Perturbadoras.

El arribo de la conversión electrónica de potencia ha sido aplaudido ampliamente por los usuarios, pero los inconvenientes desde el punto de vista de la calidad de la potencia no han sido siempre reconocidos. Las grandes ventajas de los dispositivos de estado sólido que han hecho posible la moderna conmutación de las fuentes de suministro, inversores - rectificadores, calentamiento a través de inducción en alta frecuencia, y controladores de velocidad variable, también hacen de estos convertidores de potencia, generadores de armónicas y fuentes adicionales de caídas del voltaje de línea.

Las corrientes armónicas causadas por muchos tipos de cargas del consumidor y equipo de la compañía eléctrica proporcionan un ejemplo de esta complejidad. Por muchos años, las corrientes armónicas se originaron principalmente en unas cuantas fuentes importantes, tales como hornos de arco y terminales de corriente directa en alto voltaje. En estos casos, se podían remover con facilidad, instalando un filtro grande (y caro) entre la fuente y la línea de potencia principal. Hoy en día, sin embargo, importantes corrientes armónicas circulan en las líneas de potencia y son causadas por una multitud de pequeñas y muy dispersas cargas, tales como rectificadores y controles de estado sólido para motores de velocidad ajustable, y al mismo tiempo las instituciones hospitalarias están cada vez más utilizando equipos sensibles, cuya operación puede verse adversamente afectada por las armónicas.

Podría no ser económicamente factible detectar y filtrar cada una de las pequeñas fuentes de armónicas o aislar cada carga sensible de todos los disturbios en la línea de alimentación. Un método más práctico es controlar las armónicas de acuerdo a ciertos límites en los niveles de emisión con filtros instalados en las cargas más importantes y sensibles, a la vez que se definen niveles de susceptibilidad aceptables para los equipos. Los equipos electrónicos inusualmente sensibles se pueden alimentar desde una interfaz especial acondicionadora de potencia, externa o integrada con el equipo. Tal método requiere la colaboración entre las compañías suministradoras, fabricantes de equipos, usuarios, agencias reguladoras, y cuerpos que proponen estándares.

### 3.1.2 El Concepto de la Calidad de la Energía.

La definición de la calidad de la energía es algo indeterminado. Pero se puede definir como la ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje rms suministrado al usuario; esto concierne a la estabilidad de voltaje, la frecuencia, y la continuidad del servicio eléctrico. Actualmente la calidad de la energía es el resultado de una atención continua. En años recientes, esta atención ha sido de mayor importancia debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución, las cuales, por si solas, resultan ser una causa de degradación en la calidad de la energía eléctrica. Podemos decir que el objetivo de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para corregir los disturbios y variaciones de voltaje.

### 3.2 Clasificación de Disturbios.

Se deben tomar en cuenta 4 parámetros importantes que de acuerdo a sus características, definen la calidad de la potencia. Estos parámetros son:

\* *Frecuencia, amplitud, forma de la onda y simetría*, pueden servir como marcos de referencia para clasificar los disturbios de acuerdo a su impacto en la calidad de la potencia disponible. Más abajo se tiene una breve discusión de la necesidad de evaluar el impacto en las cargas sensibles.

\* *Variaciones de frecuencia*: Son raras en sistemas conectados a una compañía suministradora, pero los sistemas de distribución basados en un generador pueden experimentar variaciones de frecuencia debido a los cambios de la carga y al mal funcionamiento de los equipos.

\* *Variaciones de Amplitud*: Pueden ocurrir en diversas formas; su descripción es inextricablemente asociado con su duración. El rango va desde duraciones extremadamente breves hasta condiciones de estado estable, haciendo la descripción y definición difícil de dar. Sus causas y efectos necesitan un minucioso examen para entender el comportamiento y definir una solución apropiada.

\* *Variaciones en la forma de onda*: Se presentan cuando cargas no lineales toman una corriente que no es senoidal. Uno también puede describir una



variación de amplitud como una variación en la forma de onda, pero el significado que se intenta dar al término es una variación estable de la forma de onda, o que tenga una duración varios ciclos. Este tipo de disturbios se puede describir como distorsión armónica, porque es fácil de analizar como la superposición de armónicas a la frecuencia nominal del sistema de potencia.

\* *Asimetría*: También llamada desbalance, se presenta cuando se conectan cargas monofásicas desiguales a un sistema trifásico y causan la pérdida de la simetría. Este tipo de disturbios afecta básicamente a las máquinas rotatorias y a los rectificadores trifásicos, pero no se les presta la atención debida. Sin embargo, es sumamente importante para los que diseñan y usan máquinas de estas características.

### **3.2.1 Origen de los Disturbios.**

El término "origen de los disturbios" se puede entender de dos maneras. De acuerdo con una interpretación, el problema es la fuente del disturbio y si es interna o externa al sistema de potencia en particular. Típicamente la frontera de un sistema de potencia se define por el wattímetro. De acuerdo con la otra interpretación, el problema es sobre la naturaleza de la fuente; entonces el disturbio se describe en términos técnicos, tales como descargas atmosféricas, conmutación de carga, fallas en el sistema de potencia, y cargas no lineales. Dependiendo de las condiciones locales, uno puede ser más importante que los otros, pero todos necesitan estar ubicadas. El mecanismo involucrado en la generación del disturbio también determina si la ocurrencia será permanente, impredecible o fácil de definir.

La primera interpretación está motivada por la necesidad de delimitar responsabilidades por el problema, y posiblemente exigir una solución. La segunda interpretación genera el objetivo de entender el problema y desarrollar una solución técnicamente viable. Cuando se discute el problema entre las partes involucradas, se deben reconocer los diferentes puntos de vista, para evitar problemas futuros. A continuación se presenta la segunda interpretación que conduce a la descripción de las causas que producen los disturbios.

La tendencia general de los usuarios es atribuir la mayoría de los problemas por disturbios a la compañía suministradora. Finalmente, existen

fuentes de disturbios o errores en el sistema no asociados con la potencia que entra al equipo, tales como descargas electrostáticas sobre el gabinete del equipo o sobre los cables, interferencia electromagnética radiada, diferencia de potencial de tierra, y errores del operador. Algunos disturbios ocurren al azar, son impredecibles para un sitio dado y no son repetibles, aunque puede estar disponible la información estadística sobre su ocurrencia. Otros disturbios, especialmente aquellos asociados con la operación de otros equipos, se pueden predecir, son repetitivos, y se pueden observar llevando a cabo el ciclo de operación de ese equipo.

Las ondas por descargas atmosféricas son resultado de rayos que caen directamente sobre los conductores del sistema de potencia, o por efectos indirectos. Los rayos directos inyectan el total de la corriente del rayo en el sistema. Las amplitudes de las corrientes van desde unos cuantos miles de amperes, hasta unos cuantos cientos de miles de amperes. Sin embargo, el rápido cambio de la corriente a través de la impedancia de los conductores produce un alto voltaje que causa un flameo secundario a tierra, por el uso de apartarrayos a lo largo de las líneas. Como resultado, el equipo conectado al final de los conductores aéreos está raramente expuesto a la corriente plena de descarga de los rayos. Los efectos indirectos incluyen la inducción de sobrevoltajes en anillos formados por los conductores, y elevación de potencial de tierra resultado de la corriente del rayo en las redes de tierra o en la tierra. En una descarga atmosférica sobre el sistema de potencia puede actuar un apartarrayos, produciendo una severa reducción o una pérdida completa del voltaje del sistema por medio ciclo. Un flameo en un aislador de la línea puede disparar un interruptor, con un retraso de varios ciclos, causando una falta de potencia momentánea. Entonces, las descargas atmosféricas pueden ser causa obvia de sobrevoltajes cerca de sus puntos de impacto, pero también puede ser causa menos obvia de la pérdida de voltaje a una distancia considerable desde el punto del impacto. En forma clara, la ocurrencia de este tipo de disturbios es impredecible en el ámbito microscópico (es decir, en un sitio específico). En el ámbito macroscópico, por ejemplo: un área general, está relacionada con la geografía, estaciones, y con la configuración del sistema local.

La inducción de ondas por descargas atmosféricas cercanas es un evento menos dramático pero más frecuente. Las características de la onda resultante

están influenciadas no sólo por la fuerza impulsora el campo electromagnético sino también por la respuesta del sistema de potencia en sus oscilaciones naturales. Este origen dual hace impráctica una descripción general de la ocurrencia, sin embargo, existe un consenso de amenazas representativas para varios ambientes. La conexión y desconexión de cargas es una causa importante de disturbios. Siempre que un circuito formado por inductancias y capacitancias se conecta o desconecta, ocurre un disturbio porque las corrientes y voltajes no alcanzan su valor final instantáneamente. Este tipo de disturbio es inevitable y su severidad depende del nivel de potencia relativa de la carga conmutada y de la corriente de corto circuito estimada en el punto donde se lleva a cabo la conmutación. La conexión y desconexión de cargas puede producir cambios en el voltaje de larga duración, más allá de la respuesta transitoria inmediata del circuito. Si la conmutación es hecha por la compañía suministradora o el usuario, es indistinto desde un punto de vista técnico, la responsabilidad puede ser sujeto de una disputa contractual.

Otros fenómenos más complejos en los circuitos, tales como corrientes cortadas, "prestrikes y restrikes", pueden producir ondas de voltaje que alcanzan diez veces el voltaje normal del circuito, involucrando niveles de energía determinados por el valor nominal de los elementos que se conmutan. Estas ondas complejas pueden tener efectos destructivos, aún en equipos de uso rudo, y deben ser controladas desde la fuente, así como también deben ser eliminadas en las cargas. La ocurrencia de disturbios por conmutación de cargas es predecible desde cierto punto de vista, pero no necesariamente bajo condiciones controladas. La introducción de equipo de conversión y reguladores de voltaje operados por conmutación a una alta frecuencia, ha creado un nuevo tipo de disturbio por conmutación. Estos disturbios ocurren en forma estable, aunque su amplitud y contenido de armónicas varía para un regulador a medida que las condiciones de la carga varían.

Las fallas en el sistema de potencia ocurren en ambos lados del medidor, resultado de fallas de equipo o por causas externas (colisión de vehículos, tormentas, errores humanos). Estos disturbios van desde una reducción momentánea del voltaje hasta la pérdida completa de la potencia durante unos minutos, horas, o días. Su origen accidental los hace imprevisibles, aunque la

configuración de un sistema de potencia y su ambiente pueden hacerlo más o menos propenso a este tipo de disturbios.

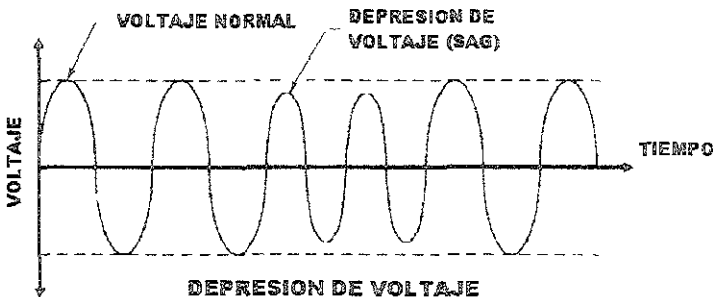
Las cargas no lineales toman corrientes no senoidales del sistema de potencia, aun cuando el voltaje del sistema de potencia tenga una forma senoidal perfecta. Estas corrientes producen caídas de voltajes no senoidales a través de la impedancia de la fuente del sistema lo que distorsiona la onda senoidal producida por el generador de la planta de fuerza del sistema. Una carga típica no lineal es una fuente de CD con un capacitor - filtro a la entrada, tal como se tiene en la mayoría de los equipos electrónicos, que toman corriente, solo durante los picos de la onda senoidal de voltaje. Esta situación también ha creado un nuevo problema, el de la insuficiente ampacidad del conductor de neutro en un sistema trifásico que alimenta fuentes de poder.

Otros disturbios. Las cargas electrostáticas formadas sobre el cuerpo humano, también pueden inyectar voltajes o corrientes indeseables en los circuitos. Este fenómeno está asociado más con el contacto de una persona sobre el equipo (teclados, conmutados en el panel, conectores) que con la calidad de la potencia de alimentación. No debe ser ignorado cuando se trate de eliminar problemas con los equipos.

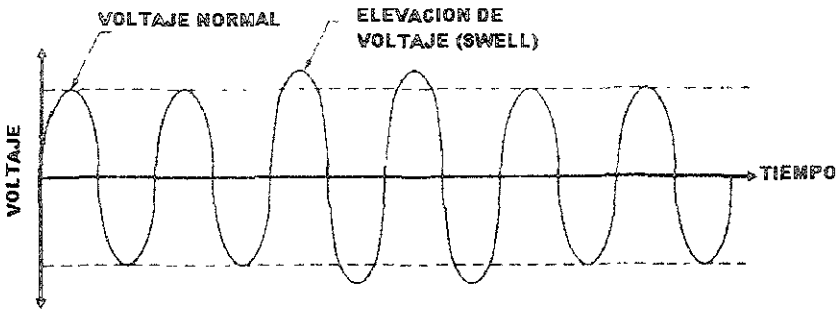
### 3.2.2 Disturbios Frecuentes.

Los disturbios más frecuentes son los siguientes:

- **Sag:** Es la reducción del voltaje de corriente alterna a la frecuencia nominal, durante intervalos que van desde medio ciclo hasta algunos segundos.

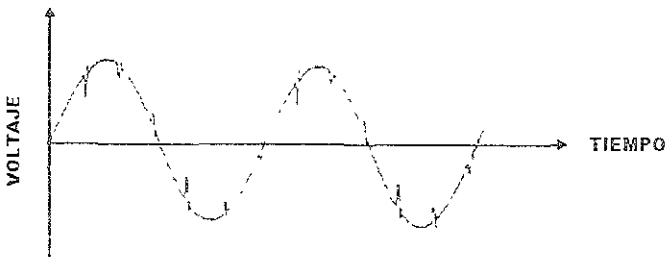


- *Oscilación (swell)*: es el incremento en el voltaje rms de corriente alterna a la frecuencia nominal en intervalo que van desde medio ciclo hasta algunos segundos.



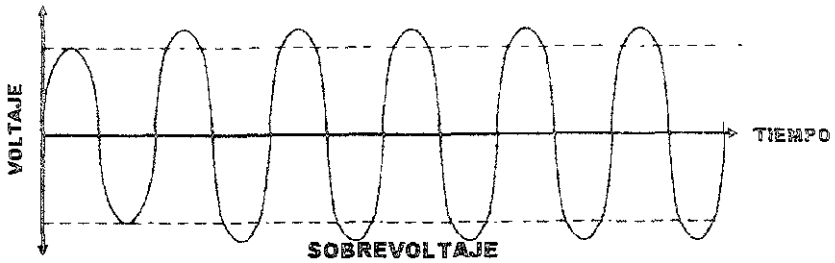
**ELEVACION DE VOLTAJE**

- *Ranura o corte (notch)*: es una perturbación durante el switcheo en la forma de onda normal del voltaje de alimentación durante menos de medio ciclo, inicialmente se encuentra en polaridad opuesta a la forma de onda y entonces se resta de la forma de onda normal desde el punto de vista de valor pico o voltaje de disturbio. Esto incluye la pérdida de voltaje por más de medio ciclo.

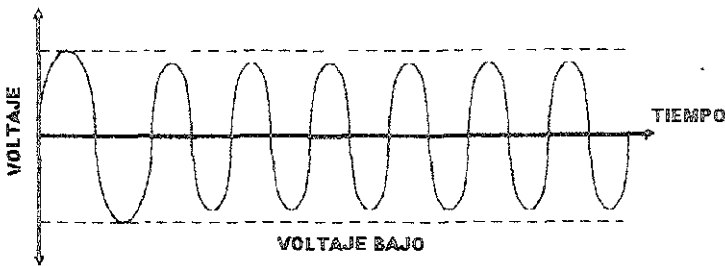


**NOTCHING**

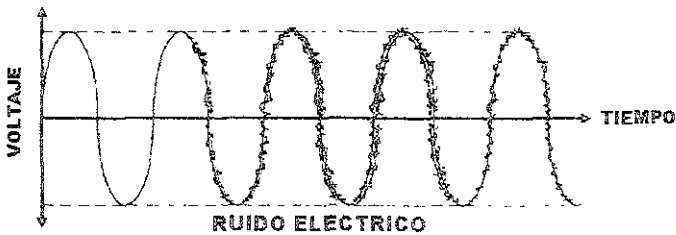
- *Sobrevoltaje*: es un incremento en el voltaje rms de corriente alterna a la frecuencia nominal por más de algunos segundos



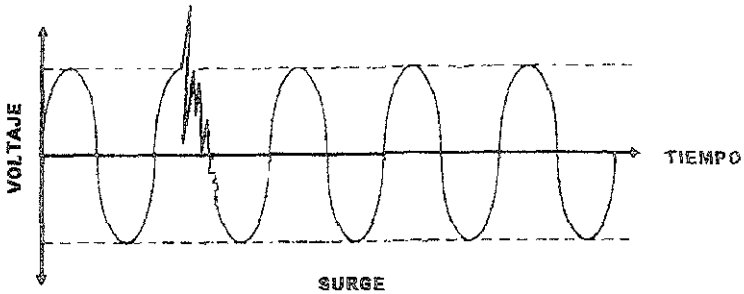
- *Voltaje bajo*: es decremento en el voltaje rms de corriente alterna a la frecuencia nominal por más de algunos segundos.



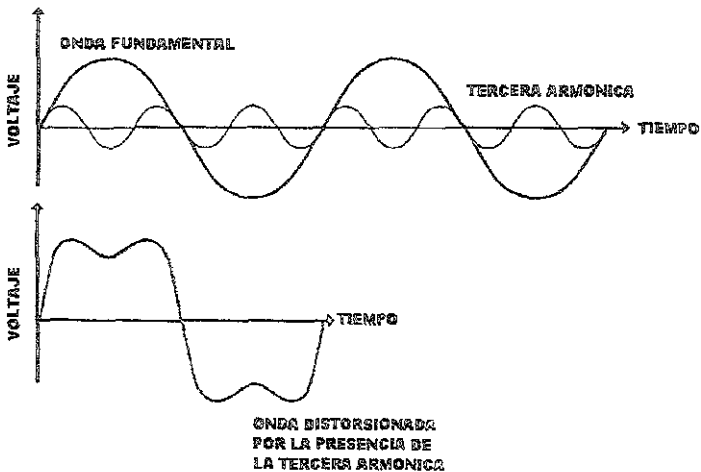
- *Ruido*: el ruido eléctrico es la suma de señales de distintos tipos y diversos orígenes que se suman a la señal senoidal, el ruido produce efectos negativos en equipos electrónicos sensibles.



- *Onda de sobrevoltaje(surge)*: es un disturbio en la onda de corriente alterna, menor a un ciclo, que representa un pico de voltaje, éste puede ser causado por una descarga atmosférica o por el switcheo de algún interruptor.



- *Armónica*: las armónicas son ondas de corriente de menor magnitud y mayor frecuencia que la de la corriente nominal, y que se suman a ella.



### 3.3 Fundamento de las armónicas

Cuando se aplica una onda sinusoidal de voltaje a una carga lineal, la totalidad de la onda de corriente ocurre a la misma frecuencia base que la del voltaje aplicado. Así, al aplicar una onda de voltaje de 60 Hz. a través de una carga lineal, únicamente se producirá una onda de corriente a 60 Hz. Pero esta situación cambia drásticamente cuando la carga es no lineal. Debido a su característica no lineal, al aplicar una onda de voltaje de 60 Hz. a través de ella, se producen corrientes a más de una frecuencia. Las frecuencias que se producen son múltiplos enteros impares de la frecuencia fundamental (60 Hz. en nuestro caso). Por ejemplo, en un sistema eléctrico con una carga no lineal conectada se pueden producir corrientes simultáneas y reales en 60 Hz., 180 Hz., 300 Hz., y demás. Estas corrientes se llaman corrientes armónicas.

Cada múltiplo de la onda fundamental se conoce como "orden de la armónica", la corriente fundamental o base (60 Hz.) se conoce como de 1er orden, y una corriente armónica de tercer orden tiene una frecuencia de tres veces el valor de la onda fundamental, o sea 180 Hz.

Las corrientes y voltajes armónicos son fenómenos imperceptibles por sí mismos, se requieren aparatos especiales para medirlos, pero sus efectos son reales y muchas veces ocurren fallas relacionadas con voltajes y corrientes armónicas sin previo aviso.

Teóricamente la amplitud de cada armónica de corriente ( $i_h$ ) puede ser obtenida de la siguiente fórmula:

$$i(h) = I_0 / h$$

donde  $I_0$  es la amplitud de la fundamental

donde:  $h$  es el orden de la armónica

La Distorsión Armónica Total (THD) es un término comúnmente usado para definir el "factor de distorsión armónica" (DF) en la tensión o corriente, es decir, el efecto de los armónicos sobre la tensión o corriente del sistema de potencia. Este factor se usa en sistemas de baja, media y alta tensión. Este factor se expresa en porcentaje de la onda fundamental, y está definido por:

$$\text{THD} = \text{DF} = \sqrt{\frac{\text{Suma de los cuadrados de la amplitudes de todos los armónicos}}{\text{Cuadrado de la amplitud de la fundamental}}} \cdot 100\%$$

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \cdot 100\% \quad (\text{en la tensión})$$



$$\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} \cdot 100\%$$

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \cdot 100\% \quad (\text{en la corriente})$$

Donde:

$V_h$  = Tensión del armónico de orden  $h$  ( $h=1$  corresponde a la tensión fundamental)

$I_h$  = Corriente del armónico de orden  $h$  ( $h=1$  corresponde a la corriente fundamental)

### 3.3.1 Efecto de las corrientes armónicas

Los sistemas de distribución eléctricos en instalaciones hospitalarias pueden verse afectados por las corrientes y voltajes armónicos. A continuación indicamos algunos de los componentes más comunes, el efecto que las corrientes o voltajes armónicos tienen en ellos y los posibles problemas.

Componente	Efecto de las armónicas	Posibles problemas
Conductor neutral	Algunas armónicas (las múltiplos de la 3ª: (3ª, 9ª, 15ª, etc.) no se cancelan, mas bien se suman en el conductor neutral.	El conductor neutral puede estar sobrecargado, y esto representa un peligro ya que este conductor no está protegido por un interruptor. Para aplicaciones con alto contenido de armónicas, se debe evitar el neutro compartido por varios circuitos y en los alimentadores, el neutral debe ser de igual calibre que los otros conductores (evitar neutral reducido).
Paneles Eléctricos	Paneles diseñados para llevar corrientes de 60 Hz. pueden entrar en resonancia mecánica debido a los campos magnéticos producidos por las corrientes armónicas.	Los paneles emiten un sonido debido a la vibración a frecuencias armónicas. Estas vibraciones pueden aflojar conexiones eléctricas y causar un daño en los equipos.

Banco de Capacitores	Los bancos de capacitores son diseñados para llevar su capacidad de corriente de 60 Hz. Ya que la impedancia capacitiva es inversamente proporcional a la frecuencia, el banco de capacitores presenta una impedancia menor a corrientes con frecuencias mayores.	Pueden dañarse los bancos de capacitores por sobrecarga. Una de las opciones es la de instalar filtros para las armónicas.
Motores	Los motores se diseñan para manejar corrientes de 60 Hz. La presencia de corrientes armónicas produce un aumento en las pérdidas de energía y por consecuencia un sobrecalentamiento interno del motor.	Puede darse una falla del motor por envejecimiento prematuro de su aislamiento, debido a su operación a temperaturas mayores que las de diseño. Cuando se utilizan motores con manejadores de frecuencia variable ( Variable Frequency Drives "VFD") se deben utilizar motores diseñados para esa aplicación.
Transformadores	Los transformadores están diseñados para llevar carga a 60 Hz. Corrientes a mayores frecuencias producen un incremento en las pérdidas de energía en el núcleo, causando un aumento de temperatura a niveles mayores que con corrientes de frecuencia fundamental.	Posible daño del transformador por sobrecalentamiento. Cuando existe un nivel alto de armónicas, se debe instalar un transformador con la capacidad "rating" para corrientes armónicas, comúnmente conocidos como tipo "K". En instalaciones existentes, se debe verificar el calibre de la barra del neutral.

### 3.4 Disturbios en el Voltaje en el Sistema de Distribución de la Compañía.

Las interrupciones momentáneas son generalmente menores a algunos minutos. Ellas resultan de una diversidad de operaciones normales y anormales en el sistema de distribución de la compañía suministradora. Se han monitoreado disturbios en la forma de onda de voltaje en el alimentador de distribución se ha

concluido que los "sags" en el voltaje de línea son los de mayor frecuencia, y entonces los que probablemente contribuyan más a las perturbaciones de los equipos electrónicos sensibles. A los "sags" les siguen ondas de sobrevoltaje, interrupciones y "swells", con menor probabilidad. El porcentaje real de cada tipo de disturbio en el voltaje, varía con el tiempo, localidad y fronteras de ajuste del equipo de monitoreo.

Los equipos de usuarios ubicados cerca de lugares donde los rayos afectan el sistema de distribución de la compañía eléctrica, experimentarán condiciones de sobrevoltaje en el sistema de distribución del edificio. Pero los equipos de los usuarios ubicados en sitios lejanos de los lugares donde se presentan las descargas atmosféricas, experimentan condiciones de sags momentáneos. Esto como resultado del flameo en los aisladores o por acción de puenteo de los equipos de protección contra descargas que bajan la carga del sistema de distribución de la compañía eléctrica durante su operación.

### **3.5 Interacciones entre la Fuente de Potencia y la Carga.**

Las interacciones del equipo electrónico sensible con las fuentes de poder, y tiene un entorno de disturbios transitorios o distorsión en estado estable de la forma de onda del voltaje. Cuando se mejoran estas variaciones, es útil conocer las formas de onda de las corrientes relacionadas. Ciertas interacciones fuente/carga, por ejemplo la conmutación, resulta en transitorios de corto tiempo de elevación de voltaje.

#### **3.5.1 Características de las Fuentes de Disturbios Transitorios de Voltaje.**

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

##### **3.5.1.1 Cargas en Pasos.**

Los cambios en pasos de carga son una de las fuentes de disturbio más comunes de voltaje. La causa básica del disturbio en el voltaje es simplemente la

caída de voltaje causada por la corriente de carga y la impedancia del sistema de potencia. Establecido en una forma simple, cuando la corriente de carga cambia, la caída de voltaje cambia. Los reguladores de voltaje tienden a corregir las caídas de voltaje dentro del sistema de distribución de potencia, pero sólo después de un retraso de tiempo que es característica inherente del regulador retroalimentado utilizado.

### **3.5.1.2 Corrientes de Inrush (Motores, filtros LC en Línea y fuentes de potencia).**

Las corrientes de inrush o arranque asociadas con la energización inicial de motores, filtros LC en línea del tipo paso bajas, y fuentes de potencia, son encontrados típicamente en equipos electrónicos sensibles. Las corrientes de arranque de motores (inrush) son iguales generalmente a las corrientes de rotor bloqueado, del orden de 5 a 7 veces el valor de su corriente nominal. Estas corrientes de inrush requieren de un tiempo de 0.3 a 3 segundos para decaer a los valores de estado estable, dependiendo del tiempo de aceleración. Las corrientes de arranque de los motores de CD aparecen como cargas de rectificador para el sistema de distribución de potencia en CA. La energización inicial de transformadores crea corrientes transitorias de magnetización, que pueden alcanzar valores de 10 a 20 veces la corriente nominal, y decae después de varios ciclos en las peores condiciones. Las corrientes de inrush reales dependerán del ángulo de fase en la forma de la onda del voltaje inicial y del estado del flujo magnético residual en el núcleo antes de la energización del transformador. Cuando se energizan fuentes de poder rectificador / capacitor, la carga inicial del capacitor puede causar niveles similares de corriente de inrush.

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

### **3.5.1.3 Corrientes de Falla.**

Las corrientes de falla representan un caso extremo de flujo de corriente transitoria y por lo tanto de un disturbio del voltaje de línea de CA. Dependiendo de la impedancia del sistema, se pueden tener corrientes de varios ordenes de

magnitud de la corriente nominal a plena carga. Lo anterior generalmente se traduce en severas reducciones de voltaje para los equipos adyacentes. Algunas condiciones de falla no resultan en altas corrientes y pueden hacer que los dispositivos de protección contra sobrecorrientes no operen (por ejemplo fallas a tierra con arco, bajo ciertas limitaciones). Estas fallas crean con frecuencia importantes voltajes transitorios de gran magnitud y alta frecuencia. Las fuentes de potencia sólidamente conectadas a tierra tienden a minimizar este tipo de falla.

#### **3.5.1.4 Interacciones del Regulador de Voltaje.**

Las cargas electrónicas están equipadas típicamente con reguladores de voltaje internos. Si están pobremente diseñadas para la aplicación, estos reguladores de voltaje internos pueden interactuar negativamente en la distribución de CA. El resultado puede ir desde una tendencia a amplificar el disturbio en el voltaje de línea de CA, hasta una oscilación sin control en el voltaje de entrada a la carga sensible.

#### **3.5.2 Impactos Potenciales por Disturbios Transitorios en el Voltaje.**

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

##### **3.5.2.1 Pérdida Completa de la Potencia de CA en las Cargas Electrónicas.**

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

##### **3.5.2.2 Diferencias en el Voltaje por Corto Tiempo**

Las reducciones temporales por corto tiempo en el voltaje de distribución de CA pueden deberse a cambios en la corriente de carga en pasos grandes. Esto es particularmente cierto para las corrientes de inrush en el transformador y en el motor, y los sistemas con cargas grandes y sensibles que dinámicamente conmutan sus subsistemas. La duración de estos voltajes bajos de CA puede

exceder el tiempo que se pueden mantener cerrados los elementos de conmutación de las fuentes de potencia de CD de las cargas sensibles, provocando algo equivalente a una sag de voltaje o a una interrupción.

### **3.5.2.3 Desplazamiento del Ángulo de Fase Transitorio por Cambios en la Carga Reactiva.**

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

### **3.5.2.4 Perturbación de los Datos.**

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

### **3.5.2.5 Variaciones de Frecuencia y Slew - Rate (razón de cambio de frecuencia)**

Cuando existe un sistema de generación en el sitio, por ejemplo una máquina - alternador como fuente de potencia, para cargas con equipos electrónicos sensibles. Variaciones en la carga pueden ser causa de cambio en la velocidad de rotación; se presenta entonces un desplazamiento en la frecuencia. Adicionalmente puede haber una tasa de cambio en la frecuencia entre los puntos de cruce por cero, es decir, puede ocurrir un slew rate. Condiciones de slew - rate crean problemas con frecuencia dentro de los equipos sensibles.

## **3.5.3 Fuentes Características de la Distorsión del Voltaje en Estado Estable**

### **3.5.3.1 Cargas No Lineales**

Cuando la corriente de carga instantánea es discontinua o no es proporcional al voltaje instantáneo de CA, se le llama no lineal. El efecto es equivalente a la presencia de componentes armónicos (frecuencia más alta) de corriente sobrepuestas sobre la corriente senoidal nominal. Todas las

componentes agregadas juntas son iguales a la forma de onda de la corriente real.

Estas componentes de la corriente no están en fase con la forma de onda del voltaje de distribución (a cada frecuencia armónica). Estas corrientes armónicas también interactúan con la impedancia de la fuente de potencia y generalmente crean una distorsión en el voltaje, pueden provocar resonancia con la fuente de potencia del sistema, y estresan los componentes del sistema de potencia en el sistema de distribución. Muchas cargas electrónicas exhiben características no lineales. Las fuentes de potencia CA/CD que usan rectificadores de un solo diodo y los capacitores filtro de CD son ejemplos comunes de este tipo de cargas. Se utilizan con frecuencia por los fabricantes de equipo electrónico sensible.

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

En circuitos trifásicos, las corrientes armónicas triplen en el neutro (tercera, sexta, novena, etc.) se agregan en lugar de cancelarse, ya que ellas son múltiplos de tres veces la frecuencia fundamental y están separadas por 120 grados eléctricos. Sobre la base de la frecuencia fundamental, las corrientes armónicas triplen de cada fase están en fase con las otras, y por lo tanto se suman en el circuito neutro.) En las peores condiciones, la corriente del neutro puede llegar a ser de 1.73 veces la corriente de fase

### **3.5.3.2 Cargas Reactivas.**

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

### **3.5.4 Impactos Potenciales de las Distorsiones de Corriente en Estado Estable**

#### **3.5.4.1 Resonancia Debida a las Corrientes Armónicas de la Carga.**

La presencia de capacitores, como los usados para la corrección del factor de potencia, puede resultar en resonancia paralelo que causa corrientes excesivas con daños subsecuentes en los capacitores, y también en una distorsión excesiva en el voltaje de línea de CA.

#### **3.5.4.2 Calentamiento debido a una Fuente de Voltaje no Senoidal.**

Dependiendo de la impedancia de la fuente de potencia, las cargas no lineales causarán formas de onda no senoidales. El voltaje suministrado a otros equipos (por ejemplo motores y transformadores) con estas formas de onda distorsionada puede resultar en una disipación de calor adicional. Las corrientes armónicas que fluyen debidas a los voltajes de fuente distorsionados causan, en forma típica, un calentamiento importante en los motores de CA. Los devanados del estator, los circuitos del rotor, y las laminaciones en el estator y en el rotor tienden a absorber energía adicional. Los campos dispersos establecidos por las corrientes armónicas en los devanados finales del estator y rotor también producen pérdidas extra.

#### **3.5.4.3 Efectos del Desplazamiento del Ángulo de Fase (Factor de Potencia).**

El factor de potencia total es la combinación de los factores de potencia de desplazamiento y de distorsión. Los factores de potencia totales de las cargas electrónicas sensibles raramente se acercan a la unidad, y siempre deben ser una preocupación para el diseñador del sistema de distribución de CA.

El factor de potencia de distorsión interviene en el flujo de potencia reactiva donde la corriente de carga y el voltaje de línea de CA no son senoidales ni de la misma frecuencia. Las cargas no lineales actúan como generadores de estas corrientes (armónicas) que son impuestas en la fuente de poder.

#### **3.5.4.4 Diferencias de la Forma de la Onda de Voltaje entre Subciclos.**

Las cargas no lineales exhiben factores de cresta grandes que tienden a causar que las ondas del voltaje de distribución de CA tengan el pico achatado.



Estos factores de cresta grandes pueden evitar que ciertos tipos de fuentes de potencia de CD sensibles a la carga, puedan obtener la corriente necesaria del sistema de distribución de potencia de CA del edificio. Este excesivo achatado puede causar el equivalente de una sag en la línea. Las cargas controladas por tiristores (por ejemplo Fuentes de poder, controles de motores) pueden causar disturbios en el voltaje de distribución de CA tal como ranurado y múltiple cruce por cero. Estos disturbios a su vez, pueden perturbar las cargas electrónicas sensibles.

### **3.6 Ondas de Voltaje (Surges).**

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

#### **3.6.1 Fuentes Características.**

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

##### **3.6.1.1 Ondas por Maniobra.**

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

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

Las causas típicas son las siguientes:

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

Las corrientes transitorias producen flujos y niveles transitorios de carga dentro de los componentes individuales en el circuito. Tomando en cuenta las corrientes transitorias se puede llegar a los siguientes conceptos:

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

Aplicando estos conceptos al caso de un sistema de distribución típico con un corto circuito distante e interrumpido por un dispositivo de protección en algún lugar de la línea se puede establecer que:

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

Cuando un interruptor abre un circuito con carga ocurre lo siguiente: antes de la interrupción, el voltaje de la onda de switcheo (interruptor) es cero. Entonces la onda de voltaje se incrementa lentamente después de que ocurre la separación de los contactos, seguida de una oscilación amortiguada.

Si el arco de switcheo es inestable (circuito inductivo - capacitivo) cuando abren los contactos, entonces, la corriente se interrumpe y reenciende varias veces antes de que la rigidez dieléctrica que se abre cada vez más, supere la

diferencia de voltaje a través del espacio entre los contactores (gap), creando así una condición estable de circuito abierto. Cuando ocurren múltiples interrupciones y reencendidos se mantiene una serie de transitorios eléctricos rápidos, que tienen un tiempo relativamente largo de elevación y terminan con un abrupto colapso.

En general, los frentes de onda con elevación rápida de la maniobra se hacen lentos con las discontinuidades en la capacitancia e inductancia del sistema de distribución del edificio (debido primeramente a la capacitancia y a la inductancia distribuida) desde su punto de incidencia hasta el equipo sensible, y sus amplitudes se reducen en función de las pérdidas en el medio de transmisión (las pérdidas son mayores con las longitudes incrementadas de la trayectoria). Esto quiere decir que entre más cerca esté eléctricamente hablando el equipo sensible de las fuentes de ondas por switcheo, más severo será el efecto potencial del transitorio en el equipo. Este efecto de atenuación del sistema de distribución de potencia del edificio es muy dependiente del tiempo de elevación de la onda. El voltaje máximo de una onda con tiempo de elevación de 5 ns, se reduce por un factor de dos, vía 60 a 70 metros de circuito ramal de distribución de bajo voltaje y monofásico (en conduit de acero). Se observa muy poca atenuación de voltaje para ondas que tienen tiempos de elevación más grandes.

### **3.6.1.2 Ondas Inducidas por el Medio Ambiente.**

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

#### **3.6.1.2.1 Ondas Inducidas por Descargas Atmosféricas.**

Existe considerable información en la literatura acerca de la mecánica de los rayos y de su formación. Aquí es suficiente decir que la generación de un centro de carga negativa grande en las regiones más bajas de las nubes causa que se induzca en la superficie de la tierra un centro de carga positiva. Esto resulta en un potencial (voltaje) entre las nubes y tierra. Tales centros de carga continúan desarrollándose hasta que el gradiente de potencial, en la base de la nube, excede la rigidez dieléctrica del aire. El resultado es una descarga de baja

corriente, el rayo piloto. Este es seguido inmediatamente por una descarga de más alta corriente, el líder escalonado, que es seguido por uno o más rayos de retorno (tierra a nube). Sus corrientes van desde unos cuantos cientos de amperes a más de 500,000. Es importante también mencionar que el tiempo de elevación de los rayos de retorno es muy corto, típicamente 0.1 - 10 ms.

Sus grandes niveles de corriente crean un volumen ionizado alrededor de la tierra (región ionizada). Dentro de este volumen de la tierra, la energía del rayo arquea directamente a cualquier elemento altamente conductivo (por ejemplo cables enterrados), causando, por lo tanto, una elevación de voltaje considerablemente mayor que en áreas de tierra que están fuera del volumen de ionización. La forma y tamaño de esta región de ionización es función de la resistividad del suelo y de la corriente del rayo. Esta región es de particular importancia en la supresión del impacto del rayo en el equipo electrónico y/o en los cables conductores. Fuera de esta región ionizada, el voltaje inducido disponible se reduce en forma considerable, y entonces los voltajes inducidos hacia los conductores eléctricos también se disminuyen.

Las partes del fenómeno más importantes en el diseño de la protección contra descargas atmosféricas para equipo electrónico sensible son la etapa posterior del proceso del líder escalonado y las subsecuentes descargas de retorno de alta corriente. Las características más importantes de la descarga son su corriente, voltaje, forma de la onda, polaridad, carga y frecuencia de ocurrencia. Las descargas de nube a nube también pueden inducir una considerable energía transitoria hacia los conductores aéreos y hacia los enterrados.

#### **3.6.1.2.2 Redistribución de Carga Atmosférica sin Arco.**

Niveles importantes de energía transitoria pueden ser inducidos tanto en los conductores enterrados como en los aéreos a partir de la redistribución rápida de los centros de carga atmosféricos (nubes). Este fenómeno ocurre comúnmente después de las descargas atmosféricas, y es el resultado de la gran movilidad de los centros de carga intentando encontrar un equilibrio con las cargas relativamente fijas en tierra. El rápido movimiento de carga causa campos electromagnéticos similares a los de un rayo entre nube y nube. Las ondas resultantes de corriente y voltaje en los conductores aéreos y enterrados se

modelan similarmente a los rayos de nube a tierra, excepto que tiene una base de tiempo expandida.

### **3.6.1.2.3 Descargas Electroestáticas (C.E.)**

Las descargas electrostáticas (C:E por siglas en inglés) típicamente tienen un potencial de referencia alto, pero pocas cantidades de energía. Existen varios procesos de generación de carga, incluyendo la triboelectrificación, cargado por inducción y cargado por efecto corona. La generación de cargas estáticas resulta generalmente de una "acción de frotación" entre dos materiales (sólidos o líquidos) de diferentes características de energía superficial, en la ausencia de una trayectoria conductora entre ellos. Esta formación de la carga es rápidamente liberada cuando se establece una trayectoria conductora (arco de descarga). Las ondas CE pueden ser muy dañinas para los dispositivos semiconductores en los equipos electrónicos sensibles. Los voltajes de descarga están, con frecuencia, en el rango de 5 a 40 kV. Los niveles de energía tienden a ser del orden de unidades de mJ a decenas de mJ. Estas ondas se caracterizan por tener tiempos de elevación cortos ( $dv/dt$ ) y relativamente lentas tasas de decaimiento (comparadas con las descargas atmosféricas o con las ondas inducidas por maniobra). Como estas ondas tienen poca energía, ellas pueden ser relativamente fácilmente atrapadas usando "clamps"(sujetadores) de voltaje (de respuesta rápida) y capacitores. El blindaje de los circuitos sensibles es también un medio efectivo de protección. Debido a sus tiempos de elevación muy cortos, las ondas CE se atenúan considerablemente dentro del alambrado de distribución del edificio. Por lo tanto, el control de CE es más importante para fuentes que están cerca de los circuitos electrónicos sensibles.

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

### **3.6.2 Interacción con Cables enterrados.**

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

Los parámetros importantes del cable son la longitud y la intensidad dieléctrica de los forros aislantes. La resistividad del suelo también es importante para determinar las ondas inducidas por descargas atmosféricas. Los voltajes y corrientes pico son proporcionales aproximadamente a la raíz cuadrada de la resistividad del suelo.

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

### **3.6.3 Interacción con los Conductores sobre Tierra.**

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

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

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

### **3.6.4 Impacto Potencial.**

Dependiendo de la severidad de la onda y de la susceptibilidad del equipo, son posibles tres tipos de ocurrencias (además del daño causado a los cables y

conductores): perturbación de la información, estrés de la carga, y destrucción del hardware.

#### 3.6.4.1 Interrupción de los Datos.

Los circuitos que llevan señales son susceptibles a las interferencias por ondas vía conducción, acoplamiento inductivo o capacitivo, y radiación electromagnética. Cuando se observan ondas en las líneas con señales, se supone con frecuencia, sólo porque los circuitos con señales están aún trabajando, que el ruido está por debajo de la frontera que causa problemas. Esto no es así. Los circuitos digitales se basan funcionalmente en estados "alto" o "bajo", los cuales son relativamente estables. Una señal fuerte, puede perturbar un circuito digital de un estado a otro. Más aún, la mayoría de los circuitos emplean la mayor parte de su vida de trabajo en un estado u otro, y muy poco tiempo en la transición entre estados.

Sin embargo, cuando un circuito biestable está en transición entre estados, es muy susceptible a la interferencia. El circuito se comporta como un amplificador con retroalimentación positiva y puede amplificar señales muy débiles hasta el punto de saturar su semiconductor de switcheo. Entonces, aún ondas de muy baja magnitud pueden ser la causa de perturbación de la información si se presentan en el momento de la transición. Una onda tiene una oportunidad de 55% de llevar al circuito en la dirección opuesta a la que se intentaba, causando un error en el dato al cambiar la señal digital del estado "alto" o "bajo" que tenía. Estos errores en los datos pueden ser obvios inmediatamente o pueden hacerse evidentes bajo un conjunto único de condiciones que no ocurren frecuentemente.

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

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

### 3.7 Dispositivos recomendados para elevar la calidad de la energía

En esta parte se describen muchos de los tipos de dispositivos que mejoran la potencia eléctrica en cualquier forma que esté disponible, y la modifican para mejorar la calidad y la confiabilidad requerida por los equipos electrónicos de CA sensibles. Estos dispositivos llevan a cabo funciones tales como la eliminación de ruido, cambio o estabilización de voltaje, frecuencia y forma de onda. Los requerimientos para el manejo y comportamiento de la potencia varían dependiendo de cada aplicación. Una amplia variedad de productos que mejoran la potencia está disponible en el mercado, utilizan diversas tecnologías y proporcionan diferentes grados de protección a la carga conectada. Primero se deben entender los requerimientos de la aplicación, y luego aplicar una solución costo / efectividad utilizando uno o más de los productos disponibles.

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

#### 3.7.1 Transformadores de Aislamiento.

Los transformadores de aislamiento son uno de los dispositivos más ampliamente utilizados para mejorar la potencia. La Figura. 3.1 muestra la configuración de uno de ellos.

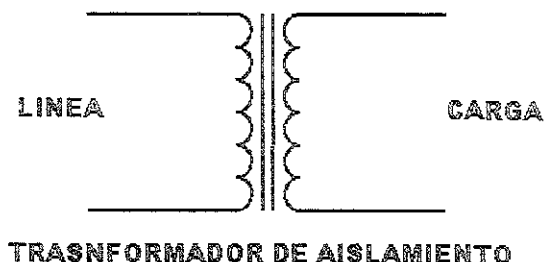


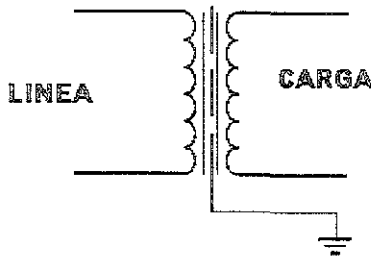
FIGURA 3.1



Tienen dos devanados separados: el primario (de entrada) y el secundario (de salida). Proporcionan varias funciones. Una es la habilidad para transformar o cambiar el nivel de voltaje entrada - salida. En forma típica, los 480 V se distribuyen hasta el punto de utilización y luego se transforman a 120 V ó 120 V / 208 V. Otra función de los devanados separados es proporcionar un lugar para establecer la referencia a tierra de la potencia cerca del punto de utilización. Esto reduce enormemente el ruido de modo común inducido a través de los "lazos de tierra" o de las múltiples trayectorias de corriente en el circuito arriba del punto establecido de referencia a tierra. Estos dispositivos pasivos introducen una distorsión mínima en la fuente de entrada. Además, pueden reducir las corrientes armónicas alimentadas hacia la fuente por las cargas trifásicas no lineales.

Para el propósito del acondicionamiento de la potencia, los transformadores de aislamiento deben equiparse con escudos electrostáticos (Faraday) entre los devanados primario y secundario como se muestra en la Figura. 3.2.

Un escudo electrostático es una hoja conductora de material no magnético (cobre o aluminio) conectada a tierra, que reduce el efecto del acoplamiento capacitivo entre los devanados primario y secundario y mejora la habilidad del transformador para aislar su carga del ruido de modo común, presente en la fuente de potencia de entrada. Los escudos sencillos agregan poco al costo, al tamaño, o al peso del transformador.



**TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO BLINDADO**

**FIGURA 3.2**

Existen transformadores especialmente acondicionados, conocidos como "súper aislantes" o "ultra aislantes", que están equipados con escudos adicionales alrededor de cada devanado para reducir aun más el ruido de modo común de la

fuelle por 140 dB o más Sin embargo, esto se hace a expensas de introducir una reactancia adicional, con lo que se tiene una regulación del voltaje degradada cuando cambia la carga, y costos más altos que los de transformadores de aislamiento con escudos sencillos. Estos transformadores no proporcionan desacoplamiento de las perturbaciones de modo transverso.

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

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

### 3.7.2 Filtros contra Ruido.

Los filtros en línea tienen la función de reducir la interferencia electromagnética y la interferencia por radio frecuencia. La Figura. 3.3 muestra una representación de un tipo de filtro LC.

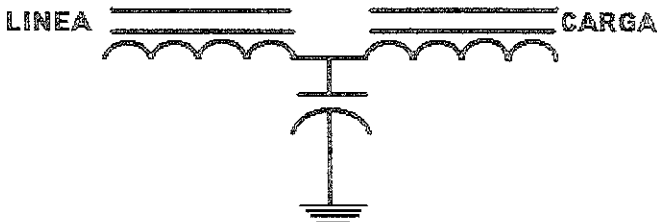


Figura 3.3 Filtro LC

Los filtros se pueden usar para prevenir interferencia de ondas viajeras generadas por la fuente de potencia orientadas a los equipos, así como prevenir que el equipo produzca interferencia en la línea de potencia. La mayoría de los equipos electrónicos sensibles tienen alguna forma de filtros para limitar el ruido de alta frecuencia.

La forma más simple de un filtro, es un filtro "paso bajas" diseñado para dejar pasar el voltaje de 60 Hz y bloquear las frecuencias muy altas o las ondas con frentes muy escarpados. Estos dispositivos contienen inductores en serie seguidos de capacitores a tierra. El inductor forma una trayectoria de baja impedancia para la potencia de la fuente de 60 Hz, pero una trayectoria de muy alta impedancia para el ruido de alta frecuencia. El capacitor conduce el ruido de alta frecuencia restante antes de que alcance la carga. Los filtros RFI (Radio Frequency Interference o Interferencia por Radio Frecuencia) no son efectivos para frecuencias cerca de 60 Hz, tales como las de las armónicas de bajo orden.

Los filtros pueden conectarse entre fases o de fase a neutro para el rechazo de ruido en modo transverso. También se pueden conectar entre fase y neutro o entre fase y tierra. Los filtros requieren de cierto grado de conocimientos para aplicarlos en forma apropiada. Si no se usan en forma apropiada pueden producir un efecto resonante (ringing) que puede ser peor que el ruido que se intentaba filtrar con ellos. Por esta y otras razones, filtros más grandes que los simples filtros contra la radio interferencia (RFI) se usan muy raramente como dispositivos acondicionadores que se agregados a la línea.

### **3.7.3 Filtros para Corrientes Armónicas**

Una de las perturbaciones de mayor relevancia son las corrientes armónicas; convencionalmente los filtros pasivos han sido utilizados como solución clásica para la cancelación de corrientes armónicas.

Los filtros pasivos para armónicas vienen en una amplia variedad, en algunos caso son solamente un reactor, en otros casos se usan configuraciones en serie y paralelo para atrapar a las corrientes armónicas. Los filtros que se conectan en serie con la carga pero que tienen componentes (inductores y capacitores) conectados en paralelo tienen la función de rechazar cierto ancho de banda, que es de frecuencias mayores a 60Hz y los filtros que se conectan en

paralelo con la carga pero que tienen sus componentes (inductores y capacitores) conectados en serie tienen la función de dejar pasar sólo las frecuencias cercanas a 60Hz, cuando se sintonizan de manera correcta y si la carga no cambia sustancialmente son una manera efectiva de controlar las corrientes armónicas.

La principal desventaja de los filtros pasivos es que trabajan a una frecuencia específica y pueden presentar problemas de resonancia con el sistema de potencia bajo ciertas condiciones transitorias y operación estable. Como una alternativa a los filtros pasivos surgen los filtros electrónicos.

Los filtros electrónicos sensan las corrientes armónicas y generan una corriente inversa (corriente de offset o de compensación) de tal forma que anula a la armónica indeseada, cambiando constantemente su condición de operación mediante un adecuado circuito de control.

Las principales características de un filtro electrónico son: flexibilidad en el control, rápido tiempo de respuesta, bajo costo de mantenimiento, un equipo puede compensar amplios rangos de frecuencia, proporciona un rango continuo de compensación de potencia reactiva y no presenta problemas de resonancia natural. Los filtros electrónicos de tensión son empleados básicamente para compensar armónicos de tensión, garantizando que la forma de onda de tensión que alimenta a una carga tenga una distorsión inferior a un valor crítico, lo cual garantiza su correcto funcionamiento ante variaciones de parámetros en la tensión. Sin embargo, es posible que el filtro electrónico realice otras funciones sin modificar su estructura básica. Sólo es necesario realizar ajuste en parámetros y modificar el control para incluir nuevas funciones como regulación de tensión y cancelación de corrientes armónica en sistemas de filtrado híbrido (filtro pasivo más filtro electrónico). Dentro de estos sistemas, se identifican los reguladores dinámicos de voltaje o DVR por sus siglas en inglés.

#### **3.7.4 Supresores de Ondas de Sobrevoltaje.**

Los supresores de ondas sobrevoltaje o TVSS (por sus siglas en inglés Transient Voltage Surge Supresión) abarcan una amplia categoría de dispositivos desde los grandes, como los apartarrayos, hasta los pequeños supresores usados para proteger los dispositivos enchufables. La protección

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

Los supresores de ondas más pequeños son dispositivos generalmente simples y de relativamente bajo costo. Usualmente contienen varistores de óxido de metal (MOV's por siglas en inglés), o diodos de avalancha hechos de silicio (SASd's por sus siglas en inglés), y se conectan a través de la línea de potencia de la terminal del voltaje de una fase a otra, o a tierra. Los supresores absorben o desvían la energía de sus fuentes que excede el voltaje de frontera (típicamente 100% arriba del voltaje nominal). Debido a su tamaño pequeño y bajo costo comparados con el equipo que protegen y con el costo de determinar si tales ondas existen en una instalación dada (o aun si esta característica está ya implementada dentro del propio equipo a proteger), se usan en forma rutinaria como un seguro de bajo costo contra la posibilidad de que se presenten ondas severas. Muchos de los acondicionadores de potencia de alta calidad incluyen supresores. Estos también se pueden agregar en los paneles de distribución si no se han incluido en alguna otra parte.

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

### **3.7.5 Reguladores de Voltaje.**

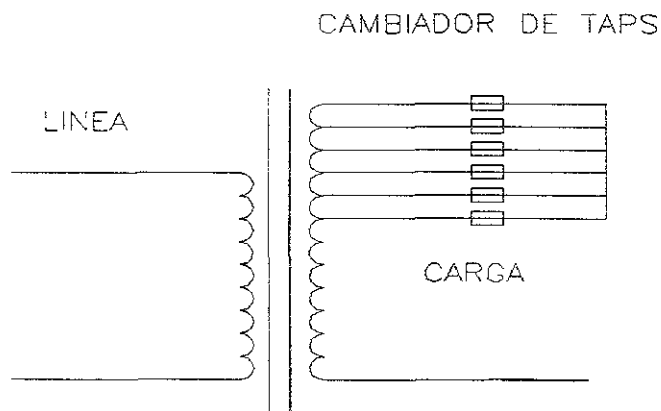
La mayoría de las perturbaciones de baja frecuencia, excepto la falta de energía, se puede manejar con una aplicación adecuada de un regulador de

voltaje. En la actualidad existen varios tipos de reguladores de voltaje. Los dispositivos de estado sólido, como los usados en los transformadores de voltaje constante y los cambiadores de taps, son los que se usan hoy en día en forma casi exclusiva, más que los del tipo electromecánico que son más lentos para actuar.

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

### 3.7.5.1 Cambiadores de Taps.

Los reguladores de respuesta rápida se dividen en dos clases genéricas, cambiadores de taps, y, de carga e incremento (buck - boost). El primero es el regulador cambiador de taps mostrado en la siguiente figura



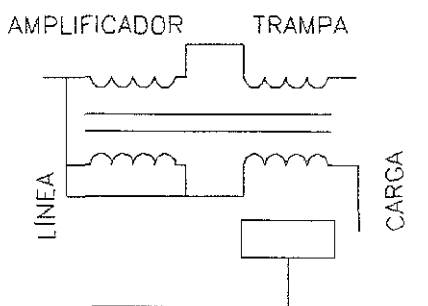
Los cambiadores de taps de calidad se diseñan para ajustar los voltajes variables de entrada transfiriendo taps en un transformador de potencia (ya sea del tipo de aislamiento o autotransformador) en el punto de corriente cero de la onda de salida. Algunos modelos hacen el cambio de tap cuando el voltaje pasa por cero, lo que causa que se genere un transitorio excepto cuando la carga tiene un factor de potencia de uno. Con las unidades del tipo que conmutan el voltaje,

se debe determinar la magnitud del transitorio con las condiciones de carga reales. El número de taps determina la magnitud de los pasos y el rango de regulación posible. Un regulador de buena calidad tendrá cuando menos 4 taps abajo del normal y 2 taps arriba del normal para un total de 7 pasos. Los taps son generalmente pasos de entre 4% y 10%, dependiendo de los diseños específicos. El tiempo de respuesta es usualmente de 1 a 2 ciclos y esta limitado a esa velocidad debido al criterio de hacer la conmutación con corriente cero. Un tiempo de sensado práctico y la estabilidad del sistema de control limitan típicamente el tiempo completo de corrección a 3 - 5 ciclos.

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

### 3.7.5.2 Reguladores Buck - Boost (Cargar - Aumentar).

La segunda clase de reguladores de respuesta rápida es el tipo electrónico buck - boost, como el que se muestra en la siguiente figura:

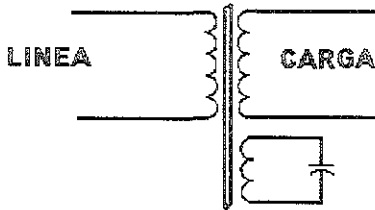


Utiliza un control de estado sólido de transformadores buck - boost en combinación con filtros para proporcionar una salida digital aún con cargas no lineales típicas de los sistemas de cómputo. Esto se hace de una manera suave y continua, eliminando los pasos inherentes en el cambiador de taps. Pueden

entregar las corrientes de inrush típicas del arranque de los procesadores centrales de computadoras o de motores a la vez que casi mantienen el voltaje pleno. Las unidades pueden estar equipadas a la entrada, con un transformador de aislamiento con escudos electrostáticos que proporcionan la reducción de voltaje y atenuación del ruido de modo común cuando sea necesario. La potencia se alimenta al regulador, que agrega (boost) o resta (bucks) del voltaje de llegada de tal manera que el voltaje de salida se mantiene constante para variaciones del 15% al 20% del voltaje de entrada. Esto se hace comparando el voltaje de salida con el nivel requerido (ajuste, referencia) y usando una retroalimentación para modificar el nivel de incremento (boost) o de resta (buck) de tal manera que se mantiene el nivel deseado. Un filtro paramétrico proporciona una trayectoria para las corrientes no lineales generadas por la carga y por el propio regulador y produce una onda senoidal de salida con muy bajo factor de distorsión total.

### 3.7.5.3 Transformadores de Voltaje Constante.

Un tipo común de regulador es el transformador "ferroresonante" o de voltaje constante (TVC). Una topología clásica es la que se muestra en la siguiente figura



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



Se requiere un análisis cuidadosos para las condiciones de sobrecarga. La corriente de carga tiende a causar que la unidad se salga de resonancia si se eleva mucho. A menudo estas unidades sólo suministran entre 125% y 200% de su carga nominal plena. Si las corrientes de inrush o de arranque exceden estos límites, el voltaje de salida se reducirá en forma importante, lo que puede no ser compatible con algunas cargas. Los dispositivos de protección en la salida del transformador de voltaje constante verán este abatimiento temporal del voltaje (sag), y se pueden disparar. Estos dispositivos deben estar sobredimensionados, si se espera que ellos proporcionen las corrientes de arranque o de inrush grandes. Los transformadores de voltaje constante drenan corriente todo el tiempo. Esta corriente se debe al circuito resonante y causa que estas unidades sean menos eficientes con cargas bajas, en comparación con otros tipos de reguladores. Algunas de estas unidades son muy ruidosas y requieren empacarse en contenedores antes de que sean instaladas en una oficina.

### **3.7.6 Acondicionadores de Potencia.**

Los acondicionadores de potencia típicos combinan una o más de las tecnologías básicas para mejorar la potencia y proporcionar una protección más completa contra las perturbaciones en la potencia. Algunos acondicionadores combinan las características de reducción de ruido de los transformadores de aislamiento o de los dispositivos de filtraje, con reguladores de voltaje. Estas unidades proporcionan una fuente local derivada con aislamiento y a la vez proporcionan regulación de voltaje. Los acondicionadores de potencia avanzados también incorporan supresores de ondas para sujetar (clamp) ondas de alto voltaje.

### **3.7.7 Sintetizador Magnético**

Otra tecnología basada en la ferresonancia es el sintetizador magnético. Estas unidades consisten de inductores no lineales y capacitores en un circuito resonante en paralelo con transformadores saturables de seis pulsos. Estas unidades drenan potencia de la fuente y generan su onda de voltaje de salida combinando los pulsos saturables de los transformadores en una forma de onda escalonada. Proporcionan rechazo a las ondas y al ruido, regulando el voltaje de salida dentro de un 10% para oscilaciones grandes en la entrada, de hasta mas o menos 50%. Estas unidades incorporan, generalmente, blindaje dentro de los

transformadores de pulso para atenuar las perturbaciones de modo común. Se incluye filtraje adicional para eliminar las armónicas auto inducidas. Este filtraje puede manejar un nivel razonable de distorsión armónica en la entrada o en la salida como sea inducido por las cargas no lineales. El circuito se sintoniza al voltaje de salida y a la frecuencia a nominales.

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

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

### **3.7.8 Sistemas de emergencia.**

Todos los sistemas de emergencia que incluyen grupo motor - generador, sistemas ininterrumpibles de potencia (UPS) y otros sistemas de emergencia en "stand by" serán tratados en el capítulo 4.

### 3.8 Resumen de Dispositivos que Mejoran la Potencia

Dispositivo y Funciones Principales	Descripción General
<p><b>Transformadores de Aislamiento</b>            Atenúa las perturbaciones en los conductores de la fuente de potencia. Proporciona un punto local de referencia a tierra. Con taps, permite la compensación de la caída de voltaje en estado estable en los alimentadores.</p>	<p>Transformador con devanados primario y secundario físicamente diferentes. Con frecuencia tienen una o múltiples pantallas electrostáticas para reducir más aún el ruido de modo común.</p>
<p><b>Filtros de Ruido.</b>            Reducción del ruido en modo común y transversal variando la atenuación y el ancho de banda con diseño de filtro.</p>	<p>Inductores serie con capacitores en paralelo. Buenos para ruido de alta frecuencia y baja energía.</p>
<p><b>Filtros de Armónicas.</b>            Reducción de corrientes armónicas de entrada en las cargas cercanas, que pueden causar calentamiento de conductores de potencia, transformadores, motores, etc.</p>	<p>Inductores serie con trampa de armónicas para prevenir que las armónicas se alimenten de regreso a la línea.</p>
<p><b>Supresores de Ondas.</b> □ Divide o atrapa (clamp) a las ondas. □</p>	<p>Varios tipos de supresores están disponibles para limitar los voltajes en el circuito. Los dispositivos varían en clamping, voltaje, y habilidad para manejar la energía. Los dispositivos típicos como gaps, tubos de descarga de gas; y del tipo resistivos no lineales como válvulas de tinta, diodos de avalancha, y varistores de óxido metálico. También disponibles son los supresores activos que son capaces de clamp, o limitar, ondas independientemente de donde en la onda senoidal de potencia ocurre la onda. Estos dispositivos no afectan en forma importante el consumo de energía.</p>

<p><b>Reguladores de Voltaje</b> □ Proporcionan un nivel de voltaje de salida relativamente constante en estado estable para un cierto rango de voltajes de entrada. □</p>	<p>Existe una gran diversidad de técnicas para la regulación del voltaje. Las más comunes incluyen transformadores ferromagnéticos, transformadores con switcheo de taps electrónico y reguladores de reactor saturable. Transformador ferromagnético blindado o transformadores con cambiador de taps, incluyendo supresores de ondas y filtros.</p>
<p><b>Acondicionadores de Potencia.</b>  Más frecuentemente un producto que proporciona tanto regulación como reducción de ruido. Algunos productos proporcionan métodos múltiples de reducción de ruidos, pero no regulación, por ejemplo transformador y filtro.</p>	
<p><b>Sintetizador Magnético.</b>  Dispositivo trifásico, basado en la ferromagnética que genera un voltaje de salida combinando pulsos de múltiples transformadores saturables para formar una forma de onda</p>	
<p><b>Motor – Generador.</b>  Regulación de voltaje, eliminación de ruido / ondas; y corrección de la forma de la onda por distorsión de voltaje.</p>	<p>Más frecuentemente dos dispositivos separados, un motor y un alternador(generator), interconectados por una flecha u otro medio mecánico</p>
<p><b>Sistemas de Respaldo (Standby).</b>  Inversor y batería de respaldo, operando como UPS, cuando falla la potencia normal. En modo de standby, la carga se alimenta desde el suministro normal.</p>	<p>Un inversor al que se le conmuta la carga una vez que falla la de potencia normal. La potencia se pierde durante un instante cuando ocurre la transferencia hacia y desde la fuente de potencia normal. Usualmente formada por un inversor de estado sólido, batería, y un pequeño cargador de batería.</p>
<p><b>Fuentes Ininterrumpibles de Potencia (UPS).</b>  Mantiene la alimentación de voltaje regulado, forma de la onda, violación de ruido / onda durante un periodo de tiempo después de que falla la potencia.</p>	<p>Los más comunes usan tecnologías interactivas con la línea o rectificador/inversor. Una batería alimenta la potencia al inversor durante la pérdida de la potencia de entrada.</p>

### 3.9 Ejemplo de cálculo del factor K.

Un hospital está teniendo problemas de sobrecalentamiento en uno de sus transformadores trifásicos aun cuando éste tiene sus cargas balanceadas y está correctamente dimensionado, se procede a examinar la carga de una de sus fases la cual abastece al área de cuidado coronario con capacidad para 30 camas y todas tiene equipos sensibles construidos con base en microprocesadores.

Al medir con un amperímetro de rms verdadero se encontró que la corriente es de 30 A rms y al utilizar un analizador de armónicas se encontraron armónicas de 3, 5, 7, y 9 orden y sus valores corresponden a la siguiente tabla.

	% fundamental	% total
Fundamental	100	67.88
Tercera	80.1	54.37
Quinta	60.6	41.13
Séptima	37	25.12
Novena	15.7	10.67

Tomando en cuenta una tensión de 127 V a 60Hz que se puede representar como

$$v(w_1 \times t) = 127 \times \sqrt{2} \times \sin (w_1 \times t) \text{ V donde } w_1=120 \times \pi \text{ rad/seg.}$$

De acuerdo a la anterior tabla podemos representar con las siguientes ecuaciones a las corrientes armónicas y la fundamental.

$$i_1 (w_1 \times t) = 30 \times 0.6788 \times \sqrt{2} \times \sin (1 \times w_1 \times t) \text{ A}$$

$$i_3 (w_1 \times t) = -30 \times 0.5437 \times \sqrt{2} \times \sin (3 \times w_1 \times t) \text{ A}$$

$$i_5 (w_1 \times t) = 30 \times 0.4113 \times \sqrt{2} \times \sin (5 \times w_1 \times t) \text{ A}$$

$$i_7 (w_1 \times t) = -30 \times 0.2512 \times \sqrt{2} \times \sin (7 \times w_1 \times t) \text{ A}$$

$$i_9 (w_1 \times t) = 30 \times 0.1067 \times \sqrt{2} \times \sin (9 \times w_1 \times t) \text{ A}$$

de esta forma representamos la corriente total como sigue:

$$i(w_1 \times t) = 28.8 \sin (1 \times w_1 \times t) - 23.1 \sin (3 \times w_1 \times t) + 17.5 \sin (5 \times w_1 \times t) - 10.7 \sin (7 \times w_1 \times t) + 4.5 \sin (9 \times w_1 \times t)$$

Procedemos a calcular la distorsión armónica total o THD (por sus siglas en inglés), también se le conoce como factor armónico o factor de distorsión. Es la relación del valor rms de la distorsión al valor rms de la fundamental . Debido a que la fundamental no contribuye a la distorsión , el valor efectivo de la distorsión es la raíz de la suma de los cuadrados de los valores rms de los armónicos, de la segunda en adelante.

Matemáticamente:

$$\text{THD} = \frac{\text{valor rms de la distorsión}}{\text{valor rms de la fundamental}}$$

$$\text{THD} = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} \left( \frac{I_h}{I_1} \right)^2}$$

Empleamos el siguiente formato para calcular los componentes de la fórmula

h	1	3	5	7	9
$I_{pico}$	28.8	23.1	17.5	10.7	4.5
$I_{rms} = I_{pico}/\sqrt{2}$	20.36	16.35	12.37	7.57	3.18
$(I_{rms})^2$	414.52	267.6	153.01	57.3	10.11
$I_{rms}/I_1$	1	0.802	0.608	0.372	0.156
$(I_{rms}/I_1)^2$	1	0.643	0.369	0.138	0.024

$$\sum (I_{rms}/I_1)^2 = 0.643 + 0.369 + 0.138 + 0.024 = 1.174$$

$$THD = \sqrt{(\sum (I_{rms}/I_1)^2)} = \sqrt{(1.174)} = 1.084 = 108.4\%$$

Con una distorsión armónica tan grande es necesario alimentar estas cargas con un transformador especial para que no se sobrecaliente, dichos transformadores se le conocen como transformadores con factor K, el factor K indica la capacidad para alimentar cargas no senoidales sin sobrecalentarse, el factor K está dado por la siguiente expresión:

$$K = \sum_{h=1}^{h_{max}} I_h^2 \cdot h^2$$

donde  $I_h$  es el valor efectivo de la corriente armónica h, en pu del valor de la corriente total. De acuerdo a los datos recabados por el analizador de armónicas

	% total
Fundamental	67.88
Tercera	54.37
Quinta	41.13
Séptima	25.12
Novena	10.67

$$K = (0.678)^2 + 3^2(0.5437)^2 + 5^2(0.4113)^2 + 7^2(0.2512)^2 + 9^2(0.1067)^2 =$$

$$K = 0.4607 + 2.66 + 4.229 + 3.09 + 0.922$$

$$K = 11.36$$

El factor K de una corriente de carga se puede obtener con la misma ecuación y con  $I_h$  en pu de la corriente fundamental. Si se tienen los datos de las corrientes armónicas en pu de la fundamental, el factor K se calcula mediante la siguiente expresión:

$$K = \left( \frac{I_1}{I} \right)^2 \sum_{h=1}^{h_{\max}} I_h^2 \cdot h^2$$

donde  $I_1$  es el valor rms de la corriente fundamental

$I$  es el valor rms de la corriente total

$I_h$  es el valor efectivo de la corriente armónica h, en pu de la corriente fundamental



Empleamos el siguiente formato para calcular los componentes de la fórmula

h	1	3	5	7	9
$I_h$ en A rms	20.36	16.33	12.37	7.57	3.18
$I_h/I_1$ en pu	1	0.802	0.608	0.372	0.156
$(I_h/I_1)^2$	1	0.643	0.369	0.138	0.024
$h^2$	1	9	25	49	81
$(I_h/I_1)^2 h^2$	1	5.787	9.225	6.762	1.944

$$\sum (I_h/I_1)^2 h^2 = 1 + 5.787 + 9.225 + 6.762 + 1.944 = 24.718$$

$$(I_1 / I)^2 = (20.36/30)^2 = (0.6786)^2 = 0.4605$$

$$K = (I_1 / I)^2 \sum (I_h/I_1)^2 h^2 = 0.4605 \times 24.718 = 11.38$$

$$K = 11.38$$

Los transformadores con factor K disponibles comercialmente son:

$$K = 4$$

$$K = 9$$

$$K = 13$$

$$K = 20$$

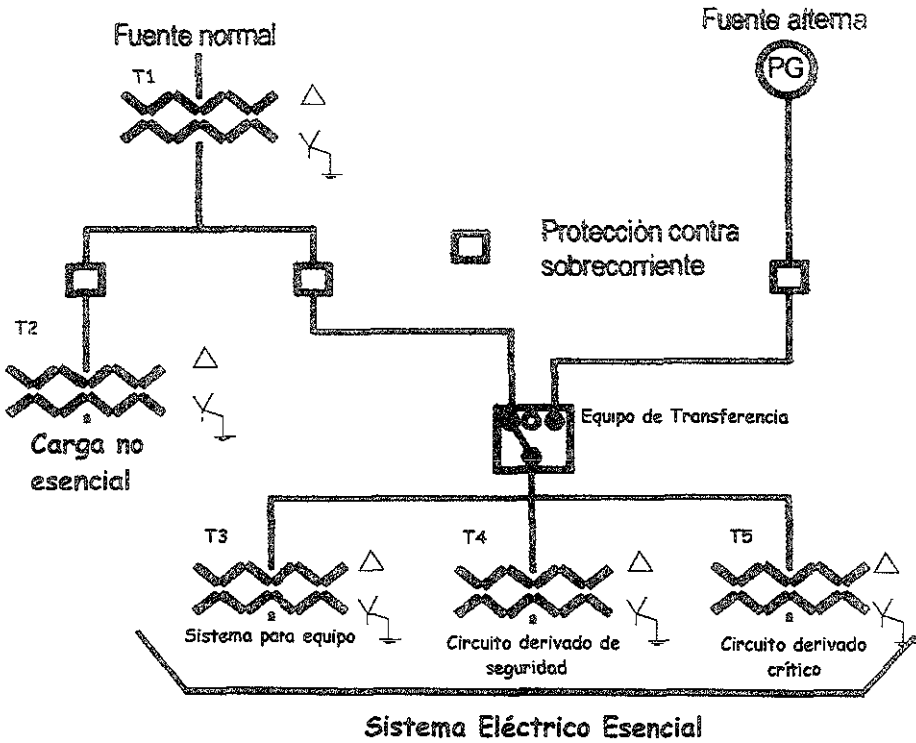
$$K = 30$$

$$K = 40$$

Para este caso se elige un transformador con factor  $K = 13$

### 3.10 Ejemplo de Corrección de Factor de Potencia.

Se tiene el siguiente sistema eléctrico de un hospital.



donde Transformador T1 9500kVA, 23 –13.8kV, Z=8%

T2 2500kVA 13800 – 440V Z=6%

T3 2500kVA 13800 – 440V Z=6%

T4 1500kVA 13800 – 440/220V Z=6%

T5 1500kVA 13800 – 440/220V Z=6%

En dicho sistema se quiere instalar un banco de capacitores paralelo al transformador T1, y se reportaron las siguientes mediciones:

	T2	T3	T4	T5
S (kVA)	1875	1898	1349	1438
P (kW)	1373	1389	985	1222

Para calcular la potencia reactiva, la corriente y el FP para cada transformador:

Para T2

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1875^2 - 1373^2} = 1277 \text{ kVAr}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{1875}{\sqrt{3} * 13.8} = 78.44 \text{ A}$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{1373}{1875} = 0.73$$

Para T3

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1898^2 - 1389^2} = 1293 \text{ kVAr}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{1898}{\sqrt{3} * 13.8} = 79.4 \text{ A}$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{1389}{1898} = 0.73$$

Para T4

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1349^2 - 985^2} = 922 \text{ kVAr}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{1349}{\sqrt{3} * 13.8} = 56.43 \text{ A}$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{985}{1349} = 0.73$$

Y para T5

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1438^2 - 1222^2} = 758 \text{ kVAr}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{1438}{\sqrt{3} * 13.8} = 60.16 \text{ A}$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{1222}{1438} = 0.85$$

Obtenemos la potencia real y aparente en el transformador T1 haciendo la sumatoria de los otros transformadores:

Para T1

$$S = 1875 + 1898 + 1349 + 1438 = 6560 \text{ kVA}$$

$$P = 1373 + 1389 + 985 + 1222 = 4969 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{6560^2 - 4969^2} = 4252 \text{ kVAr}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{6560}{\sqrt{3} * 13.8} = 274.45 \text{ A}$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{4969}{6560} = 0.76$$

El hospital debe de procurar mantener un factor de potencia tan aproximado a uno como le sea posible, pero en el caso de que su factor de potencia durante cualquier periodo de facturación tenga un promedio menor a 0.90 atrasado, la compañía suministradora tendrá derecho a cobrar recargos, según el artículo 64 de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica, en este caso el hospital cuenta

con un factor de potencia de 0.76 por lo que se le aplica un recargo calculado con la siguiente formula:

$$\%R = \frac{3}{5} \times \left[ \left( \frac{0.90}{FP} \right) - 1 \right] \times 100$$

$$\%R = \frac{3}{5} \times \left[ \left( \frac{0.90}{0.76} \right) - 1 \right] \times 100 = 11.05\%$$

Por lo que el hospital está obligado a pagar un recargo mensual de 11.05%. Se considera que los 4969kW es la demanda máxima, por lo que no se puede contratar el servicio con la tarifa de servicio ininterrumpible ya que mínimo se necesitan de 10000kW , por lo que se tiene contratada la TARIFA H-M Tarifa Horaria para servicio General en media tension, con demanda de 100 KW o más. La cual esta dada de la siguiente manera para el mes de febrero del 2001 :

Región	Cargo por kilowatt-hora de energía de punta	Cargo por kilowatt-hora de energía intermedia	Cargo por kilowatt-hora de energía de base
Baja California	\$ 1.4700	\$ 0.4068	\$ 0.3201
Baja California Sur	\$ 1.1796	\$ 0.5643	\$ 0.3997
Central	\$ 1.4086	\$ 0.4508	\$ 0.3764
Noreste	\$ 1.3016	\$ 0.4186	\$ 0.3427
Noroeste	\$ 1.2471	\$ 0.4468	\$ 0.3594
Norte	\$ 1.3111	\$ 0.4225	\$ 0.3438
Peninsular	\$ 1.4737	\$ 0.4723	\$ 0.3623
Sur	\$ 1.3796	\$ 0.4310	\$ 0.3580

En este caso se utilizara la tarifa central, los horarios considerados para tomar en cuenta cuando se factura energía de punta, intermedia y base son los siguientes:

**Regiones Central, Noreste, Norte y Sur**

**Del primer domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre**

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

**Del último domingo de octubre, al sábado anterior al primer domingo de abril**

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

El hospital trabaja en promedio al año tomando en cuenta el horario de verano de la siguiente manera:

	Horas a la semana	% demanda máxima
Energía punta	35	40
Energía intermedia	91	70
Energía de base	42	30

Tomando en cuenta que la demanda máxima es de 4969 kW, que el año tiene 52 semanas y el precio de cada nivel de energía calculamos lo siguiente

#### **Energía de punta:**

$$\text{KWH al año} = 52 \times 35 \times 4969 \times 0.40 = 3,617,432 \text{ KWH}$$

$$\text{Total anual energía de punta} = 3,617,432 \times \$ 1.4086 = \$ 5,095,514.70$$

$$\text{Total mensual energía de punta} = \$ 424,626.23$$

#### **Energía intermedia**

$$\text{KWH al año} = 52 \times 91 \times 4969 \times 0.70 = 16,459,316 \text{ KWH}$$

$$\text{Total anual energía intermedia} = 16,459,316 \times \$ 0.4508 = \$ 7,419,859.50$$

$$\text{Total mensual energía intermedia} = \$ 618,321.62$$

#### **Energía de base**

$$\text{KWH al año} = 52 \times 42 \times 4969 \times 0.30 = 3,255,688.80 \text{ KWH}$$

$$\text{Total anual energía de base} = 3,255,688.80 \times \$ 0.3764 = \$ 1,225,441.30$$

$$\text{Total mensual energía de base} = \$ 102,120.11$$

$$\text{Total mensual} = \$ 424,626 + \$ 618,321 + \$ 102,120 = \$ 1,145,067$$

$$\text{Total mensual con recargo} = \$ 1,145,067 + 0.1105(1,145,067) = \$ 1,271,596$$

Al año se está pagando \$1,518,358 solamente de recargo, por lo que es necesario definitivamente instalar el banco de capacitores, aunque el factor de potencia mínimo al que debe operar la instalación es de 0.90, se optará por

instalar un banco suficientemente grande para llegar a un factor de 0.95 con el cual inclusive tendremos una bonificación por parte de la compañía suministradora de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\%B = \frac{1}{4} \times \left[ 1 - \left( \frac{0.90}{FP} \right) \right] \times 100 = \frac{1}{4} \times \left[ 1 - \left( \frac{0.90}{0.95} \right) \right] \times 100 = 1.31\%$$

Y de acuerdo a los datos obtenidos se le bonificara al hospital \$180,000 al año, considerando aparte que ya no se le cobrará el recargo, por lo que el ahorro anual será de \$1,518,358 de lo que se pagaba de recargo mas la bonificación entonces procedemos a calcular la capacidad del banco de capacitores.

La potencia reactiva con el factor de potencia sin corregir es  $Q_1 = 4252 \text{ kVAr}$

La potencia, con el factor de potencia corregido se calcula como:

$$Q_2 = P \tan \theta$$

$$Q_2 = P \tan (\cos^{-1} fp_2)$$

$$Q_2 = 4969 \text{ kW} \tan (\cos^{-1} 0.95)$$

$$Q_2 = 1633.23 \text{ kVAr}$$

El valor del banco de capacitores es  $Q_t = Q_1 - Q_2$

Sustituyendo

$$Q_t = 4252 - 1633.23 = 2618.77 \text{ kVAr}$$

Entonces se necesita un banco que suministre al sistema por lo menos 2618.77 kVAr para que cumpla con las expectativas de ahorro que teníamos previstas.

Las recomendaciones para la potencia máxima de los capacitores conectados permanentemente en el secundario del transformador varían entre el 40 y 67% de la potencia en kVA del transformador, en nuestro caso el transformador T1 que es donde se pretende instalar el banco de capacitores en paralelo es de 9500 kVA por lo que el banco que es de 2618 kVAr cumple perfectamente con esta recomendación. De hecho existe una elevación de voltaje



por la presencia del banco, una expresión simplificada para determinar esta elevación es :

$$\%V = ( \text{kVAr} * Z_t ) / \text{kVA}$$

**%V = Cambio de Voltaje (%).**

**Z<sub>t</sub> = Impedancia del transformador (%)**

**kVA = Potencia del transformador (%)**

**kVAr = Tamaño del banco de capacitores (kVAr)**

Para nuestro caso es de :

$$\%V = ( \text{kVAr} * Z_t ) / \text{kVA} = ( 2618 * 8 ) / 9500 = 2.2\%$$

Tenemos que tomar en cuenta que el banco puede entrar en resonancia para determinada frecuencia y en muchos casos esta frecuencia puede ser alcanzada por alguna armónica por lo que se procede a calcular cual es la armónica resonante en este caso y lo hacemos mediante la siguiente expresión:

$$h_r = \sqrt{\frac{\text{kVA}_t \times 100}{\text{kVAR}_{\text{cap}} \times Z_t(\%)}}$$

donde:

h<sub>r</sub> es la armónica resonante

kVA<sub>t</sub> son los kVA del transformador

kVARcap es la capacidad en kVAr del banco de capacitores

Zt es la impedancia del transformador

Asi que sustituyendo

$$hr = \frac{kVA_t \times 100}{kVAR_{cap} \times Z_t(\%)} = \frac{9500 \times 100}{2618 \times 8(\%)} = 6.73$$

Por lo que se necesita poner un filtro de armónicas que principalmente elimine entre la quinta y la séptima armónica. Para este caso tenemos entonces dos opciones, una es colocar el filtro aparte del banco y la otra es colocar un banco de capacitores que incluyan una inductancia en serie.

Para el primer caso en que solo se conecta el banco, se puede obtener la capacitancia del banco dependiendo si se conecta en delta o en estrella.

Si se conectan en delta tendremos

$$I_L = \frac{Q_t}{\sqrt{3} \times V_t} = \frac{2618 \text{ kVAr}}{\sqrt{3} \times 13.8 \text{ KV}} = 109.52 \text{ Amps}$$

$$I_F = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{109.52 \text{ Amps}}{\sqrt{3}} = 63.23 \text{ Amps}$$

como esta conectado en delta  $I_F$  es igual a  $I_C$  y la reactancia de cada capacitor será:

$$X_c = \frac{V_t}{I_c} = \frac{13.8\text{kV}}{63.23\text{Amps}} = 218.25\text{Ohms}$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} = \frac{1}{2 \times \pi \times 60\text{Hz} \times 218.25\text{Ohms}}$$

$$C = 12.15\mu\text{Farads}$$

si el banco de capacitores se conecta en estrella tendremos que:

$$V_L = \sqrt{3} V_f$$

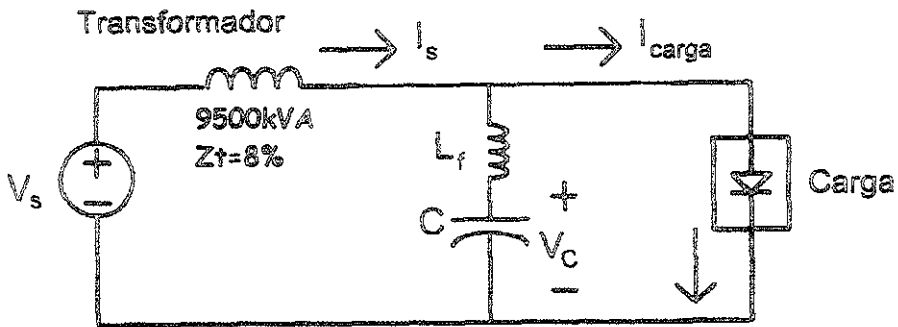
$$I_L = I_F$$

$$X_c = \frac{V_{L-N}}{I}$$

$$X_c = \frac{13800}{\sqrt{3} \times 109.52} = 72\text{Ohms}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} = \frac{1}{2 \times \pi \times 60\text{Hz} \times 72} = 36.8\mu\text{farads}$$

Si se conecta con la inductancia en serie para eliminar la armónica resonante se utiliza el siguiente circuito equivalente:



y se calcula  $X_C$  y  $X_L$  de acuerdo a lo siguiente:

$$X_C = \frac{V_C^2 \text{ nom}}{VA \text{ nom}}$$

$$X_L = \frac{V_C^2 \text{ nom}}{VA \text{ nom} \times h_s^2}$$

$V_C \text{ nom}$  es el voltaje nominal del capacitor , en este caso es de 17.5KVAr

$VA \text{ nom}$  es la capacidad del capacitor en VAR, para nuestro caso es 2618kVAR

$h_s$  es la armónica de sintonización, para nuestro caso es de 6.7

entonces sustituyendo los valores:

$$X_C = \frac{V_C^2 \text{ nom}}{VA \text{ nom}} = \frac{17500^2}{2618000} = 116.97 \text{ Ohms}$$

$$X_L = \frac{V_C^2 \text{ nom}}{VA \text{ nom} \times h_s^2} = \frac{17500^2}{2618000 \times 6.7^2} = 2.605 \text{ Ohms}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2 \times \pi \times 60 \text{ Hz} \times 116.97} = 22.67 \mu\text{farads}$$

$$L = 2\pi f X_L = 2 \times \pi \times 60 \text{ Hz} \times 2.605 = 982 \text{ H}$$

## **CAPÍTULO 4**

### **SISTEMAS DE EMERGENCIA**

#### **4.1 Introducción**

Se requieren sistemas de emergencia de potencia eléctrica en todas las instalaciones dedicadas al cuidado de la salud. Este capítulo describe los requerimientos y los equipos recomendados para los sistemas de emergencia en hospitales y su operación. También, se incluyen métodos para el diseño del sistema, instalación, pruebas y mantenimiento.

Los componentes principales de un sistema de emergencia son los grupos generador, los switches de transferencia automáticos, los controles del grupo motor - generador y las baterías de arranque con sus cargadores. Entre los equipos adicionales se pueden incluir los necesarios para sincronizar y poner en paralelo los equipos en instalaciones que tienen varias unidades generadoras, los controles para reducir la demanda pico de la compañía, los sistemas selectores de emergencia para los elevadores, y los interruptores de bypass/seccionamiento para los relevadores de transferencia automáticos y las UPS.

#### **4.2 Grupos Motor - Generador.**

Un grupo motor - generador con un suministro de combustible en el sitio es el tipo predominante como fuente de emergencia en hospitales y en las instalaciones al cuidado de la salud. Los grupos impulsados por turbinas de gas no han encontrado mucha utilización hasta el momento debido a que su tiempo de arranque generalmente excede los requerimientos de 10 s, sin embargo, los fabricantes de turbinas han reconocido este problema y están empezando a surgir equipos con tiempos de arranque mejorados. Las capacidades de los grupos tipo motor - generador van desde aproximadamente 5 kW (6.25 kVA) a los 1200 kW (1500 kVA). Las máquinas de gasolina son usadas en los rangos bajos mientras que las máquinas diesel son casi exclusivamente utilizadas en capacidades de 100 kW (125 kVA) o más. Excepciones a la norma permiten algunas veces el uso de suministro de combustible fuera de sitio para máquinas impulsadas con gas natural y gas LP, donde existe una baja probabilidad de que tanto el suministro eléctrico externo como la línea de gas fuera de sitio fallen simultáneamente. Los

grupos impulsados por gas están disponibles generalmente en tamaños similares a los impulsados por diesel.

#### **4.2.1 Ubicación.**

La mejor ubicación para un grupo motor - generador en "standby" es la planta baja de las instalaciones. Se debe considerar cuidadosamente la ubicación para minimizar las interrupciones causadas por las fuerzas naturales comunes en el área (por ejemplo, tormentas, inundaciones, sismos o riesgos creados por las estructuras o actividades adyacentes). Normalmente se procura ubicar las instalaciones en sótanos que están sujetos a inundaciones, también es más difícil llevar el aire de combustión, el aire de enfriamiento y los gases de escape lejos de estas unidades localizadas en los sótanos. Si los grupos motor - generador se instalan arriba de la planta baja, frecuentemente se requiere poner aislamiento adicional contra vibraciones entre el grupo y el piso, para prevenir daño estructural al edificio. Los grupos generadores de emergencia se pueden agregar a los edificios existentes en una pequeña caseta por separado. Los controles y los equipos de transferencia, generalmente se localizan en el edificio principal.

#### **4.2.2 Montaje.**

Las reglas básicas para instalar grupos motor - generador "standby" son:

1) No unir el grupo generador al piso de concreto. Porque romperá la estructura y transmitirá vibraciones al inmueble.

2) Tampoco se debe unir directamente ningún sistema rígido. Esto es, la tubería de descarga, el radiador de enfriamiento remoto a una máquina en aisladores contra vibraciones. El movimiento relativo fatigará y partirá eventualmente la unión.

#### **4.2.3 Aislamiento de Vibraciones.**

Una hoja de fibra de vidrio o cojinetes de montaje aislados entre la base del generador y el piso pueden proporcionar un aislamiento contra vibraciones adecuado donde no se requiere un aislamiento óptimo.

También se tienen disponibles aisladores de vibraciones tipo resorte. Estos se colocan también entre la base del grupo generador y el piso. Los aisladores contra vibraciones del tipo resorte tienen diferentes valores nominales de carga. Se seleccionan el número correcto de aisladores dimensionados apropiadamente para soportar todo el peso del grupo generador (incluyendo agua y aceite). Se ubican los aisladores de tal forma que no se sobrecargue ninguno de ellos. Los aisladores contra vibraciones del tipo resorte tienen una eficiencia típica de 95% o más. Esto significa que menos del 5% de las vibraciones del grupo generador será transmitida al piso.

Cuando se usan aisladores de vibraciones de tipo resorte, el grupo generador se balancea alrededor del eje de la flecha durante el arranque y el paro, existe también un poco de balanceo durante cambios de carga de 50% o más de la capacidad del generador. Se usan conexiones flexibles en todas las líneas externas conectadas al generador. Estas incluyen al conduit eléctrico, tuberías de descarga, y líneas de combustible como mínimo. También pueden incluirse las líneas del enfriador a un radiador remoto, aceite de lubricación y de drenaje y las conexiones del aire de entrada para el motor.

El conjunto de grupos motor - generador adicionales da un aislamiento extra. La masa del grupo generador se puede incrementar instalándole un bloque que pesa una o más veces el paquete del grupo generador. Con una masa mayor, la energía de la vibración tiene menos efecto. Los aisladores de resorte se instalan entonces entre el bloque de inercia y la estructura de soporte para reducir aun más la vibración transmitida. (Vea Figura 4.1).

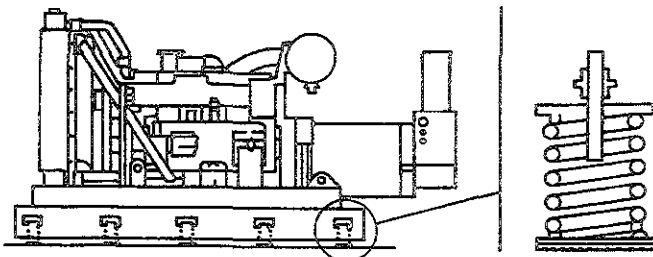


Figura 4.1 Aislantes de resorte.

Este arreglo se usa frecuentemente cuando los grupos se instalan en pisos arriba de la planta baja. Si el paquete del grupo generador se monta en un bloque de inercia soportado por la tierra, se puede aislar del piso del edificio instalando un sello ahulado entre las dos superficies (vea Figura 4.2).

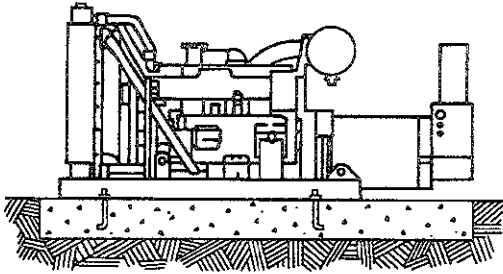


Figura 4.2 Planta aislada con sello ahulado

#### 4.2.4 Enfriamiento.

Casi todos los grupos generadores de standby de 50 kW o más usan máquinas enfriadas por líquido. Los requerimientos para el flujo en máquinas que funcionan por enfriamiento de aire se debe obtener del fabricante.

Las máquinas enfriadas por líquido traen instalado en el grupo generador, un radiador y un ventilador impulsado por la misma máquina. La selección del núcleo radiador, ventilador, cubiertas, guardas, relación del impulsor del ventilador, etc., se hace para proporcionar el enfriamiento adecuado de la máquina. Sin embargo, esta selección se basa en un flujo libre de aire frío (normalmente 50°C o menos) hacia el núcleo del radiador y un flujo libre de aire que se aleja del núcleo. La cantidad de aire requerido la da normalmente el fabricante.

El arreglo del cuarto de máquinas y la disponibilidad de los servicios en las instalaciones (esto es agua corriente) normalmente dicta donde usar un radiador o un intercambiador de calor para un sistema enfriado por líquido. Normalmente es preferible un radiador montado en el grupo generador. Independiente de la fuente de agua externa y donde, además, existe un suministro adecuado de aire para la



combustión y el enfriamiento del generador. Con un radiador montado en el grupo, no hay conexiones flexibles de enfriamiento, líneas largas o válvulas de desconexión que son todas ellas fuentes potenciales de problemas.

Los radiadores remotos proporcionan una opción para trasladar el ruido a localizaciones menos críticas. Los intercambiadores de calor no son fuentes de ruido ni requieren potencia de la máquina para un ventilador. Un equipo enfriado por un intercambiador de calor puede entregar entre 3 y 5% más potencia.

La combinación de un intercambiador de calor con un radiador remoto se debe evitar en donde sea posible. Este arreglo tiene todas las desventajas de cada sistema y su costo es casi 4 veces mayor. Como la capacidad del intercambiador de calor y del radiador depende de la diferencia de temperatura del medio de enfriamiento, implica que deberá existir una dimensión del doble.

Se pueden requerir tuberías para llevar el aire caliente del radiador al exterior. Los ductos deben ser lisos y, además, libres de obstrucciones, juntas, rebabas, fugas, o cambios de dirección súbitos. Si al final se agregan lumbreras o enrejados entonces se debe incrementar el área del frente de acuerdo al tamaño, mediante una transición suave a la parte de salida. Si son inevitables las curvas en el ducto, entonces se pueden requerir tuberías curvas para reducir la pérdida de presión.

Un sistema de enfriamiento con intercambiador de calor se usa donde hay disponible una fuente de agua fría. Estas fuentes de agua pueden ser de la ciudad, el mar, un río, un lago o de pozos. En un sistema con intercambiador de calor el flujo de agua de enfriamiento, circula en un lazo cerrado de la máquina al intercambiador de calor y de regreso a la máquina. El agua cruda fluye en un circuito separado dentro del intercambiador y remueve el calor del agua de enfriamiento de la máquina. Si el suministro de agua de la ciudad se evalúa como una fuente de enfriamiento para el intercambiador de calor, se debe considerar la posibilidad de una interrupción de ella durante una emergencia prolongada en la ciudad. En instalaciones al cuidado de la salud, no se recomienda esta opción mientras exista otro método conveniente.

Si el agua que sale del intercambiador de calor se vierte en el sistema de drenaje, no debe violar las leyes locales de conservación o de recursos naturales,

o sobrecargar el sistema. Algunos intercambiadores de calor pueden requerir una válvula reductora, para limitar la presión suministrada por el sistema de agua de la ciudad a un valor aceptable para el intercambiador.

Los radiadores remotos caen en dos categorías:

- 1) Radiador horizontal remoto de la máquina
- 2) Radiador vertical remoto (arriba) de la máquina

La principal preocupación cuando se tiene un radiador horizontalmente remoto es que la resistencia al flujo de la tubería de agua no exceda la capacidad de la máquina impulsora de la bomba. El fabricante generalmente sugiere la presión permisible en la bomba y la máxima cabeza de fricción externa. La tubería exterior debe estar libre de obstrucciones, dobleces excesivos, codos, coples, etc. Debe estar limpio y libre de óxido, escamas, escoria de soldadura o material corrosivo. No debe colapsarse mientras se esta instalando o cuando está en servicio. El diámetro interno de la tubería debe ser más grande que el diámetro de entrada de la bomba de agua. El circuito externo se debe acoplar a la máquina vía una conexión flexible que permita el movimiento sin restricción y la expansión térmica de la línea.

Se deben proporcionar válvulas y acoplamientos entre la maquina y el sistema de enfriamiento remoto. Cerrando las válvulas se le puede dar servicio a la máquina sin tirar el agua de todo el sistema de enfriamiento. Debe evitarse cerrar las válvulas accidentalmente. Si esto ocurre, el grupo generador quedará completamente inhabilitado.

Muchos sistemas de enfriamiento tienen problemas de acoplamiento con una bomba "booster" auxiliar. Consulte al fabricante de la máquina antes de especificar una de ellas. Es una buena practica en las instalaciones al cuidado de la salud evitar cuando sea posible, diseños que dependan de sistemas de potencia auxiliares energizados por el sistema que ellos soportan o por otros sistemas de potencia externos sujetos al mismo disturbio.

Existen instalaciones donde el radiador está por abajo del nivel de la máquina, éstas son raras y sus radiadores pueden causar problemas. El problema principal es usualmente un bloqueo de aire que previene la circulación del agua. El

primer requisito en tales instalaciones es la localización apropiada de ventilas en áreas del sistema de enfriamiento donde probablemente se formen bolsas de aire.

Las instalaciones donde el radiador está por arriba del nivel de la máquina son muy comunes. La altura máxima del radiador por encima de la máquina está limitada por la presión estática que se puede imponer a los sellos y empaques del sistema de enfriamiento sin que haya fugas. El fabricante de la máquina debe ser consultado cuando no se tiene disponible una cabeza de fricción limitadora de presión. La cabeza de fricción debe estar dentro de los límites de fabricante de la máquina. Se requiere acoplamientos flexibles para la conexión con el sistema de enfriamiento remoto.

Si es necesario poner el radiador más arriba, se debe separar la máquina del circuito del radiador. Ambos circuitos abastecen desde un recipiente común llamado "tanque caliente", "pozo caliente" o sistema de "enfriamiento compuesto". Con el sistema de pozo caliente básico, la máquina bombea refrigerante hacia y desde el tanque. El pozo actúa como un tanque mezclador de expansión y mantiene el refrigerante en el radiador y la línea cuando la bomba de enfriamiento auxiliar es desconectada. Cuando se usan radiadores verticales puede ser benéfico colocar refrigerante en el fondo del radiador. Esto mantiene el radiador lleno durante la operación. El tanque debe ser ventilado a la atmósfera para acomodar los cambios grandes de volumen del refrigerante en el tanque. Se recomienda una mirilla de vidrio en el tanque caliente con marcas para los niveles en "servicio" y "parado". Marcas Alta y Baja de ambos niveles son útiles. Es una buena práctica diseñar sistemas de enfriamiento que permitan una reducción del 10% de la capacidad de enfriamiento atribuible al deterioro durante la vida de operación.

#### **4.2.5 Temperatura.**

Se deben tomar medidas para mantener el cuarto de generadores a una temperatura no menor a 10°C de tal forma que la temperatura de la cubierta del agua de la máquina no esté a menos de 21.1 °C.

El uso de calentadores eléctricos de refrigerante es el método más común de mantener el líquido de la máquina arriba de 21.1°C. Para asegurar arranques rápidos y una buena aceptación de la carga, un fabricante de máquinas

recomienda que el refrigerante del grupo generador se mantenga a una temperatura mínima de 49°C. Los calentadores de agua tipo cubierta, controlados por termostato, proporcionan la circulación del refrigerante que calienta toda la máquina. Estos calentadores se deben apagar cuando la máquina esta rodando.

Los calentadores de inmersión de aceite eléctricos se pueden usar para mantener el aceite de lubricación a una temperatura ideal. Los calentadores de aceite son gobernados frecuentemente por el mismo termostato que controla la temperatura de la cubierta de agua.

#### **4.2.6 Arranque.**

Los sistemas de batería y de aire comprimido se utilizan para el arranque de los grupos motor - generador. La selección de un sistema de arranque depende del tipo de máquina, de la fuente que esté más fácilmente disponible y la preferencia del usuario. Cada sistema tiene ciertas ventajas en determinadas condiciones.

El arranque eléctrico es el método más común y se ofrece en forma compacta, económica y confiable. La parte de encendido en la máquina del sistema consiste del motor de arranque, las baterías y, algún medio para conectar y desconectar el motor de arranque de las baterías. En grupos motor generador de standby, las baterías se mantienen en proceso de carga y recarga, alimentado desde el sistema eléctrico esencial.

Muchos arrancadores son del tipo "embrague positivo". En este tipo de motor de arranque, el piñón del arrancador debe quedar acoplado plenamente al engrane anillo de la máquina antes de que comience a girar. El sistema trabaja bastante bien durante el 98% de las veces. Sin embargo, en el dos por ciento restante el piñón se apoya directamente con un diente del engrane del anillo y el motor no da vueltas. Para eliminar este problema, se prefiere el "giro cíclico", aquí a un periodo de vueltas le sigue un periodo de reposición. A esto le siguen periodos subsecuentes de vueltas y de reposiciones. El piñón del arrancador es girado lentamente al inicio de cada periodo de descanso y la probabilidad de que sucesivamente choquen los dientes tiende a cero. El tiempo de los ciclos de vueltas y descansos se combina generalmente en el panel de giro automático. Éste debe incluir los medios para terminar el giro cuando la máquina arranca y un

sistema para deshabilitar los controles de paro de seguridad de la máquina (que sean diferentes a los de sobrevelocidad y sobregiro) durante el arranque.

La norma requiere que las baterías de arranque de los grupos motor generador tengan capacidad suficiente para proporcionar 60 segundos de giro continuo. El fabricante de la máquina define normalmente la capacidad requerida de la batería para que este requerimiento quede cubierto. La definición estará generalmente en términos de Amperes de arranque en frío (CCA: Cold Cranking Amperes) como se define en el estándar. Esta demanda es esencialmente aplicable a baterías de plomo - ácido (y sus variantes) solamente. Las baterías de Níquel - Cadmio son muy utilizadas para el giro de las máquinas. El estándar se puede utilizar para especificar el comportamiento de las baterías de plomo - ácido o de Níquel - Cadmio.

Cuando se dispone de una buena fuente de aire comprimido, se puede tener un método económico para arrancar el grupo motor - generador. Se usan dos tipos de arranque por aire comprimido:

1) **Motor de Aire.** Un motor de aire impulsa un engrane del piñón de arranque en una forma similar al encendido con motor eléctrico. Generalmente se usa en máquinas de 1200 y 1800 r.p.m.

2) **Inyección directa de aire.** Se inyecta aire comprimido dentro de los cilindros en forma individual mediante un sistema distribuidor de aire. Este sistema se encuentra generalmente en máquinas grandes que operan a velocidades de 900 r.p.m. o menos. Tiene la ventaja de que el par pleno en la máquina se produce durante el giro. Esto produce una aceleración plena.

Para prevenir problemas, los sistemas de arranque con aire requieren de un tanque suficientemente grande y una fuente auxiliar de aire comprimido. Un tanque de aire con capacidad suficiente para proporcionar cinco intentos de giro de 10 segundos cada uno, por lo que tomará un espacio de tiempo considerable, esta característica negativa puede ser un factor importante para determinar el método de arranque que se va a usar. Compresores de aire impulsados por motor eléctrico son el medio más conveniente para recargar los tanques de aire. Sin embargo, durante una falla en el suministro eléctrico de la compañía, se pierde la disponibilidad de estos compresores. Un compresor de aire impulsado por una

máquina de gasolina es una solución a este problema, y se recomienda para cuartos de máquinas con arranque por aire en las instalaciones al cuidado de la salud.

Cuando la instalación carece de una fuente confiable de aire comprimido disponible, el método de arranque con motor eléctrico es más práctico y económico.

#### **4.2.7 Gobernador.**

El gobernador regula la velocidad del grupo generador de standby, la cual es directamente proporcional a la frecuencia. Aunque se usa una reducción mecánica para acoplar turbinas de gas con los generadores de CA, no ha sido aceptado ampliamente en máquinas de combustión interna. Cuando una máquina se acopla directamente a un generador de CA, la máquina debe girar a 3,600, 1800, 1200 r.p.m. u otras velocidades de sincronismo menores para producir 60 Hz. El gobernador regula la cantidad de combustible entregada a la máquina para mantener la velocidad o la frecuencia relativamente constante.

El gobernador tradicional de tipo hidráulico y mecánico, utiliza contrapesos para sensar la velocidad y un resorte regulador de velocidad como referencia. Los gobernadores de contrapeso más modernos usan una presión hidráulica para girar una flecha que se conecta a la válvula de estrangulación de la máquina o cremallera. Muchos generadores hidráulicos pueden operar a intervalos regulares isocronamente, esto es, trabaja a la misma velocidad sin carga que a plena carga y mantiene la velocidad o frecuencia de estabilidad en estado estable dentro de 0.25% de su valor nominal.

Todos los gobernadores eléctricos y electro - hidráulicos disponibles sensan la velocidad a partir de pulsos generados por un pick - up magnético adyacente a un engrane de la máquina, usualmente el anillo del volante. Los gobernadores eléctricos proporcionan las mismas características que los gobernadores hidráulicos pero tienen la ventaja de tener un tiempo de respuesta más rápido. Los gobernadores eléctricos también están disponibles con muchos accesorios que pueden ser de utilidad en aplicaciones específicas. Estas incluyen:

- 1) Sensado de demanda eléctrica para corte de carga isocronamente entre los grupos generadores que operan en paralelo.

2) Sensado de demanda eléctrica para "anticipación de la carga" de tal forma que se reduzca aún más el tiempo de respuesta.

3) "Aceleración por rampa" de manera que se proporcione una tasa de aceleración controlada y se reduzca el exceso de la frecuencia durante el arranque.

4) Ajuste de velocidad en forma electrónica en la máquina para poder sincronizar los generadores.

5) Monitores de potencia que proporcionan una señal en caso de que la potencia fluya hacia el generador, cuando se rebasa un valor preestablecido o en ambas situaciones.

Una reducción en el tiempo de respuesta de la frecuencia de grupos motor generador individuales con la opción de "anticipación a la carga" es observable en una gráfica de frecuencia registrable. Sin embargo, un decremento en el tiempo de respuesta de unas pocas décimas de segundo no es fácilmente discernible en una instalación al cuidado de la salud. La "anticipación a la carga", en grupos generadores con una sola unidad, dobla en esencia el costo del gobernador y es diez veces más difícil conectarlo correctamente. Los gobernadores con sensores de carga en aplicaciones con máquinas de una sola unidad, son raros.

El alumbrado, los motores, y la mayoría de los equipos de potencia operarán satisfactoriamente si la frecuencia permanece entre 60 y 62 Hz. Puede existir una variación máxima del 3 %. Los valores que regularmente se dan son 61.8 Hz en vacío y 60 Hz a plena carga. Para que muchas computadoras operen satisfactoriamente, la frecuencia debe ser entre 60 60.5 Hz. Si alguna de estas computadoras va a ser operada directamente (no a través de una UPS) desde un grupo motor - generador, se requiere un gobernador isocrono.

#### **4.2.8 Valores Nominales.**

Las máquinas de combustión interna tienen valores nominales en HP o en kW, o ambos, para la potencia de salida a una velocidad, temperatura de aire de entrada y presión barométrica o altitud, dados. Aunque las turbinas de gas usan reductores de velocidad para producir la velocidad del generador, los reductores no han sido plenamente aceptados en los grupos con motor de gasolina o diesel. La mayoría de las máquinas de combustión interna, por lo tanto, operan a

velocidades de 3600, 1800, 1200, 900, etc., r.p.m. para producir 60 Hz. A medida que la velocidad disminuye, la masa y el costo se incrementa en una relación generalmente lineal.

Las máquinas tienen valores nominales de salida en HP o en kW. El valor nominal de la máquina en kW no se debe confundir con el del generador. Algo de la potencia de la máquina se requiere para impulsar el ventilador de enfriamiento del radiador mientras que la pérdida más grande está dentro del propio generador.

Las máquinas de gasolina y diesel no turbocargadas tienen un límite inherente en la potencia que pueden producir a una velocidad dada. El límite es esencialmente establecido por la cantidad que se puede llevar al cilindro para combustión. Si se usa combustible en exceso, la combustión es incompleta y el exceso de combustible se va al escape como carbón (humo u hollín), monóxido de carbono, e hidrocarburos sin quemar.

Esta limitación no aplica a máquinas turbocargadas. A medida que la carga se incrementa, el turbo - cargador fuerza más aire dentro de cada cilindro, que ahora puede quemar combustible adicional para producir potencia extra y aire adicional en los cilindros. Si el combustible o el aire no se limita por algún medio, esto se puede convertir en una situación auto sostenida hasta que los esfuerzos exceden el punto de quiebre o algo se funde. Cualquier máquina turbo cargada puede ser alimentada para producir 10% de potencia adicional, pero la vida útil de la máquina probablemente se verá reducida. Los valores nominales publicados por el fabricante de la máquina, son normalmente los valores máximos que el fabricante cree que, de su experiencia y pruebas, dará un servicio satisfactorio. Los valores de standby son frecuentemente publicados sin capacidad de sobrecarga aunque se puede demostrar generalmente una capacidad adicional.

#### **4.2.9 Dimensión del Alternador.**

El alternador debe dimensionarse sobre la base de dos tipos de operación. Estos son con la carga máxima continua que el generador puede llevar y la carga del motor que el alternador requiere para arrancar.

Primero consideremos la carga máxima conectada. Esta carga incluye el alumbrado, la calefacción, y las cargas y por motores que se requieren que el generador soporte en un momento dado.



Ahora se considera la carga total para el motor del generador que se requiere para arrancar. Es virtualmente imposible que todos los motores arranquen en forma simultánea, sin embargo, como no hay nada que evite que esto suceda, se considera que esto sea la condición para el peor caso. Como la mayoría de los arrancadores de motor hacen caer el voltaje a un valor cercano a un 60%, debemos limitar la caída de voltaje en un arranque del motor a 35%.

La capacidad del motor de arranque de los alternadores variará dependiendo del alternador, del tipo de excitador, del regulador de voltaje y de los accesorios que traiga el regulador. La mayoría de los alternadores de hoy día, tienen un motor de arranque con una capacidad de 0.5 HP/kW con una caída de voltaje de 35%.

Como la demanda de potencia eléctrica está incrementándose continuamente con nuevos aparatos y alumbrado que se agregan de vez en cuando, se debe considerar una pequeña capacidad extra para acomodar futuros requerimientos. Una práctica general usada en la industria es que la carga no sea mayor de 80% de la capacidad nominal del alternador en una instalación nueva.

En la práctica los pasos que se deben seguir son los siguientes:

1-Calcular la carga total instalada. Esto incluye la iluminación, los motores, los calentadores, etc. Todo se calcula en kW, para dimensionar los motores se usa la siguiente fórmula:

$$kW = (I * V_{ff} * f_p * \sqrt{3}) / 1000$$

donde:

- I es la corriente de operación del motor, la cual se indica en la NOM-01 tomando en cuenta la potencia del motor en HP (artículo 430)
- $V_{ff}$  es el voltaje de operación del motor (voltaje entre fases)
- $f_p$  es el factor de potencia

2-Se calcula la carga de los motores, tomando en cuenta el peor de los casos, o sea, cuando todos los motores encienden al mismo tiempo, para hacer esto se suman las potencias de todos los motores en HP

3- La sumatoria de potencias en HP se multiplica por la capacidad de arranque del alternador, dándonos una cantidad de potencia en kW

4- Se precisa cual de las cargas es más grande, si la carga total instalada o la carga de los motores, tomando en cuenta la carga más grande se multiplica por 1.25 y la cantidad hallada será la capacidad mínima del alternador, así que se buscará el valor comercial más cercano hacia arriba.

#### 4.2.10 Regulador de Voltaje.

Hay cuatro tipos básicos de sistemas disponibles para regular el voltaje actualmente. Estos son:

- 1) El regulador - excitador estático que no solo regula el voltaje del alternador sino que también suministra potencia al campo del alternador.
- 2) El regulador de voltaje automático autoexcitado y sin escobillas.
- 3) El regulador de voltaje automático excitado por separado y sin escobillas
- 4) El sistema autorregulado autoexcitado que no utiliza un regulador de voltaje por separado.

Los primeros tres sistemas proporcionan una regulación de voltaje típica de 0.25 a 2% y el cuarto proporciona una regulación típica de 4%. Todos los sistemas pueden ser adecuados para instalaciones al cuidado de la salud siempre que las cargas conectadas puedan soportar las variaciones de voltaje.

*a) Regulador - excitador estático.* El regulador - excitador estático es un dispositivo de estado sólido que se alimenta del voltaje de salida principal del estator para tanto su referencia de entrada, como para su potencia de entrada. La potencia de entrada se rectifica para tener corriente directa y esta es la entrada controlada que se inyecta, a través de escobillas y anillos deslizantes, al campo principal del alternador. Este sistema tiene una respuesta rápida a los cambios de carga y tiene una capacidad de arranque de motores de medio HP por kW con una caída de voltaje del 35%.

El regulador - excitador estático no se autoexcita y requiere de una fuente externa de CD para excitar el campo y construir el

voltaje inicial del alternador. Esto se lleva a cabo normalmente por un circuito de CD conectado a las baterías de arranque de la maquina que se desconecta automáticamente cuando el voltaje de CA se forma.

*b) Regulador de voltaje automático autoexcitado y sin escobillas.* El regulador de voltaje automático autoexcitado y sin escobillas toma su alimentación de los devanados del estator principal tanto para su referencia de entrada como para su potencia de entrada, la potencia de entrada se controla con el voltaje de referencia y la porción de control del regulador. Se rectifica a CD y viene a ser para el excitador del estator. Este regulador es autoexcitado del voltaje residual del alternador. En forma típica, los contactos normalmente cerrados de un relevador o de un relevador de estado sólido se usan para aplicar el voltaje residual del alternador a un puente de onda completa y al campo excitador. A medida que el voltaje de CA crece, el relevador opera desconectando el circuito formador.

*c) El regulador de voltaje automático excitado por separado y sin escobillas.* El regulador de voltaje automático excitado por separado y sin escobillas recibe su potencia de entrada de una fuente por separado pero su voltaje de referencia lo recibe de los devanados del alternador. La potencia de entrada generalmente se proporciona desde un generador de imanes permanentes montado en la misma flecha que el excitador y el rotor principal.

El generador de imanes permanentes proporciona una fuente de potencia casi constante bajo todas las condiciones de operación y no es afectada por la carga externa. La excitación es más grande que los requerimientos de plena carga del alternador y es generalmente lo suficientemente alta para soportar una corriente de corto circuito de 3 veces la corriente nominal.

Siempre que un regulador - excitador estático, el regulador de voltaje autoexcitado, y algunos reguladores excitados por separado sensan un voltaje de salida menor que el normal y "encienden" para incrementar la excitación del campo excitador para llevar el voltaje

de salida de regreso al normal, algunos reguladores de voltaje excitados por separado trabajan en reversa. Como el generador de imanes permanentes siempre proporciona más excitación que la requerida para un voltaje de salida normal, el regulador de voltaje debe actuar para suprimir la excitación, por lo tanto, cuando se sensa un voltaje de salida por abajo del normal, el regulador del voltaje "se apaga" para incrementar la excitación del campo excitador y regresar el voltaje de salida a su valor normal.

Este sistema tiene una respuesta rápida a los cambios de carga y tiene la habilidad para arranque de motor de 3/4 HP/kW con un 35% de caída de voltaje.

d) *El sistema autorregulado autoexcitado.* El sistema autorregulado autoexcitado no usa un regulador de voltaje por separado. Hay varios métodos para hacer esto, pero en casi todos los sistemas la formación del voltaje ocurre a partir de un voltaje residual o de un voltaje residual mas la adición de magnetos permanentes en el circuito de campo. La excitación requerida para el voltaje en vacío se suministra con una porción del voltaje del devanado del estator principal. El voltaje de salida se mantiene bajo carga usando la corriente de carga para proporcionar excitación al excitador. La mayoría de los campos excitadores utilizan CD; sin embargo, un fabricante utiliza corriente alterna en el campo excitador.

Como estos sistemas utilizan la corriente de carga para la potencia del excitador, ellos responden mucho a los cambios de carga y tienen una habilidad de arranque de motores de 1 HP/kW con una caída de voltaje del 35%.

#### 4.2.11 Operación en Paralelo.

Para operar 2 o más generadores en paralelo, se deben hacer provisiones para que los generadores compartan la corriente de carga reactiva en forma proporcional y prevenir las corrientes circulantes. El gobernador de la máquina controla una repartición proporcional de la corriente de carga de los kW reales. Los reguladores - excitadores estáticos, los reguladores autoexcitados y los

reguladores excitados por separado, todos son capaces de operación en paralelo cuando están equipados para ello.

Hay dos métodos de controlar o compartir la corriente de carga reactiva cuando se conectan en paralelo los generadores: (1) el método de caída de voltaje y (2) el método de compensación de corriente cruzada.

1) **Método de caída de voltaje.** El módulo en paralelo para el método de caída de voltaje consiste de un transformador de corriente secundario instalado en la fase 2 del generador cuando el sensado del regulador va de la línea 1 a la línea 3. Si se usa un sensado trifásico, se requiere instalar un segundo TC en la fase 1. La Figura 4.3 muestra un arreglo de sensado monofásico.

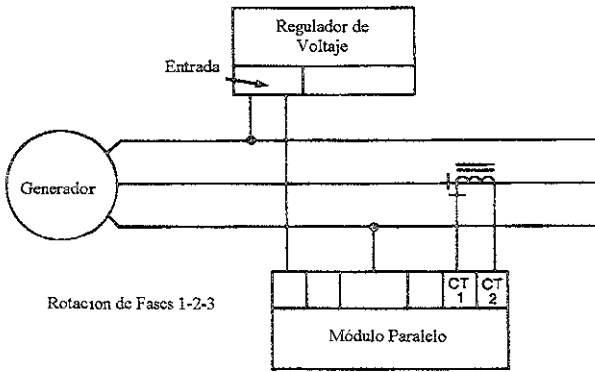


Figura 4.3 Interconexión de sensado monofásico

El TC desarrolla una señal de voltaje entre las terminales de una resistencia ajustable conectado a las terminales secundarias del TC que es proporcional en amplitud y fase a la corriente de línea del generador. Este voltaje se conecta en serie con el voltaje aplicado al circuito sensor del regulador de voltaje. El resultado es que el voltaje aplicado al circuito sensor del regulador de voltaje, es el vector suma del voltaje CA del generador y el voltaje desarrollado por el módulo que se está poniendo en paralelo. El voltaje suministrado por el módulo en paralelo es pequeño en comparación al voltaje del generador.

Cuando una carga resistiva (factor de potencia unitario) se aplica al generador, el voltaje entre las terminales del resistor en paralelo adelanta al voltaje sentido por  $90^\circ$ . El vector suma de los dos voltajes es casi el mismo que el voltaje de sentido original y no ocurre ningún cambio en el voltaje de salida del generador.

Cuando se aplica al generador una carga de factor de potencia atrasado (inductiva), el voltaje de la resistencia en paralelo queda mas en fase con el voltaje sensor y el vector suma de los dos voltajes resultan en un voltaje más grande que es aplicado al circuito sensor. Como la acción del regulador es mantener un voltaje constante, como en las terminales sensadas, el regulador reacciona decrementando el voltaje del generador.

Cuando se aplica al generador una carga con factor de potencia adelantado (capacitiva) el vector suma resulta en un voltaje más pequeño en las terminales de sentido del regulador y éste reacciona para incrementar el voltaje de salida del generador.

Con dos generadores operando en paralelo, si la excitación en el campo de un generador, se hace excesiva y causa el flujo de corrientes circulantes entre los generadores, la corriente aparece como una carga con factor de potencia atrasado (inductiva) para el generador con corriente de campo excesiva y una carga con factor de potencia adelantado (capacitiva) al otro. El circuito de compensación paralelo hará que el regulador de voltaje disminuya la excitación del campo en el generador con la carga de factor de potencia atrasado en tal forma que minimice las corrientes circulantes entre los generadores.

Esta acción y sus circuitos reciben el nombre de compensación en paralelo o de caída de voltaje. Permite que dos o más generadores en paralelo compartan proporcionalmente las cargas inductivas causando un decrecimiento o caída en el voltaje del sistema del generador.

**2) Método de compensación por corriente cruzada.** Los módulos en paralelo descritos para el método de caída de voltaje proporcionan el aislamiento de circuitos necesario para el método por compensación de corriente cruzada. Este método permite que dos o más generadores en paralelo compartan las

cargas reactivas inductivas sin decrecimiento o caída en el voltaje de salida del sistema generador (vea Figura 4.4).

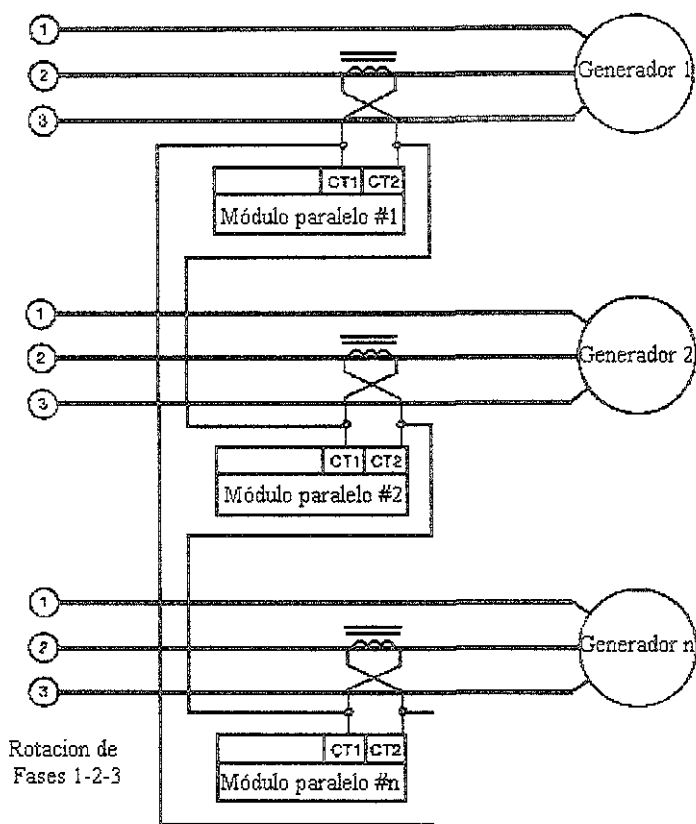


Figura 4.4 Conexión del método por corriente cruzada

**Nota:** Cuando 3 o más generadores se conectan en paralelo la conexión continua como se muestra en la figura, la terminal CT1 del módulo paralelo #1 se conecta a la terminal CT2 del módulo paralelo del último generador conectado.

Esto se lleva a cabo por la acción y los circuitos descritos en el método de caída de voltaje y la adición de cables conectados en forma cruzada entre los secundarios de los TC. La salida del primer TC se conecta a la entrada del

segundo TC, la salida del segundo TC se conecta a la entrada del tercer TC, etc., hasta que todos los TC's quedan conectados en serie.

El paso final es conectar la salida del último TC a la entrada del primero. Esto forma un lazo en serie que interconecta los TC's de todos los generadores que se van a conectar en paralelo. Las señales de los TC's interconectados se cancelan entre ellos cuando las corrientes de línea son proporcionales y en fase (no corrientes circulantes) y no ocurre caída en el voltaje del sistema.

La compensación por corriente cruzada se puede usar solamente si los reguladores son idénticos y si los reguladores en todos los generadores que están operando en un bus común están interconectados dentro de un lazo de corriente cruzada. Los generadores de diferentes valores nominales en kW se pueden operar con compensación de corriente cruzada si los TC's se seleccionan para que den aproximadamente la misma corriente secundaria para la carga nominal de cada generador.

La compensación por caída de voltaje no requiere la interconexión mencionada antes entre los reguladores de generadores que no tienen salida de TC semejantes para generadores de diferente tamaño. Por esta razón, y por la simplicidad del método de caída de voltaje, es el método más popular para conectar en paralelo varios generadores.

Algunos generadores autoexcitados - autorregulados son capaces de operar en paralelo. La anteriormente mencionada unidad autoexcitada autorregulada que usa un voltaje de CA en el campo excitador se puede conectar en paralelo con unidades semejantes y compartir carga reactiva. Además de los requerimientos normales para conectar en paralelo (mismo voltaje, misma frecuencia, misma rotación de fases), las unidades deben de tener caídas de voltaje con carga reactiva y sus voltajes de salida deben de estar dentro del 2%.

Si el voltaje en una de las unidades en paralelo es mas alto que en la otra, tratará de tomar la carga reactiva. La carga reactiva más alta hará caer el voltaje del generador bajando el voltaje y balanceando la carga reactiva entre ambos generadores.



#### 4.2.12 Excitadores

Hay dos excitadores básicos actualmente en uso, el excitador estático y el excitador rotatorio sin escobillas.

- 1) **Excitador estático.** Este es un dispositivo de estado sólido que deriva su entrada del voltaje de salida del estator principal. La entrada de CA es rectificadora a CD controlada por el regulador de voltaje y suministrada a través de escobillas y anillos deslizando al campo principal del alternador. El excitador estático debe suministrar toda la potencia al campo principal la potencia típica requerida por el campo principal en un generador de 200 kW es 3 kW.
- 2) **Excitador rotatorio sin escobillas.** Este es en realidad un generador trifásico con una armadura que rota en la misma flecha junto con el rotor del generador principal. El regulador de voltaje suministra la corriente y el voltaje de excitación al campo estacionario. La salida trifásica de la armadura giratoria es rectificadora por un puente rotatorio trifásico y el voltaje de CD se suministra al campo del generador principal. La entrada de potencia al excitador sin escobillas para un generador de 200 kW es de 0.3 kW.

#### 4.2.13 Toma de la Carga.

El requerimiento más severo para el generador en términos de caída de voltaje es el arranque de motores. la caída de voltaje no debe exceder del 35% para prevenir que los arrancadores de los motores se suelten (dropping out). Se debe hacer un estudio para determinar que otras cargas conectadas operarán en forma satisfactoria cuando ocurra esta caída de voltaje. La potencia requerida en la máquina durante el arranque de motores es relativamente pequeña ya que el factor de potencia es bajo, en el rango de 0 a 0.4.

El arranque a plena carga a potencia nominal y 0.8 de factor de potencia causará una caída de voltaje en el área de 15 a 20%. Sin embargo, este es un requerimiento más severo para la máquina. Como la carga real en kW no causa una caída de voltaje grande, la máquina debe tomar plena carga. Esto no es generalmente un problema para grupos motor - generador de aspiración natural

pero en grupos más grandes con cargadores, la conexión súbita de carga puede hacer que la máquina se sienta antes que el turbo - cargador la pueda acelerar.

Para prevenir que esto suceda, las cargas puedan ser conectas en secuencia, las primeras cargas que se conectan son las del sistema de emergencia. Estas cargas deben de estar en línea en 10 segundos. Después de un retraso, los switches de transferencia de los equipos que alimentan las cargas de motores conectan dicha carga en forma secuencia! al generador.

#### **4.2.14.Pruebas de operación**

La operación en vacío de máquinas diesel resulta eventualmente en la formación de carbón dentro de la máquina. Para evitar esta condición así como para verificar todo el sistema de potencia de emergencia, éste debe ser Probado con la carga de la instalación. De acuerdo a la norma, "Los grupos generador que alimentan sistemas y equipos de emergencia deben ser inspeccionados semanalmente, y se deben ejercitar bajo carga y condiciones de temperatura de operación cuando menos por 30 minutos en intervalos de no más de 30 días. El periodo de ejercicio de 30 minutos es un mínimo absoluto o se deben seguir las recomendaciones del fabricante de cada máquina."

### **4.3 Controles del Grupo Motor - Generador**

#### **4.3.1 General.**

El panel de control del grupo motor generador contiene los dispositivos que monitorean y controlan el estado y la operación del sistema operador de la máquina. Generalmente se requiere una interfaz entre las componentes de control de la máquina y el switch de transferencia, el panel de control debe de estar localizado cerca del grupo motor generador. El ensamble y los conductores deben estar protegidos de los efectos de la vibración.

El grupo debe estar equipado con ciertos dispositivos visuales de prealarma y alarma, un disparo de seguridad automático, y un dispositivo de alarma audible para indicar activación. Además requiere anunciador remoto para indicar condiciones de alarma fuera de la sala de maquinas en una estación de trabajo regular (no definida). Donde la estación de trabajo regular está sin atención en forma periódica una señal perturbadora audible y visual debe ser proporcionada

en una localidad que esté continuamente monitoreada (24 horas al día). En general el cuadro de alarmas se localiza en la planta de calderas, estación contra incendio, conmutador telefónico o la estación de enfermeras.

#### **4.3.2 Controles de Seguridad.**

Generalmente se prefiere disparar un grupo generador de emergencia mas que continuar con la operación de la unidad y posteriormente destruirla en el proceso. Por esta razón se requieren controles de disparo por seguridad en estos grupos.

1) Los controles están arreglados para que disparen la máquina por:

- a) Sobrevelocidad
- b) Baja presión de aceite de lubricación
- c) Temperatura excesiva de la máquina
- d) Potencia inversa (en aplicaciones en paralelo)

Además, se proporcionan las alarmas anticipadoras de predisparo por baja presión de lubricación de aceite y temperatura excesiva de la máquina en las instalaciones al cuidado de la salud. Cuando advertido de un inminente disparo, un operador puede tomar acción correctiva para prevenir el disparo por baja presión de aceite de lubricación y temperatura excesiva de la máquina. Si la máquina pierde control, la velocidad de la máquina se puede incrementar más allá de la velocidad nominal y alcanzar una sobrevelocidad en menos de un segundo y no es posible ninguna acción correctiva. Por lo tanto, una alarma de predisparo no es práctica por sobrevelocidad.

2) Se especifican, además, luces indicadoras o alarmas para:

- a) Sobregiro (falla de arranque)
- b) Mal funcionamiento del cargador de baterías
- c) Bajo nivel de combustible
- d) Baja temperatura del agua, esto es, los calentadores del refrigerante no están operando
- e) Grupo generador standby operando

#### f) Nivel bajo de refrigerante

Puede ser deseable tener luces indicadoras para mostrar un mal funcionamiento de muchas otras variables en instalaciones específicas. Éstas pueden incluir temperatura excesiva en el cuarto de máquinas, falla del ventilador en el radiador remoto, etc.

#### 4.3.3 Arranque Automático.

El o los generadores como fuente alterna en los hospitales se arranca(n) y para(n) automáticamente como función de un contacto de control en el switch de transferencia automática. El contacto del control cierra para iniciar el arranque y giro de la máquina y abre para iniciar el paro de la misma.

El panel de control del grupo incluye un control de arranque de la máquina que opera con una señal del contacto de control desde el switch de transferencia para controlar los dispositivos varios de la máquina para que arranque y gire. Por ejemplo, en una máquina diesel, se puede energizar una válvula solenoide de combustible para permitir que éste fluya hacia los inyectores. Al mismo tiempo, se energiza el circuito de relevadores para hacer girar al motor. El control automático de arranque de la máquina incluye un retraso de tiempo por sobregiro que sonará una alarma y bloquea cualquier intento posterior de giro si la máquina falla en el arranque después de un periodo programado. Una secuencia común de giro es de cuatro ciclos de 10 segundos de vueltas y 10 segundos de descanso.

Cuando la máquina enciende, el circuito de giro se desconecta automáticamente vía cualquier método tal como un switch de velocidad en el gobernador, un switch de presión de aceite, la formación de voltaje de CA en el generador y formación de voltaje en el generador para cargar la batería. La selección del método de selección de giro apropiado es mejor hecho siguiendo la recomendación del fabricante de la máquina.

Los controles de arranque automático de la máquina también supervisan los diversos dispositivos de protección de la máquina descritos arriba para sonar alarmas, dar indicación visual y apagar la máquina cuando ocurre una falla. El circuito de bloqueo por falla requiere su restablecimiento antes de que la máquina sea arrancada nuevamente.

#### **4.3.4 Dispositivos Contenido en el Panel de Control del Grupo Motor - Generador**

- 1) Además del control de arranque de la máquina, el panel de control del grupo incluyen:
  - a) Voltímetro
  - b) Amperímetro
  - c) Frecuencímetro
  - d) Conmutador selector de fase en el voltímetro / amperímetro
  - e) Transformadores de corriente
  - f) Dispositivo de protección contra sobrecorrientes
  - g) Aislador de vibraciones cuando la máquina está montada
  - h) Interfaz con el cuadro de alarmas remoto
- 2) Se suministran otros accesorios dependiendo de la aplicación. Estos incluyen:
  - a) Medidor de tiempo en operación
  - b) Lámpara para iluminar el panel con switch de encendido y apagado
  - c) Conmutador para subir y bajar el motor del gobernador
  - d) Reóstato de ajuste de voltaje
  - e) Regulador de voltaje
  - f) Medidor de kW

#### **4.3.5 Anunciador Remoto**

- 1) Las instalaciones al cuidado de la salud requieren de un panel de alarmas remotas para proporcionar una indicación visual y audible de:
  - a) Bajo nivel de combustible
  - b) Bajo nivel de agua
  - c) Baja presión de aceite

d) Alta temperatura del agua

e) Sobrevelocidad

f) Sobregiro

2) La indicación visual solamente se requiere para lo siguiente:

a) Mal funcionamiento del cargador de baterías

b) El generador está suministrando la carga

Además de lo anterior, se debe suministrar un contacto para reconocer que una condición de alarma ha ocurrido en una estación de trabajo atendida regularmente.

#### **4.4 Cargadores para las Baterías de Arranque**

##### **4.4.1 Descripción General.**

Hay una gran variedad de cargadores de baterías disponibles. El tipo seleccionado para un grupo generador dependerá del equipo eléctrico usado en la máquina. La mayoría de los cargadores caen dentro de dos categorías:

1) **Recuperación plena de la batería.** El cargador tipo recuperación plena se requiere en grupos motor generador cuando no se cuenta con un generador de carga para restablecer la carga de la batería. Generalmente es una carga de tasa alto - baja que puede ser en operación automática o manual. La tasa alta recargará la batería, y la tasa baja mantendrá las baterías en óptima condición de arranque.

2) **Carga de mantenimiento irregular.** El cargador tipo irregular se usa algunas veces cuando junto con la máquina, se suministra un generador cargador con una tasa de carga irregular de 2.0 A, éste mantiene el nivel de la batería en cualquier condición en que la deja el generador cargador. No está diseñado para recargar una batería descargada y por esta razón puede ser más confiable proporcionar un cargador recuperador de batería plena alta - baja aún si un generador cargador es suministrado con la máquina.

La diferencia principal entre los cargadores es su tamaño. Para aplicaciones en arranque de máquinas, la carga para la batería es general de varios cientos de A (posiblemente unos cuantos miles de amperes) por solamente unos cuantos segundos. Las baterías pueden ser relativamente grandes para proporcionar las grandes corrientes necesarias para el rompimiento del motor de arranque y para hacerlo girar. Por otro lado, el cargador es generalmente pequeño en comparación de la capacidad en Ampers - horas (Ah) de la batería porque solamente una pequeña cantidad de la capacidad de la batería se remueve con cada ciclo de giro.

Ejemplo:

1000 A por 10 seg. es igual a:

$$(1000 \text{ A} * (10 \text{ s}) / (3600 \text{ s} / \text{hr}) = 2.77 \text{ Ah removidos}$$

En baterías de plomo ácido los voltajes de cada celda individual empezarán a desviarse y necesitarán volverse a traer a la plena carga incrementando el voltaje del cargador en aproximadamente 10% por 25 - 30 horas cada 30 días. Esto se refiere como "igualar" la batería. Las baterías de níquel - cadmio tienen mucho menos autodescarga sobre periodos más grandes de tiempo bajo condiciones similares.

Ya sean baterías de plomo - ácido o de níquel - cadmio, ambos tipos necesitan una alta tasa de carga para lograr el estado de plenamente cargadas.

#### 4.4.2 Definición de Términos

1) **Temperatura ambiente.** La temperatura ambiente es la temperatura del medio, generalmente aire que rodea al cargador de baterías.

2) **Cargador de baterías.** Como se define aquí, el cargador de baterías es un equipo estático capaz de restablecer y mantener la carga en una batería de almacenamiento.

3) **Carga.** La carga es la conversión de energía eléctrica en energía química dentro de la batería

4) **Tasa de carga.** La tasa de carga de un cargador de batería, es la corriente expresada en amperes a la cual la batería es cargada.

**5) Carga a potencial constante.** Una carga a potencial constante es una carga en la cual el voltaje en las terminales de salida del cargador es mantenido a un valor constante.

**6) Corriente límite.** La corriente límite es la salida máxima del cargador de batería entregada a una batería descargada y a una carga, generalmente establecida como un porcentaje de la salida nominal y con un voltaje de entrada nominal suministrado al cargador.

**7) Voltaje de flotación.** El voltaje de flotación es el voltaje mantenido entre las terminales de la batería por el cargador para mantener la batería en sus condiciones mejores de operación con un mínimo de pérdida de agua. El voltaje de flotación se expresa en volts / celda (V/C).

**8) Voltaje igualador.** El voltaje igualador es un voltaje aproximadamente 10% mas alto que el voltaje de flotación. Este voltaje mas alto se usa para igualar periódicamente las baterías de plomo ácido y de níquel - cadmio. El voltaje de igualación se expresa en volts por celda.

**9) Valor nominal.** El valor nominal es un valor de referencia arbitrario seleccionado para establecer los valores nominales de los equipos

**10) Protección contra sobrecorriente.** La protección del cargador de baterías contra corrientes excesivas, incluyendo las de cortocircuito.

**11) Corriente de corto circuito.** La corriente de corto circuito de un cargador de baterías es la magnitud de corriente en las terminales de salida, cuando las terminales están en corto circuito y con el voltaje de entrada nominal suministrado al cargador.

#### **4.4.3 Valores Nominales del Cargador.**

- 1) La corriente nominal de salida de trabajo continuo debe ser adecuada para suministrar la corriente de carga de la batería para arranque de la máquina mas todos los requerimientos de carga auxiliar.
- 2) El voltaje nominal de salida del cargador es dictado por el tipo de batería y por el número de celdas que van a ser cargadas.
- 3) Los rangos de voltaje de flotación por celdas a 25°C son:



Material	Gravedad específica	Volts Electrolito
Plomo	1.210	2.15 - 2.19
Plomo - Antimonio	1.210	2.15 - 2.19
Plomo - Antimonio	1.265	2.29 - 2.33
Níquel - Cadmio	1.265	1.35 - 1.45

4) Rangos de voltaje de igualación por celda celdas a 25°C son:

Material	Gravedad específica	Volts Electrolito
Plomo	1.210	2.25 - 2.35
Plomo - Antimonio	1.210	2.25 - 2.35
Plomo - Antimonio	1.265	2.40 - 2.50
Níquel - Cadmio	1.265	1.50 - 1.60

5) Los rangos de entrada en CA para 60 Hz son:

Voltaje normal	Mínimo	Máximo
120	106	127
208	184	220
240	212	254
277	245	293
480	424	508
575	508	600

6) Las frecuencias nominales de suministro de CA son 50 o 60 Hz.

7) Rango nominal de temperatura ambiente es 0 - 50°C

#### 4.4.4 Cálculo del Cargador.

La carga en el peor caso para el cargador es cuando la batería esta descargada y el cargador debe recargarla y darle potencia a la carga. Hay muchas consideraciones tales como el número de celdas, voltaje de la ventana de la carga, voltaje de entrada, frecuencia de entrada, monofásico, trifásico, regulación en la salida, rizado, tiempo de recarga, etc., todos los cuales pueden afectar la selección del cargador. En general y debido a que las baterías de carga de máquinas son profundamente descargadas, es practica común dar el tamaño del cargador con la ecuación que sigue:

$$I(\text{cargador}) = \frac{0.6(Ah)}{HR} + I(\text{carga})$$

Donde:

I es la capacidad de i cargador

Ah es la capacidad en Amper / horas de la batería

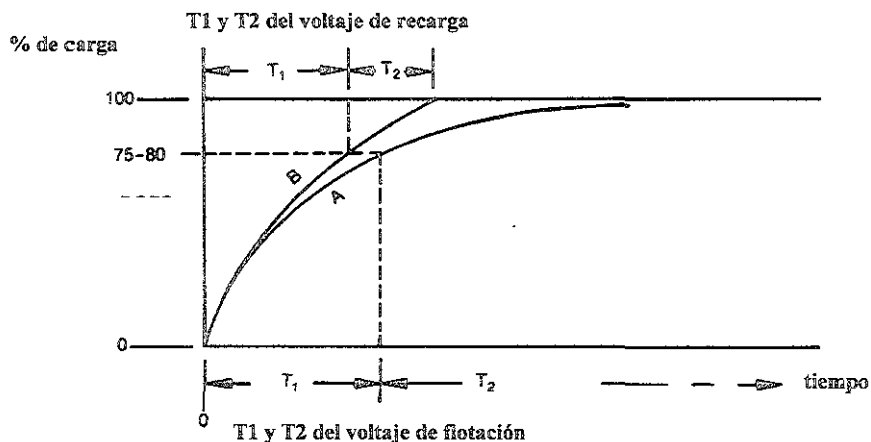
HR son las horas para recargar

I (carga) es la carga continua de CD en el sistema

1) Se debe entender que el tiempo de recarga de la batería relaciona realmente a dos parámetros diferentes del cargador:

- a) La capacidad de corriente del cargador.
- b) El ajuste de voltaje del cargador

En referencia a la siguiente figura, T1 está determinado casi completamente por la capacidad de corriente pero la capacidad de corriente del cargador casi no tiene efecto en T2.



T1 es el tiempo requerido para llevar a la batería de descarga total al 75-80% de carga total

T2 es el tiempo requerido para llevar a la batería del 75-80% a carga total

A. 7

T2 está determinado casi completamente por el ajuste de voltaje de salida del cargador aunque este ajuste no tiene virtualmente efecto en T1. El cargador estará en su modo corriente límite, durante la primera parte de T1 y a medida que el voltaje de la batería empieza a crecer, el cargador se saldrá de la corriente límite. Una curva típica se ilustra con la curva A. T1 puede cortar por la mitad simplemente doblando la capacidad de corriente del cargador.

2) La única forma de acortar T2 es desplazarse hacia arriba a una curva de carga más alta, tal como se muestra en la curva B, aplicando más volts / celda a la batería. Esto se hace ajustando el modo "recarga" ("igualador")

para sistemas de plomo - ácido) de la salida del cargador hasta un voltaje mas alto. Precaución: esto puede no ser tan simple como parece a primera vista. Hay varios problemas potenciales que se deben considerar:

- a) Las baterías de plomo ácido son más sensibles a los voltajes de carga altos que las de níquel - cadmio. El calor extra que se genera en las placas puede ser causa de torcedura en las placas.
- b) Puede ser que la ventana de voltaje de la carga aplicada no acomode el incremento en el voltaje del cargador.

El cargador puede ser ajustado hasta 1.65 - 1.70 V/celda para las placas de níquel - cadmio tipo bolsa sin ningún daño para la batería. Pero todas las cargas tienen algún voltaje máximo arriba del cual se puede tener un daño serio. Uno de los dos métodos estándar es comúnmente usado para lograr tiempos de recarga deseados sin dañar la carga.

#### ***Método 1 (sobredimensionamiento).***

Como T1 es una función de la capacidad de corriente del cargador, pero sólo restablece la batería hasta 85% - 80% de su carga plena, la batería se puede dimensionar en 25% y usar un cargador más grande. Aun así la batería no será completamente recargada durante el período de tiempo T1 será recargada lo suficiente para realizar otro ciclo de trabajo por el período de tiempo especificado. (Nota: cuando se especifica el cargador puede ser deseable requerir "un cargador que restablezca la batería lo suficiente para llevar a cabo otro ciclo de trabajo tal y como se especifica para la batería" en lugar de "plenamente recargado" en un período dado de tiempo)

#### **Método 2 (diodo reductor) (dropping diode)**

Aunque es posible dañar las baterías de plomo - ácido que son rápidamente recargadas, las baterías de níquel - cadmio de placa de bolsa pueden aceptar corrientes tan rápidamente como la liberan. No hay peligro para la batería mientras que se mantenga el nivel del electrolito arriba de la superficie de las placas

#### **4.4.5 Ventajas y Desventajas de las Celdas de Plomo - Ácido y de Níquel Cadmio.**

Aunque la batería de plomo - ácido y su contraparte la de níquel - cadmio se pueden usar en forma intercambiable en la mayoría de las aplicaciones, hay ciertas ventajas y desventajas para cada tipo.

La primera ventaja de la batería de plomo - ácido es su más bajo costo inicial.

La primera ventaja de la batería de níquel - cadmio es un menor mantenimiento, una vida mas larga, una batería físicamente más robusta. En aplicaciones de arranque de máquinas, una batería de níquel - cadmio apropiadamente dimensionada y mantenida tendrá una vida útil esperada de 18 - 20 años comparada con los 2 - 4 años para la batería de plomo - ácido en esa aplicación.

También se debe reconocer que la posibilidad de que una batería falle prematuramente y sin advertencia es enormemente reducida con una batería de níquel - cadmio debido a la mejor calidad de los materiales y de la mano de obra en el producto más caro.

#### **4.4.6 Efecto Memoria de las Batería de Níquel Cadmio**

Hay un fenómeno en los pares electroquímicos que están siendo inadecuadamente recargados que hacen que las celdas pierdan aparentemente capacidad con cada ciclo de recarga.

Todas las baterías tienen un voltaje óptimo que es ideal para una carga de "flotación". Este voltaje resulta en la vida máxima de la batería y en el uso mínimo del agua. Para baterías de plomo ácido a 1.230 de gravedad específica del ácido, este voltaje es de 2.15 - 2.17 V/celda. Para baterías de níquel - cadmio, el voltaje es 1.4 - 1.42 V/celda.

En las celdas plomo - ácido y las celdas de placa aglomerada de níquel - cadmio, aún si la batería no es descargada los voltajes de cada celda individual empezarán a desplazarse. Aproximadamente cada 60 a 90 días las celdas de voltaje más bajo necesitan ser llevadas a plena carga incrementando el voltaje del

cargador aproximadamente de 10% - 15% (2.33 - 2.36 V/celda para celdas de plomo - ácido, 1.60 - 1.65 V/celda para las celdas de placa aglomerada de níquel - cadmio).

Las baterías de níquel - cadmio con placa de bolsa tienen mucho menos autodescarga y como resultado si una batería de níquel - cadmio con placa de bolsa no es descargada con una carga externa, permanecerá plenamente cargada por muchos años a 1.4 V/celda. Por lo tanto las celdas de níquel - cadmio con placa de bolsa no necesitan ser "igualadas". Sin embargo, a menos que provoquemos problemas reales en el cuarto de baterías, se debe entender que nosotros no estamos diciendo que no se necesita el modo de recarga de doble tasa en el cargador de baterías "flotación / igualación".

Ya sean de plomo - ácido o de níquel - cadmio, ambas baterías necesitan del 10% al 15% de voltaje más alto para restablecer a la batería descargada al un estado de plena carga.

Muchos usuarios de baterías de níquel - cadmio se creen que debido a que ese tipo de celdas no requieren "cargas igualadoras" periódicas, no necesitan un cargador de baterías de doble tasa. Ellos han usado, como resultado de esto, un cargador único con tasa de flotación. Este tipo de cargador mantendrá adecuadamente una batería de níquel - cadmio plenamente cargada hasta que sea descargada por una carga externa. Sin embargo, una vez que la celda esté descargada, no recargará a más del 85% a un voltaje de 1.4 V/celda independientemente de la capacidad actual del cargador. También es verdad que con cada descarga sucesiva, la celda de níquel - cadmio en tal circuito de carga continuará perdiendo capacidad, este fenómeno se ha conocido de tiempo en tiempo como el "efecto memoria". Sin embargo, es simplemente el resultado de una recarga inadecuada de la batería. El efecto memoria también se experimenta en las baterías de plomo - ácido. Sin embargo, generalmente antes que sea observada la pérdida de capacidad en la batería de plomo - ácido es destruida por sulfatación de las placas positivas como resultado de una baja recarga.

#### **4.4.7 Características Típicas de Comportamiento.**

- 1) El cargador de baterías debe ser un dispositivo de estado sólido, de potencial constante, cuyo potencial de salida es regulado sensando el voltaje de la batería.
- 2) El cargador debe entregar la capacidad nominal plena a una batería descargada con una variación de línea como se muestra 4.5.3 (tabla 5)
- 3) Se debe mantener el voltaje de flotación de salida dentro de más o menos 1% del ajuste nominal
- 4) El voltaje igualador de salida se debe mantener dentro de más o menos 2% del ajuste nominal
- 5) Se debe proporcionar un dispositivo para cambiar el voltaje de salida de flotación a igualación cuando las condiciones lo ordenan.
- 6) Se deben proporcionar controles que ajusten el voltaje en el rango especificado en 4.5.3
- 7) El drenaje inverso de la batería no debe exceder 50 mA con la pérdida de la entrada de CA
- 8) El cargador de batería debe estar autoprotegido y la corriente de salida debe ser limitada a un valor seguro cuando se sujeta a corrientes de arranque.
- 9) Se deben proporcionar supresores de sobrevoltajes que protejan al rectificador de los transitorios en la línea y en la carga. Los circuitos de entrada y salida deben estar protegidos con fusibles, interruptores, o ambos.
- 10) Se debe proporcionar un amperímetro que indique la corriente de salida. Debe tener una precisión mínima de 5%

#### **4.4.8 Características de los Accesorios Opcionales**

- 1) Se debe considerar un voltímetro para indicar el voltaje de salida de CD  
El medidor debe tener una precisión mínima de 5%
- 2) Se puede proporcionar un dispositivo de alarmas que actúe ante la pérdida de una salida apropiada del cargador

- 3) Dispositivos de alarma de alto voltaje de CD están disponibles para actuar cuando el voltaje de salida del cargador excede el valor de alarma preajustado. Este nivel se puede ajustar desde el voltaje de igualación hasta 2.6 V/celda de plomo - ácido o 1.7 V/celda para níquel - cadmio. El dispositivo debe mantener el punto de ajuste de la alarma dentro del mas o menos 1%
- 4) Un dispositivo de alarma por bajo voltaje de CD se puede proporcionar para actuar cuando el voltaje de salida del cargador cae por debajo del nivel de voltaje de alarma preajustado. Este nivel debe ser ajustable desde el voltaje de flotación hasta 1.75 V/celda de plomo - ácido o 1.0 V/celda de níquel - cadmio
- 5) Dispositivos de alarma de falla de la potencia de CA están disponibles para actuar ante la pérdida de CA de entrada
- 6) Se puede proporcionar un timer igualador que cubra un rango de 0 - 24 horas o 0 - 72 horas. Cuando se activa manualmente, este timer colocará al cargador de baterías en modo igualador. Al finalizar el período de tiempo especificado, el timer regresará automáticamente al cargador al modo de flotación
- 7) Un timer de igualación automático puede ser proporcionado para que sea activado por una falla en la potencia de CA o un voltaje de batería bajo en CD y colocará al cargador de batería en el modo de igualación. Al fin del período de tiempo especificado, el timer regresara al cargador al modo flotación.

#### **4.4.9 Información Sobre la Instalación y el Mantenimiento.**

- 1) El cableado entre el cargador de baterías y la batería se debe dimensionar para minimizar la caída de voltaje.
- 2) Se debe proporcionar un adecuado espacio para permitir enfriamiento por convección al cargador
- 3) Todas las cargas auxiliares se deben conectar al bus de la batería, no a las terminales de la batería ni a las terminales del cargador.
- 4) Se deben programar inspecciones periódicas, remover el polvo y la suciedad, y apriete de conexiones.



#### **4.5 Sistemas para Sincronización y Control en Paralelo en Instalaciones con Varios Grupos M - G.(Motor-Generador)**

Para suministrar cargas grandes, dos o más grupos motor - generador operan con frecuencia en paralelo en un bus común, y como un suministro de potencia de emergencia. La exitosa operación de varios grupos motor - generador en paralelo requieren un sistema de control que pueda proporcionar las funciones necesarias para operar automáticamente al generador, mas manejar automáticamente la sincronización, corte de carga, operación isocrona, y las operaciones de control de carga.

Algunas de las consideraciones más importantes para el diseño son:

- 1) Operación en paralelo o un grupo motor generador
- 2) Consideraciones sobre la carga
- 3) Consideraciones sobre el grupo motor - generador
- 4) El interruptor del generador
- 5) Como dividir la carga
- 6) Establecer las prioridades entre las cargas
- 7) Corte de carga
- 8) Medios para conmutar la carga
- 9) Operación típica del sistema
- 10) Sensado
- 11) Lógica de control
- 12) Instrumentación
- 13) El interruptor del generador

##### **4.5.1 Conexión en Paralelo.**

Los sistemas de potencia de emergencia que tiene solo un grupo motor - generador son frecuentemente preferidos, y son en general más económicos. Sin embargo, hay muchas situaciones actualmente que se puede manejar mejor operando en paralelo dos o más grupos motor generador. La operación en paralelo es justificada generalmente por una o más de las razones siguientes.

1) **Por economía.** Una razón para tener en paralelo dos o más grupos es por disminución de costos. Por ejemplo, el sistema de distribución puede ser tal que no es práctico dividir una carga grande en varias secciones que sean manejadas por grupos generador individuales.

Otro ejemplo de economía es el costo de muchos grupos pequeños Vs el costo de un grupo grande, tales como varios grupos de 500 kW, 1800 r.p.m., en lugar de uno de 2500 kW, 600 r.p.m.

Un tercer ejemplo es donde se espera que la carga crezca en una forma importante, pero debido a problemas económicos la inversión inicial se debe minimizar. El diseñador tiene la obligación de prever solo el espacio para agregar los dispositivos para conectar en paralelo futuros generadores y la distribución, o, de proporcionar ya todo el equipo para interconectar grupos motor generador futuros en la instalación inicial.

Otro ejemplo es donde hay que ampliar un sistema existente. (Es mas económico correr un bus grande, en lugar de varios alimentadores independientes).

2) **Por confiabilidad.** Una razón importante para operar en paralelo dos o mas grupos motor generador es por confiabilidad. Por ejemplo, parte de la carga de emergencia puede ser tan esencial que es deseable tener más de un grupo generador que pueda manejar la carga. Aquí, cuando hay una falla de potencia en la línea normal, se le da la señal de arranque simultáneamente a todos los grupos. La probabilidad de que cuando menos uno de los grupos arranque es más alta que en una instalación que tiene solo un grupo. El primero en estar listo para manejar la carga lo hace. Luego los otros grupos toman las cargas restantes a medida que los generadores están listos.

Otro ejemplo es, cuando todos los grupos están rodando pero uno falla. En este caso parte o toda la carga menos importantes como la carga del equipo del sistema, se deja tirada para que los restantes grupos manejen la carga de emergencia.

3) **Para minimizar el tiempo fuera.** Cuando se hace mantenimiento preventivo o una reparación general en una máquina puede ser necesario

proporcionar potencia de respaldo. Para hacer esto, un grupo motor generador adicional, listo para usarse, está disponible cuando se necesite.

#### **4.5.2 Consideraciones Sobre el Gobernador del Grupo Motor - Generador.**

Los grupos motor generador deben de venir con gobernadores y reguladores de voltaje electrónicos para hacerlos adecuados para operar y cortar carga automáticamente sin personal. El gobernador electrónico proporciona operación isocrona, (velocidad constante independientemente de la carga), y división de carga automática en forma proporcional, lo que habilita la operación en paralelo de grupos de tamaños diferentes. El gobernador electrónico permitirá operar en paralelo en cualquier momento sin necesitar ajuste o caídas requeridas. Similarmente los reguladores de voltaje deben ser capaces de lograr en forma automática la división de carga reactiva para proporcionar sistemas de voltaje constante.

#### **4.5.3 Conexión en Paralelo al Azar.**

Poner en paralelo al azar, o más precisamente, acceso al bus al azar empieza un dispositivo de sincronización para cada grupo motor generador, en el sistema. La confiabilidad del sistema de control para conectar en paralelo es alta debido a la redundancia de trayectorias lógicas en paralelo.

El acceso al azar permite la sincronización simultánea de cada grupo al bus y logra por lo tanto la operación en paralelo de los grupos en el más corto tiempo posible. Esto es importante en las instalaciones al cuidado de la salud porque la rama de emergencia debe estar "en línea" en 10 segundos.

En un sistema de acceso al azar, el primer grupo que llega al voltaje y frecuencia nominales se conecta al bus para tener la potencia de emergencia disponible dentro de los 10 segundos, para los switches de transferencia de las ramas de emergencia y sus cargas respectivas, y proporcionar una base de comparación para la sincronización de los grupos restantes. A medida que los grupos restantes alcanzan el voltaje y la frecuencia necesarios, ellos se sincronizan y conectan en paralelo al bus al tiempo que los switches de transferencia inician en secuencia retrasada la conexión del resto de los equipos.

#### **4.5.4 División de la Carga.**

Cuando se conectan en paralelo dos o más grupos motor generador, es necesario considerar la capacidad de cada uno con relación a la carga total. El sistema se debe arreglar para inhibir la conexión de cargas adicionales en el bus de la fuente de potencia alterna hasta que se tenga suficiente capacidad generadora en el bus. Para hacer esto, la carga esencial del sistema eléctrico se debe dividir en partes, o bloques, que pueden ser conectados con seguridad al bus de la fuente alterna sin sobrecargar los grupos motor generador. El tamaño de los bloques de carga es una función de la capacidad de cada grupo motor generador.

Algunas veces es necesario examinar la carga en términos de como puede ser adecuadamente dividida y aún satisfacer las necesidades de las diversas cargas esenciales. En este caso, el tamaño de los bloques de carga determina la capacidad y número de grupos generadores necesarios.

#### **4.5.5 Para Establecer la Prioridad entre las Cargas.**

Una vez que se determina el bloque de carga, entonces se debe decidir la secuencia en la cual se deben agregar estas cargas al bus. Cada bloque de carga recibe un valor de prioridad. Este valor especifica cuantos grupos motor generador deben estar sincronizados antes que una carga particular sea transferida. Por ejemplo, la primera prioridad podría ser las cargas de emergencia del sistema, la segunda prioridad, las cargas de equipos con "retraso automático", y la tercer tercera prioridad las cargas con equipos de maniobra manual (no automático).

#### **4.5.6 Corte de Carga.**

En la misma forma que se agregaron cargas al bus, la habilidad para cortar cargas también queda determinada por el tamaño y número de los grupos motor generador. El corte de cargas es necesario cuando la carga conectada excede la capacidad de los grupos motor generador en línea. Esta situación puede ocurrir cuando un grupo funciona mal o en una caída de la frecuencia del bus. El inicio del corte de carga y la reducción resultante permitirá que los generadores que sobreviven alimenten las cargas de más alta prioridad (sistema de emergencia) sin interrupción o degradación de la potencia entregada.

#### **4.5.7 Medios para la Conexión de la Carga.**

Hay varias formas de conmutar cargas en el bus generador. Como el sistema es un sistema de potencia con dos fuentes, ya hay un medio de conmutación interconstruido en el sistema, el switch de transferencia automática. Es generalmente una modificación simple hacer que el switch de transferencia automática sea controlado en ambas direcciones para conectar carga y para tirarla.

Cuando más de una clase de carga prioritaria se alimenta desde un switch de transferencia automático dado, un switch de control remoto puede controlar la carga de menor prioridad en el lado de la carga del switch de transferencia automática. Otro método podría permitir que la conexión de la carga la hiciera el switch de transferencia automática, y que el corte de carga fuera realizado por disparo paralelo de interruptores. Sin embargo, se debe tener cuidado en la aplicación del disparo en paralelo si se usan interruptores de caja moldeada, porque los interruptores disparados en paralelo deben ser restablecidos manualmente. Pudiera ser deseable tener un medio de restablecimiento automático. También se debe considerar el número anticipado de operaciones al cual el dispositivo estará sujeto.

Hay tantas formas para conmutar la carga como hay aplicaciones para la potencia de emergencia. El método preferido para cualquier aplicación queda determinado por los requerimientos de la aplicación, considerando siempre la confiabilidad, la flexibilidad y la economía.

#### **4.5.8 Operación de un Sistema Típico.**

Un sistema típico, con varias máquinas que se conectan automáticamente en paralelo describiendo algunos de los esquemas para la conmutación de la carga previamente mencionados. Se describen a continuación:

La siguiente secuencia de operación se refiere al diagrama unifilar en la Figura. 4.5. El sistema está formado por cuatro grupos motor generador como fuente de emergencia.

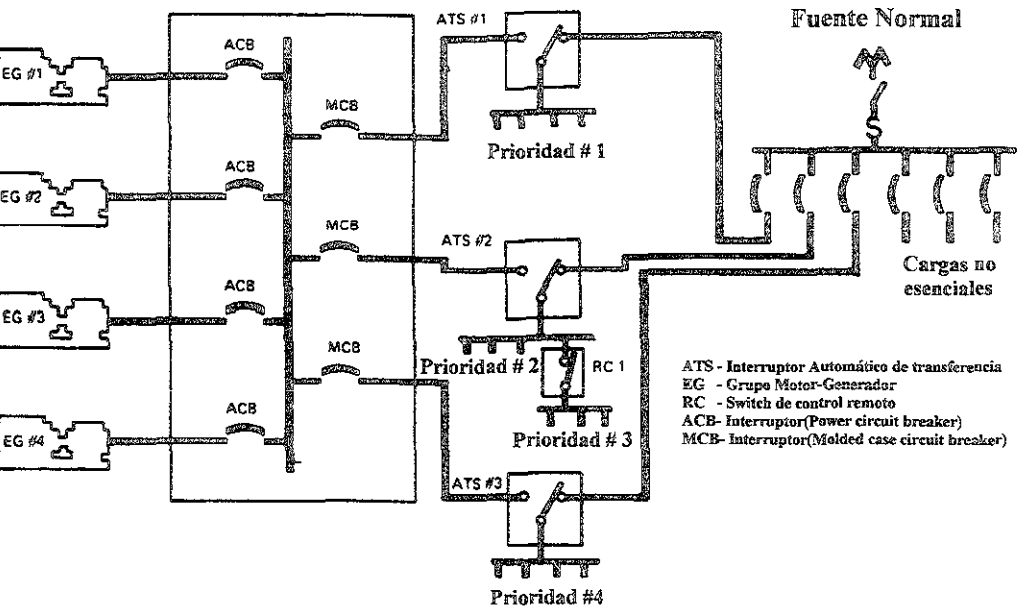


Figura 4.5 Acoplamiento automático de generadores.

La operación es para un sistema que trabaja en paralelo con acceso al azar y las cargas se conectan al bus en un orden al azar, a medida que se tienen disponibles. Las cargas, sin embargo, están siempre conectadas al bus de emergencia en orden ascendente de prioridad empezando con la prioridad 1. Para el corte de carga, las cargas se desconecta en orden descendente de prioridad empezando con la carga que fue conectada como ultima prioridad.

Hasta una pérdida del voltaje de la fuente normal como se determina por cualquiera o mas de los switches de transferencia automática mostrado en la Figura. 4.5, una señal inicia el arranque de todos los grupos motor generador. El primer grupo que llegue al 90% del voltaje y frecuencia nominales se conecta al bus de fuente alterna. Las cargas criticas y de seguridad de vida son entonces transferida vía ATS#1 y #2 al bus una vez sensada la disponibilidad de potencia

en el bus. A medida que los grupos motor generador van llegando al 90% de su voltaje y frecuencia nominales, sus monitores correspondientes de sincronización controlarán el voltaje y la frecuencia de éstas para obtener el sincronismo con el bus. Una vez que la máquina por conectar iguale voltaje, frecuencia y el ángulo de fase con el bus, su sincronizador iniciará la puesta en paralelo. Una vez conectado al bus, el gobernador hará que el grupo motor generador comparta la carga conectada con los otros grupos en línea.

Cada vez que un grupo adicional se agrega al bus de emergencia, la siguiente carga es transferida en una secuencia numerada vía switches de transferencia adicional, tales como el ATS #3, hasta que todos los grupos y las cargas esenciales quedan conectadas al bus. Una circuitería de control, debe prevenir la transferencia automática o la conexión de cargas al bus hasta que haya suficiente capacidad para aguantarlas. Se toman provisiones para dejar a un lado de los circuitos adicionales de carga con operación supervisada.

Una vez que se ha restablecido la fuente normal de suministro tal y como queda determinado por los switches de transferencia automáticos, las máquinas son operadas por un período de hasta 15 minutos para su enfriamiento y luego desconectadas. Todos los controles restablecen automáticamente y se quedan listos para la siguiente operación automática.

El sistema está diseñado de tal manera que la operación reducida se inicia en forma automática ante la falla de cualquier planta mediante corte de carga. Este modo deja por un lado cualquier control manual previo para prevenir la sobrecarga del bus de emergencia. Una vez que se sensa un modo de falla de una máquina, los controles inician automáticamente su desconexión, apagado y bloqueo de la máquina fallada, y reducción de la carga conectada para que quede dentro de la capacidad de las plantas restantes. Los controles deben de requerir restablecimiento manual bajo estas condiciones.

Se debe proporcionar protección del grupo motor generador contra motorización. Un monitor de potencia inversa, una vez que sensa la condición de motorización en cualquier planta, iniciará el corte de carga desconectará la planta fallada, y la apagará.

#### 4.5.9 Que Sensor en Sistemas de Generadores en Paralelo

Un sistema en paralelo está sujeto a varios transitorios en voltaje y frecuencia como resultado de cambios en la carga del sistema. Los dispositivos sensores deben ignorar estos transitorios normales y responder a los dañinos. Básicamente, se usan cuatro tipos de monitores en los sistemas en paralelo: voltaje, frecuencia, sincronización y potencia

- 1) **Monitores de voltaje.** Hay varios métodos para sensar la magnitud de una onda senoidal de CA. Por ejemplo, existen detectores de pico, pico sobre promedio y de RMS. Cada método tiene su propia y distinta característica. Se prefiere el método del valor RMS.

La ventaja de la detección del valor RMS es que los ajustes de disparo del monitor están relacionados directamente con la habilidad de la línea de potencia para suministrar la carga. Por lo tanto, los puntos de disparo del monitor coincidirán exactamente con los valores determinados de los medidores de RMS independientemente de la distorsión de la línea de potencia. Otras técnicas de monitoreo pueden proporcionar puntos de disparo erróneos cuando se comparan con las mediciones RMS en líneas de potencia con alta distorsión.

Debido a que la capacidad en potencia del generador es pequeña en comparación con la de la compañía suministradora, los cambios en la carga pueden generar transitorios de voltaje grandes. Consecuentemente, el monitor debe distinguir entre condiciones transitorias y de largo plazo. Entonces un medio de distinguir está diferencia debe quedar incluido en el monitor. Un método preferido es el de incluir un retraso de tiempo ajustable dentro del monitor para dejar pasar los transitorios momentáneos dentro del sistema. El retraso de tiempo debe iniciar en el instante en el que el voltaje de la línea de potencia cae por abajo de los límites preajustados en el monitor; debe restablecer a cero cuando el voltaje regrese dentro de esos límites. Esto, en efecto, proporciona diferencial cero alrededor del ajuste de disparo del monitor.

- 2) **Monitores de frecuencia.** Como en la detección del voltaje, también hay muchas técnicas para sensar frecuencia. Por lo tanto, hay que poner



cuidado al seleccionar el monitor de frecuencia apropiado que cubra las necesidades del sistema de potencia y de la carga. Las consideraciones más importantes al seleccionar un monitor de frecuencia son los efectos de la distorsión de la forma de la onda, la regulación del voltaje de línea, los transitorios en la línea y la temperatura ambiente en los ajustes de disparo del monitor.

La distorsión en la forma de la onda es causada con más frecuencia por las cargas no lineales que por la fuente de potencia o el sistema de distribución. La distorsión se hace más pronunciada cuando la carga que causa la distorsión se acerca al tamaño de la fuente de potencia.

La distorsión ocurre con frecuencia cuando la carga se alimenta por o a través de semiconductores tales como: Diodos, tiristores, SCRs. (Estos dispositivos pueden ser comúnmente encontrados en fuentes de potencia ininterrumpibles controladores de motores de estado sólido, etc. Por ejemplo, cuando los triac's o SCRs son encendidos ya iniciado el ciclo de voltaje, como en control de fase, pueden circular altas corrientes durante solamente una porción del ciclo, lo que resulta en una carga no lineal y la distorsión de la forma de onda.

Los cambios de carga repentinos pueden, en adición a los transitorios de voltaje causar desplazamientos de frecuencia momentáneos, el monitor de frecuencia seleccionado para proteger la línea de potencia debe tener la capacidad de discriminar entre las variaciones de frecuencia momentáneas y sostenidas.

Los métodos típicos de protección contra las pérdidas de potencia momentáneas o sostenidas, son el de puntos de disparo diferenciales y retrasos de tiempo. La ventaja de un disparo diferencial, es proporcionar la aceptación de una frecuencia en la línea de potencia que puede ser perfectamente adecuada bajo condiciones de carga sostenida. El retraso en el disparo se usa generalmente para prevenir respuestas falsas del monitor debido a los transitorios grandes en la frecuencia.

Para obtener la mejor operación posible, se deben incorporar ambos tipos de protección dentro del mismo monitor.

3) **Potencia inversa.** Cuando varias fuentes de potencia operan en paralelo en un bus común, el voltaje y la frecuencia de cada fuente es común. Ni un monitor de voltaje, ni uno de frecuencia, ni alguna combinación de ellos puede distinguir un mal funcionamiento de un grupo motor generador de un funcionamiento aceptable. La única forma de determinar la apropiada operación en el bus es medir la potencia que aporta cada grupo generador, cuando un grupo está entregando potencia al bus, está operando apropiadamente. Cuando un grupo está extrayendo potencia del bus, se está motorizando, y existe la posibilidad de un mal funcionamiento. A los flujos de corriente inversa se les conoce como corrientes circulantes. Es normal tener flujo de potencia del bus hacia el grupo durante períodos cortos cuando el bus tiene poca carga. 5 - 10% o menos de la capacidad del grupo es normal. En este nivel de carga, Todo lo que mantiene a los grupos en sincronismo es el intercambio de corrientes de sincronización que causan esta potencia inversa. Por lo tanto, el monitor que mide esta condición se debe ajustar a un valor suficientemente alto para ignorar esta condición que no es dañina, sin embargo, el ajuste debe ser lo suficientemente bajo para detectar un mal funcionamiento. ¿Cuánto es suficiente? Eso depende de la máquina. Algunas máquinas extraerán sólo entre 1 y 2% de su valor de carga nominal cuando se motorizan. Otras extraerán entre 8 y 10%. Esto determina el rango de ajuste del disparo (esto es, entre 0 y 10%). En ausencia de datos del fabricante, se deben hacer pruebas de campo para determinar los ajustes apropiados.

Hay muchas clases de relevadores de potencia inversa disponibles. Ellos caen en dos clasificaciones generales: electromecánicos y electrónicos. El tipo electromecánico utiliza para sensar un disco de inducción y es razonablemente barato. Sin embargo, necesita verificar su calibración con frecuencia, debido a su sensibilidad a la temperatura, polvo, antigüedad, humedad, etc.

El tipo electrónico es un monitor de potencia inversa de estado sólido que proporciona precisiones repetitivas sin la necesidad de una calibración constante.

Cualquiera que sea el tipo usado, debe tener integrado un retraso de tiempo para ignorar las condiciones transitorias causadas por la baja carga y por la conmutación de grandes bloques de carga. El sensado monofásico es adecuado ya que el generador, cuando está actuando como motor, es una carga balanceada.

4) Sincronización. Se considera que las fuentes están sincronizadas cuando sus ondas senoidales son iguales. Esto es, las fuentes a conectarse en paralelo deben ser iguales en

- 1) ángulo de fase
- 2) frecuencia
- 3) voltaje,
- 4) rotación.

Las 4 condiciones deben quedar satisfechas cuando se van a conectar en paralelo grupos motor generador.

La Figura 4.6 muestra cinco fuentes de voltaje. Ningún par de ellas está en sincronismo.

Si se conectan en paralelo tales fuentes, se puede causar un daño importante a la máquina, al generador, y/o al sistema. La sincronización es por lo tanto la operación más crítica del sistema. Debido a tolerancias en los equipos, debe haber alguna tolerancia por diferencia en los parámetros. Sin embargo, cuando estas diferencias se hacen muy grandes, el resultado es una conexión fuera de sincronismo.

Para producir disturbios mínimos, se deben minimizar las diferencias. No está fuera de lo razonable esperar las diferencias permisibles máximas siguientes:

Voltaje +/- 5%

Frecuencia +/- 0.25 Hz

Ángulo de fase +/- 10%

El sincronizador debe sentir la diferencia en voltaje, frecuencia, y ángulo de fase existentes, y luego tomar acción correctiva si es necesario para reducir las diferencias a los límites aceptables establecidos arriba

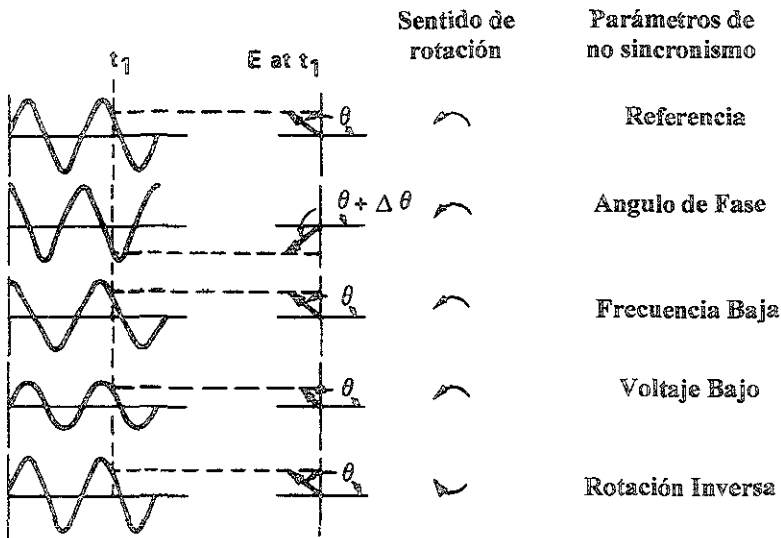


Figura 4.6 Parámetros de no-sincronismo.

Comúnmente se usan frecuencímetros motorizados para ajustar la velocidad del generador que se va a sincronizar para reducir la diferencia en frecuencia. Sin embargo, se puede lograr una mayor confiabilidad donde se usan gobernadores electrónicos para controlar el grupo motor generador. Estos gobernadores son básicamente dispositivos analógicos, entonces, la entrada directa de una señal analógica proporcional a la diferencia de frecuencia producirá el ajuste necesario. Esto elimina la necesidad de un potenciómetro motorizado, que puede ser una fuente potencial de mal funcionamiento.

#### 4.5.10 Fuentes de Poder para la Lógica de Control.

En el diseño de un sistema de control para conectar en paralelo grupos motor generador la selección de la fuente de potencia está limitada a la salida del generador las baterías de arranque del generador, y a las baterías para el equipo de conmutación.

- 1) **Potencia para el control en CD.** En una aplicación de potencia de emergencia, los generadores están normalmente parados. Consecuentemente, hasta que se presenta una falta de energía en la fuente normal, la única fuente de potencia disponible son las baterías.

Hay buenas razones para usar las mismas baterías para controlar la potencia y para arrancar la máquina. Por ejemplo, la utilización de todas las baterías de la máquina proporciona una fuente de potencia redundante para la lógica de control. El burden de la potencia para control es mínimo y no requiere normalmente ninguna consideración adicional en el dimensionamiento de las baterías. El burden del circuito de control es típicamente menor del 1% de los Ah nominales de la batería de la máquina. Además, es sólo impuesto cuando el sistema está en operación. Cuando el sistema está en el modo standby, normalmente no consume potencia de control. Escogiendo la batería de arranque de la máquina como una fuente de potencia de control, en lugar de una batería de los equipos de comunicación por separado, elimina la necesidad de mantenimiento y de equipo de carga de un grupo adicional de baterías.

Cuando las baterías de arranque de la máquina son usadas, ellas proporcionan redundancia en la disponibilidad de potencia de control. Un dispositivo selector para la fuente de potencia ininterrumpible para el control puede proporcionar la potencia de control de cualquier combinación de baterías con respecto a la habilidad de una batería individual para alimentar potencia. Este dispositivo debe proporcionar un aislamiento positivo así como también prevenir una falla en un banco por la descarga de otras baterías.

- 2) **Lógica de control de CD.** La lógica de control de CD proporciona el arranque, el paro y el monitoreo de las máquinas. Cuando ocurre un mal funcionamiento, la lógica del control de CD saca la máquina de servicio e inicia las acciones apropiadas para proteger los grupos restantes. Además, la lógica de control para sistemas con varias máquinas debe ser adecuado para la operación a los niveles de voltaje a los que está sujeta.

La lógica de control de CD debe aceptar las señales del generador en línea cualquiera que sea el orden en que se presenten y que causan que las cargas sean conectadas en un orden de prioridad predeterminado. La lógica también debe aceptar señales de disponibilidad de generador tal y como es determinado por los respectivos monitores de voltaje y frecuencia del generador y permitir que la primera unidad disponible sea conectada al bus. Cada sistema debe venir con una alarma audible que anuncie un mal funcionamiento, y una alarma visual para identificar la fuente del mal funcionamiento.

Cuando se usa un circuito silenciador junto con la alarma del tipo audible, se debe restablecer automáticamente ya sea cuando se corrija y componga el mal funcionamiento, o hasta la ocurrencia de otro mal funcionamiento.

- 3) **Potencia de control de CA.** Se puede usar CA en el sistema de control solamente cuando las funciones son tales que ocurran mientras que el generador está operando y donde los transitorios de la carga no afecten la operación. Por ejemplo, es deseable usar el generador como una fuente de potencia para cerrar el interruptor principal de generador. El cierre de este interruptor en los potenciales de CA requiere considerablemente menos corriente que en los potenciales de la batería de CD. La corriente para abrir este interruptor se debe extraer de la batería para que el grupo generador pueda ser desconectado de la línea ante la posible pérdida de la potencia de CA de salida del generador. Como el disparo requiere considerablemente menos corriente que el cierre, la capacidad de la batería es generalmente adecuada para el propósito de disparo.

#### **4.5.11 Instrumentación.**

La instrumentación ayuda a facilitar la inspección periódica, el mantenimiento preventivo y la calibración esencial para la apropiada operación y longevidad del sistema.

Como los dispositivos en el sistema son muy precisos, los instrumentos que miden el comportamiento de estos dispositivos, estos también deben ser precisos, los instrumentos tipo tablero con precisión 1% son preferidos en tanto que la aplicación sea comparable a las aplicaciones en acometida de servicio. Mas aún, como el fabricante de un instrumento de tablero requiere tolerancias más pequeñas que un instrumento de panel, se puede esperar una vida más larga del instrumento de 1%.

El complemento mínimo de instrumentos debe incluir un amperímetro para cada generador con un medio de conmutación para medir la corriente por fase; un voltímetro con un conmutador para medir cada uno de los voltajes entre fases; un frecuencímetro que tenga preferentemente una escala 55 - 65 Hz con una división por 1/10 Hz para medir la velocidad de la máquina; y un wattmetro para indicar el comportamiento de la máquina.

El amperímetro suministra información acerca de la carga del generador y del ajuste y comportamiento del regulador de voltaje. El voltímetro permite el ajuste del regulador de voltaje para un apropiado voltaje de operación. El frecuencímetro permite ajustar el gobernador para tener una apropiada frecuencia de operación. El wattmetro permite ajuste del gobernador para una división apropiada de la carga entre los grupos motor generador que están operando en paralelo. El wattmetro permite también ajustes de la máquina sobre la base de la carga.

#### **4.5.12 Interruptor de Potencia del Generador.**

El interruptor del generador tiene dos funciones. Primero, proporciona protección al generador contra sobrecargas y cortos circuitos. Segundo, opera como un switch que estando cerrado soporta corrientes de inrush y puede abrir ante corrientes continuas así como corrientes de motores atascados. En cualquier caso, el interruptor debe ser capaz de tener operaciones repetitivas.

Los interruptores en aire, y los más nuevos con caja aislada (no caja moldeada) son los dispositivos más comúnmente usados como interruptor del generador. Los interruptores de caja aislada se han estado usando más frecuentemente debido a que su capacidad de vida ante conmutaciones es de aproximadamente cuatro veces la de un interruptor en aire. El interruptor de caja aislada incorpora también elementos de estado sólido que proporciona un grado de flexibilidad que virtualmente se puede coordinar con cualquier esquema de protección por sobrecorriente.

El propósito del interruptor en el generador no es desconectar circuitos que fallan del generador. Esta función es manejada por los dispositivos aguas abajo que están coordinados selectivamente con el interruptor del generador.

El interruptor del generador debe ser del tipo de 5 ciclos al cierre, que incluye disparo en paralelo con CD, contactos de alarma y contactos de bloqueo para interfasear con el sistema. Se requieren con el interruptor unidades de sensado y disparo para la coordinación apropiada de las curvas de disparo dentro del sistema de distribución para la protección contra sobrecorriente y corto circuito.

El código requiere que el dispositivo de protección por sobrecorriente esté localizado en el generador, que es la fuente de suministro para los conductores de emergencia. Para instalaciones donde el tablero del generador no está localizado inmediatamente adyacente al generador, se deben proporcionar dispositivos para el switcheo por separado en los cubículos de switcheo del generador.

#### **4.6 Suministradores de Potencia en Forma Ininterrumpida (UPS).**

Las fuentes de potencia ininterrumpibles (UPS's) son convertidores de potencia sumamente eficientes que proporcionan un voltaje regulado de CA en sus terminales de salida independientemente de la calidad de la fuente en sus terminales de entrada.

En el evento de una pérdida de potencia total en la entrada de una UPS, la potencia de salida es proporcionada por medio de un banco de baterías. Un beneficio inherente, adicional de la UPS es su habilidad para filtrar picos de voltaje y aberraciones en la potencia desde las terminales de entrada hasta las de salida. Estos problemas en la potencia pueden ser consecuencia de causas naturales,



disturbios en las líneas de la compañía suministradora, o atribuibles a otras cosas, como a maniobras con la carga dentro de la propia instalación.

La potencia ininterrumpible no está generalmente especificada en los requerimientos por código para hospitales o instalaciones al cuidado de la salud. Sin embargo, los sistemas UPS's están siendo incorporados con cada vez más frecuencia en los diseños eléctricos. Las aplicaciones típicas incluyen respaldo en laboratorios sensibles y equipos de diagnóstico, equipo que soporta la vida en unidades de cuidado intensivo, sistemas de procesamiento de datos, y para la iluminación en áreas que soportan la vida. Las UPS's vienen en una diversidad de configuraciones y utilizan varias tecnologías. Las categorías principales son UPS's rotatorias y estáticas.

#### **4.7 UPS ESTÁTICA**

Las UPS son generalmente dispositivos estáticos, aunque existen en el mercado sistemas híbridos que combinan componentes estáticos y mecánicos. Una UPS consiste de un rectificador que convierte la potencia de CA en potencia de CD, un banco de baterías, un inversor para reconstituir las ondas senoidales de CA, y un switch estático.

El switch estático es parte del sistema de transferencia que proporciona un medio para transferir la carga crítica de regreso a la potencia de la compañía suministradora sin interrupción en el caso de una sobrecarga en el sistema, un mal funcionamiento del inversor, o para una mantenimiento programado.

La batería más frecuentemente utilizada en las UPS es la que tiene celdas de plomo - calcio. Es idealmente adecuada para aplicaciones con UPS's debido a sus características de descarga, su baja evolución de hidrógeno, y consecuentemente su bajo uso de agua.

La configuración normal de una UPS se llama "transferencia inversa". Este término se usa porque la salida de UPS alimenta a las cargas críticas durante la operación normal. El sistema transfiere a la compañía suministradora solo en unos de los modos alternos de operación, como se observó previamente. El rectificador deriva su potencia de la compañía suministradora y alimenta la entrada del inversor. En el evento de pérdida de la potencia de la compañía suministradora, el inversor recibe su potencia de la batería. Cuando el voltaje de la compañía

suministradora regresa al nivel predeterminado, el rectificador empieza a suministrar potencia al inversor y también empieza a recargar el descargado banco de baterías.

La UPS de transferencia inversa puede suministrar salidas monofásicas o trifásicas. Las unidades con salida monofásica pueden tener una entrada monofásica o trifásica. Las unidades monofásicas típicas están dimensionadas para suministrar una carga en el rango de 0.5 kW a 50 kW, y las unidades trifásicas desde 15 kW hasta 600 kW. Varios fabricantes de UPS's tienen opción de poner en paralelo unidades para tener mas capacidad. También ofrecen una unidad de transferencia de potencia hacia adelante en el rango de 0.5 kW a 10 kW que vienen instaladas, en un solo paquete, la UPS y las baterías.

El diseño de un sistema con UPS involucra consideraciones tanto eléctricas como ambientales. El primer paso es calcular el tamaño del módulo de la UPS (rectificador, inversor, combinación de switch estático). Son factores determinantes son la carga actual, factor de potencia, diversidad de aplicación, y las cargas que se van a conectar y a quitar en el futuro. Un método alternativo podría ser dimensionar el módulo para manejar la carga supuesta y el banco de batería para la carga actual. Las ampliaciones se pueden lograr conectando en el futuro, bancos de baterías en paralelo. Un tiempo de reserva común para el banco de batería son 15 minutos.

Las conexiones de potencia para una UPS involucran el paquete de baterías, la entrada al rectificador, el circuito de bypass, y la salida. La salida y el circuito de bypass se deben dimensionar para que soporten la capacidad de salida del módulo UPS. El rectificador se calcula para que maneje la salida del inversor mas lo que se requiera para recargar un banco de baterías completamente descargado. El alimentador de entrada se debe dimensionar más grande que la carga que va a manejar para que soporte la de recarga del banco de baterías. El alimentador de la batería se determina con la corriente de descarga máxima de CD. A medida que la batería se empieza a descargar, la corriente de CD se eleva a medida que el voltaje cae. La corriente máxima de CD ocurre en el punto de corte de voltaje bajo de CD. Una regla de dedo es permitir una caída máxima de 2 V en el cable (calculada a corriente máxima de CD).

Un dispositivo de sobrecorriente/desconexión se debe proporcionar tanto para el alimentador de entrada como para el de bypass. En forma adicional, un dispositivo de sobrecorriente/desconexión se debe incorporar al esquema total y localizar cerca de banco de baterías para proporcionar la protección requerida. En módulos más grandes de UPS's, se debe tener cuidado en limitar el voltaje de CD a 250 V. Un método conveniente de lograr esto podría ser dividiendo el banco en dos segmentos iguales y conectar los dos entre el polo central de un switch de tres polos que desconecte la batería como se muestra en el diagrama unifilar.

A través de un esquema de bypass se puede incorporar en el diseño de un módulo UPS un medio para aislarla y poder efectuar el mantenimiento. Esto se lleva a cabo colocando la UPS en modo bypass, luego se cierra el dispositivo de bypass para mantenimiento, y finalmente abriendo el interruptor no automático o dispositivos sin fusibles en la salida de la UPS. La UPS queda aislada completamente tanto de la carga crítica como del sistema eléctrico del edificio. Esta transición se lleva a cabo sin interrupción en el suministro de potencia a la carga crítica.

La mayoría de los fabricantes de UPS's suministran un panel de alarmas remoto para monitorear el estado del sistema UPS. Esta es una característica deseable y se debe localizar en la misma área donde se ubican los paneles anunciadores requeridos por los códigos.

Una consideración final sobre el diseño de la UPS es la coordinación entre la dimensión de los dispositivos de protección en la salida del inversor de la UPS (generalmente un interruptor) y aquellos aguas abajo. También se debe considerar a la misma coordinación para la situación cuando la UPS está en el modo bypass o bypass para mantenimiento.

Hay tres consideraciones ambientales en la instalación de una UPS: (1) la salida del calor de la UPS, (2) la temperatura ambiente máxima de operación y la humedad relativa del módulo UPS y de las baterías, y (3) la emisión de hidrógeno de las baterías.

El calor que expiden la UPS es una medida de la eficiencia del módulo. Este calor puede ser extraído para prevenir que se vaya a exceder la temperatura máxima de operación del módulo de la UPS y de las baterías. Generalmente, la

temperatura máxima de operación de la UPS es considerablemente mayor que la temperatura que puede afectar adversamente las baterías.

Se tienen que tomar providencias para exista suficiente difusión y ventilación del hidrógeno emitido por las baterías para prevenir la acumulación de una mezcla explosiva. Esto significa que no hay que dejar que el hidrógeno alcance un nivel de 1% por volumen del cuarto. Si el cuarto de baterías tiene aire acondicionado, el aire de la salida no debe regresar al sistema de distribución de aire del edificio. El cuarto de baterías debe tener su sistema de extracción conectado hacia el exterior.

Idealmente, las baterías se deben localizar en su propio cuarto. Si esto no es posible, una importante pantalla debe dividir su ubicación para limitar el acceso solo a personas calificadas. Existe una diversidad de bancos (racks) para colocar las baterías. El fabricante de las UPS's debe ser consultado para determinar el espacio adecuado y las limitaciones del local. En áreas sísmicas, se deben especificar racks que los soporten. Finalmente, se debe tener un área para lavar los ojos localizada en la vecindad del paquete de baterías.

Las UPS's son sistemas que van con el estado del arte para los cuales se hacen mejoras y constantes innovaciones técnicas. Un ejemplo de esto es el uso de diagnósticos por microprocesadores que hacen posible una rápida identificación de problemas con el equipo sobre la base del monitoreo de puntos críticos. Esta característica es de particular beneficio para la industria al cuidado de la salud donde la disponibilidad de la UPS es importante para la operación apropiada.

#### **4.8 UPS Rotatoria.**

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

Un método involucra la adición de un motor de CA cuando la potencia de la normal no puede ya soportar la carga. Tal como lo indica la Figura 4.7. Estos motores pueden estar en la misma flecha que el resto del M - G o se pueden conectar con bandas Las baterías se pueden recargar con un cargador de estado

sólido o directamente de del motor de CD. Ésto se lleva a cabo controlando la corriente de campo para cambiar la función del motor de CD a la de un generador. Este método reduce la complejidad del sistema pero el motor de CD generalmente experimenta un desgaste rápido de las escobillas cuando se opera en vacío.

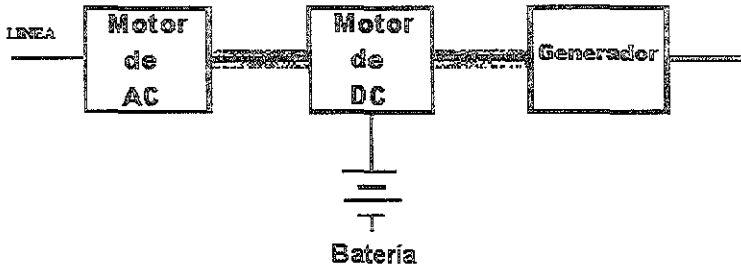


Figura 4.7 UPS Rotatoria con motor de DC

Otro método involucra un M - G con un motor de CD que impulsa un alternador (Figura 4.8).

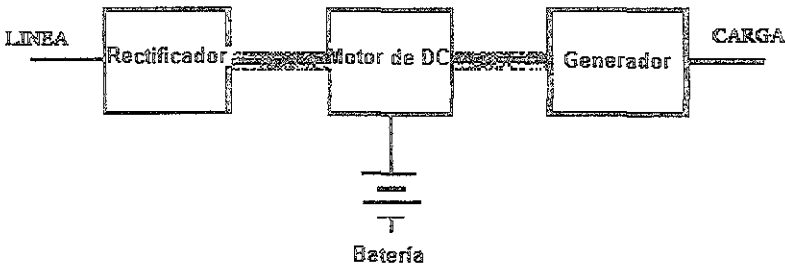


Figura 4.8 UPS Rotatoria con Rectificador

La CD para el motor se deriva de un rectificador de estado sólido que también carga las baterías del sistema. El diagrama unifilar de esta fuente se ve muy similar a la de una UPS de estado sólido, excepto que el inversor de estado sólido ha sido reemplazado con un inversor rotatorio.

El otro método común involucra el uso de un impulsor inversor - estático/motor para alimentar potencia de CA al motor durante los momentos en que falta la energía normal (Figura 4.9).

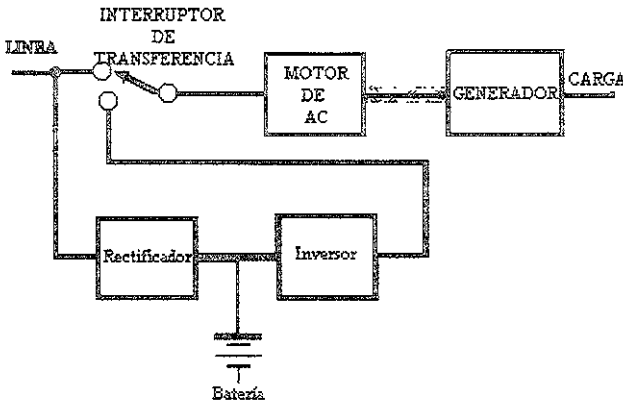


Figura 4.9 UPS Rotatoria con inversor

Cuando se pierde la potencia normal, el inversor convierte la potencia de las baterías en 60 Hz que se le suministran al motor. Esta conmutación se lleva a cabo durante el tiempo que proporciona la inercia del M - G para pasar la interrupción del circuito normal. El inversor se puede usar como cargador de baterías durante el tiempo que la CA normal esté disponible para cargar la batería. También se pueden usar cargadores de baterías separados para realizar esta función.

Generalmente se incluye un switch de transferencia con la UPS rotatoria. Estos switches pueden ser de estado sólido o estrictamente mecánicos. El switch transfiere la carga a la normal para mantenimiento de la UPS o durante una falla dentro de la propia UPS. Con M - G's síncronos, la transferencia se puede hacer en cualquier momento debido al inherente cercano desplazamiento de las fases de la salida con las de la fuente normal. La cantidad de distorsión de corriente introducida por la UPS rotatoria es función del diseño. Las unidades sin rectificador de estado sólido no introducen armónicas en la fuente y pueden realmente reducir aquellas que ya están ahí debido a otras cargas no lineales que comparten el mismo servicio de entrada. Las unidades con rectificadores que solo se usan para cargar las baterías introducirán generalmente una importante

distorsión en la corriente durante la recarga de la batería y sólo una pequeña cantidad después de que las baterías han sido cargadas. Las UPS's rotatorias que tienen un rectificador alimentando un motor de CD introducirán una distorsión en la corriente con base al tipo de rectificador y cantidad de filtraje proporcionado. Estas unidades son equivalentes a las UPS's estáticas que utilizan secciones de rectificación similares.

**4.9 Procedimiento de cálculo de una planta de emergencia.**

A continuación se dará el método de cálculo para una planta de emergencia, tomando en cuenta el peor de los casos , cuando la planta arranca con todos los motores parados.

**A) Compilación de datos.**

Antes de efectuar los cálculos necesarios, se debe resumir toda la carga eléctrica por conectarse al sistema de la planta generadora, en un formato según la tabla 1

Datos de los motores según orden de arranque				Carga a rotor bloqueado de los motores		Carga de marcha de los motores		Carga Acumulada mas carga entrante a rotor bloqueado de los motores		Carga acumulada (carga de motores en marcha) mas otras cargas	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C P	Letra de código	No De fases	Tipo de tensión de arranque	KVA	KW	KVA	KW	KVA Max.	KW Max.	KVA Const.	KW Const

**Tabla 1 Formato de compilación**

Columna 1: Es la capacidad del motor expresada en C.P

Columna 2: Es la letra de código del motor, se toma directamente de la placa del motor, con la letra de código y consultando la tabla 2 se obtienen los KVA a rotor bloqueado por cada C.P del motor, para efectos de proyecto se promedian los valores.

Letra de código	KVA por CP a rotor bloqueado
A	0,00 - 3,14
B	3,15 - 3,54
C	3,55 - 3,99
D	4,00 - 4,49
E	4,50 - 4,99
F	5,00 - 5,59
G	5,60 - 6,29
H	6,30 - 7,09
J	7,10 - 7,99
K	8,00 - 8,99
L	9,00 - 9,99
M	10,00 - 11,19
N	11,20 - 12,49
P	12,50 - 13,99
R	14,00 - 15,99
S	16,00 - 17,99
T	18,00 - 19,99
U	20,00 - 22,39
V	22,40 - y mas

Tabla 2 . Letras de Código Para KVA a Rotor Bloqueado por CP

Columna 3: Número de fases, se recomienda que a partir de  $\frac{3}{4}$  CP se proyecten motores trifásicos.



Columna 4. Tipo de tensión de arranque. Para la compilación de datos en esta columna, se indica si el motor arranca a tensión plena (TC) o a tensión reducida (TR), en la tabla 3 se obtiene el porcentaje que se requiere en KVA para las diferentes derivaciones de arranque a tensión reducida.

Derivación a TR	Tensión a Motor	Corriente a Motor	KVA Requeridos	Salida Flecha
100%	100%	100%	100%	100%
80%	80%	80%	64%	64%
65%	65%	65%	42,3%	42,3%
50%	50%	50%	25%	25%

**Tabla 3 Porcentaje de KVA demandados para las diferentes derivaciones de arranque a tensión reducida (TR).**

Columna 5. son los KVA a rotor bloqueado y de aceleración.

- 1) El valor correspondiente de la letra de código de la tabla 2 multiplicado por los CP de cada motor (para efectos de proyecto se usa el valor medio) para obtener los KVA a rotor bloqueado que persisten hasta que el motor alcanza un 66% de su valor nominal. Por esta razón en los cálculos siguientes, los KVA durante la aceleración, son tomados iguales que los KVA a rotor bloqueado.
- 2) Este valor debe ser aproximadamente igual a los KVA a rotor bloqueado presentados en la tabla 4 (al final del capítulo) correspondientes a rangos iguales de tensión para motores y generador, en este caso 208 con 208 volts respectivamente, siendo válido también para casos de 220 con 220 volts.

Columna 6: Son los KW del motor a rotor bloqueado y de aceleración , durante este periodo los KW son aproximadamente el 50% de los KVA de aceleración, o sea 50% de los KVA a rotor bloqueado.

Columna 7: Son los KVA de marcha del motor. Cuando el motor ha alcanzado el 66% de su velocidad nominal, los KVA de aceleración disminuyen a los KVA de marcha que son determinados por la carga nominal del motor, estos se pueden identificar en las tablas 4, 5 y 6 (todas estas tablas se encuentran al final del capítulo), pues los KVA y los KW en marcha son siempre los mismos, invariablemente a la tensión que estén conectados los motores.

Columna 8: Son los KW de marcha del motor, en esta columna, como se menciona en el párrafo anterior, los KW son fáciles de identificar en las mismas cuatro tablas, sin pasar en alto que los KW demandados en marcha nominal son aproximadamente un 74% de los KVA en marcha nominal para motores pequeños y un 90% para motores grandes.

### **B) Procedimiento para el llenado del formato de compilación**

#### **Paso 1**

En el primer renglón debajo de "carga demandada" (columnas 11 y 12) de la tabla 1, indicar toda la carga que debe estar en el circuito antes que los motores sean arrancados; generalmente es la carga de alumbrado y contactos.

#### **Paso 2**

En las columnas 1, 2, 3 y 4 se relacionan los CP de cada motor, la letra de código, número de fases y tipo de tensión de arranque (usar un renglón para cada motor). Indicar los motores en las secuencias que deben ser arrancados, es recomendable empezar primero con el motor de mayor capacidad.

#### **Paso 3**

Considerar la tensión de operación del generador y de los motores. En las tablas 4, 5 y 6 se muestran los KVA corregidos por las diferentes combinaciones de tensiones que se presentan.

#### **Paso 4**

De la tabla 2 se obtienen los KVA a rotor bloqueado bajo la correspondiente letra de código para cada motor (usar valor promedio), multiplicándolo por la

potencia de éste se obtienen los KVA demandados a rotor bloqueado para cada motor. Anotar este valor en la columna 5

#### Paso 5

En la columna 6 se anotan los KW a rotor bloqueado, siendo éstos el 50% de los KVA a rotor bloqueado anotados en la columna 5.

#### Paso 6

Obtener de las tablas 4, 5 y 6 los KVA y los KW de marcha para cada motor y anotarlos en las columnas 7 y 8 respectivamente.

#### Paso 7

Sumar los KVA de la columna 7 a los de la columna 11 del renglón anterior y anotar este total en el siguiente renglón de la misma columna 11.

#### Paso 8

Sumar los KW de la columna 8 a los de la columna 12 del renglón anterior y anotar este total en el siguiente renglón de la misma columna 12.

#### Paso 9

Cálculo de los KVA de demanda acumulada mas la demanda de arranque. Se empieza con el primer motor, sumar los KVA de la columna 5 a los de la columna 11 del renglón anterior, anotar este total en la columna 9 y se hace lo mismo para cada motor.

#### Paso 10

Cálculo de los KW de demanda acumulada mas la demanda de arranque. Se empieza con el primer motor, sumar los KW de la columna 6 a los de la columna 12 del renglón anterior, anotar este total en la columna 10 y se hace lo mismo para cada motor.

## Paso 11

Repetir los pasos del 7 al 10 para cada motor en turno hasta completar los cálculos.

## Paso 12

- a) Subrayar los número mayores de las columnas 9, 10, 11 y 12, valores que determinan la carga máxima y continua. La planta eléctrica seleccionada debe ser capaz de abastecer dicha carga.
- b) Los totales progresivos de la carga acumulada y las cargas entrantes de los motores a rotor bloqueado deben mostrar los KVA y los KV máximos demandados durante el tiempo que cada motor esté arrancando y acelerando (columnas 9 y 10)
- c) Los totales progresivos de la carga acumulada y la carga de demanda de los motores en marcha, deben mostrar los KVA y los KW continuos demandados después de que todos los motores hayan arrancado (columnas 11 y 12)

### 4.9.1 Ejemplo de compilación de datos y cálculo de la capacidad de la planta de emergencia.

Se supone una instalación con una combinación típica de carga de alumbrado y motores, considerando una carga total de alumbrado y contactos de 625 KVA con un factor de potencia del 85%. Los motores deben ser arrancados a tensión plena y a tensión reducida en el orden que se muestra en el formato. En el ejemplo los KVA requeridos para el arranque a tensión reducida (TR) de los motores indicados, se consideran con un porcentaje de 42.3% de la tabla 3. Se considera una tensión de 220 volts del generador y de 220 volts de tensión del motor impulsor.

A continuación se muestra la tabla de compilación de datos y parámetros para la determinación de la capacidad de la planta generadora de emergencia

Se empieza anotando la carga de alumbrados y contactos en la columna 11 que son 625 KVA y en la columna 12 los KW, o sea los 625 KVA por el factor de potencia de 0.85 lo cual es igual a 531.25 y después se siguen los pasos antes mencionados.

Datos de los motores según orden de arranque				Carga a rotor bloqueado de los motores		Carga de marcha de los motores		Carga Acumulada mas carga entrante a rotor bloqueado de los motores		Carga acumulada (carga de motores en marcha) mas otras cargas	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C.P	Letra de código	No De fases	Tipo de tensión de arranque	KVA	KW	KVA	KW	KVA Max.	KW Max	KVA Const.	KW Const.
										<b>625</b>	<b>531.25</b>
5	H	3	TC	33.50	16.75	5.7	4.8	658.30	548.00	630.70	536.00
5	H	3	TC	33.50	16.75	5.7	4.8	664.20	552.00	636.40	540.80
7.5	H	3	TC	50.25	25.08	8.35	7.1	684.73	566.03	644.75	547.90
10	G	3	TC	59.50	29.75	10.3	8.7	704.25	577.70	655.05	556.60
10	G	3	TC	59.50	29.75	10.3	8.7	714.55	586.4	665.35	566.60
15	G	3	TC	85.25	44.63	15.2	13.2	754.60	609.98	680.55	578.53
15	G	3	TC	89.25	44.63	15.2	13.2	768.80	623.18	695.75	591.75
30	F	3	TR	67.18	33.59	29.6	26.0	762.93	625.34	725.33	617.70
50	F	3	TR	112.00	56.00	47.5	41.5	837.35	673.75	772.85	659.20
20	F	3	TR	44.78	22.39	19.8	17.1	817.63	681.64	792.65	676.30
20	F	3	TR	44.78	22.39	19.8	17.1	837.43	698.74	812.45	693.40
15	G	3	TC	89.25	44.63	15.2	13.2	<b>901.70</b>	<b>738.08</b>	<b>827.62</b>	<b>706.60</b>

De acuerdo a los resultados obtenidos, el equipo generador debe de cumplir con las siguientes demandas:

**827 KVA continuos**

**901.7 KVA máximos para arranque de motores**

**706.65 KW continuos**

**738.08 KW máximos requeridos del motor impulsor del generador**

	MARCHA		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	U	V
CP	KVA	KW																			
1	1.33	0.99	2.88	2.3	3.4	3.8	4.2	4.7	5.3	5.9	6.7	7.6	8.5	9.5	10.6	11.8	13	15	17	19	21
1.5	1.9	1.45	4	4.5	5	5.6	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	25	28	31
2	2.47	2	5	5.95	6.7	7.5	8.5	9.5	10.6	12	13	15	17	19	21	24	22	30	34	38	42
3	3.42	2.8	8	9	10	11	12.7	14	15.9	18	20	23	25	28	32	36	40	45	51	57	63
5	5.7	4.8	13.4	14.9	16.7	19	21	23	26	30	34	38	42	47	53	59	67	75	85	85	105
7.5	8.36	7.1	20	22	25	28	31.8	35	40	45	51	57	65	71	79	89	100	114	127	142	158
10	10.3	8.7	26.8	22.9	33.5	38	42	47	53	60	67	76	85	94	106	118	134	152	167	189	210
15	15.2	13.2	40	44	50	56	63	70	79	89	101	113	122	142	158	177	201	227	254	284	316
20	19.8	17.1	53.6	59.8	67	75	84	94	106	119	134	151	168	189	211	236	268	303	339	379	421
25	24.4	21	67	74	83	94	106	118	132	149	168	189	221	236	264	298	335	379	424	473	527
30	29.6	26	80	89	100	113	127	141	159	179	202	227	254	284	317	355	402	455	509	568	632
40	38.6	36	107	119	134	152	168	189	212	239	269	304	340	380	424	475	538	609	680	758	844
50	47.5	41.5	134	149	167	189	212	236	265	299	337	379	424	473	529	592	670	759	849	947	1054
60	57	51	160	179	201	227	251	283	319	358	404	455	509	568	635	710	804	911	1018	1137	1265
75	70	62	201	224	251	286	318	354	390	449	506	570	637	711	794	888	1005	1140	1274	1421	1582
100	95.5	82.5	262	299	335	379	424	473	531	598	674	759	849	947	1059	1184	1341	1519	1696	1895	2109
125	118	106	335	373	418	475	530	580	665	749	843	950	1062	1184	1324	1480	1675	1900	2123	2399	2630
150	137	123	402	448	502	589	636	710	797	888	1012	1138	1273	1421	1588	1776	2011	2279	2547	2842	3183
200	182.5	164	535	588	670	758	848	946	1063	1197	1349	1519	1696	1895	2118	2386	2682	3039	3396	3790	4218

**Tabla 4. KVA requeridos para motores de inducción**  
**Carga para arranque y aceleración a tensión plena para motores de código A hasta V**  
**208 Volts de tensión de generador con 220 Volts de tensión de motor**  
**220 Volts de tensión de generador con 220 Volts de tensión de motor**

	MARCHA		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	U	V
CP	KVA	KW																			
1	1.33	0.99	3.3	3.8	4	4.6	5.2	5.8	6.5	7.3	8	9	10.4	11.5	13	14	16	18	20.7	23	26
1.5	1.9	1.45	4.9	5.5	6	6.9	7.7	8.6	9.7	10.9	12	14	15	17.3	19	22	24	28	31	34	38
2	2.47	2	6.5	7.3	8.2	9.3	10.3	11.5	13	14.6	16.4	18.5	21	23	26	29	33	37	41	46	51
3	3.42	2.8	9.5	10.9	12	13.9	15.5	17	19.4	21.9	24.6	27.7	31	34.6	38	43	49	55	62	69	71
5	5.7	4.8	16.4	18	20.4	23	23.8	26.8	32.4	33.6	41	46	52	57.7	64	72	82	92	103	115	128
7.5	8.36	7.1	24.5	27.5	30.5	34.5	39	43.5	48.5	55	61.5	69.5	77	86	97	108	122	138	155	172	192
10	10.3	8.7	33	36	41	46	52	58	65	73	82	93	103	116	129	144	164	185	207	230	257
15	15.2	13.2	49	55	61	69	78	87	97	110	123	139	155	173	194	217	245	277	311	345	385
20	19.8	17.1	65	73	82	93	104	116	130	146	165	185	207	231	258	289	327	370	414	460	514
25	24.4	21	82	92	102	116	130	145	162	183	205	232	250	289	323	361	409	462	518	575	642
30	29.6	26	98	110	123	139	155	173	194	219	247	278	310	346	387	433	491	556	621	640	771
40	38.6	36	130	145	164	186	208	232	260	292	330	370	414	462	516	578	653	740	828	920	1029
50	47.5	41.5	154	183	204	232	259	289	324	365	411	462	517	577	645	722	817	925	1035	1150	1285
60	57	51	168	220	246	275	310	348	388	438	494	556	620	692	774	856	962	1110	1242	1380	1645
75	70	62	193	275	305	345	390	435	483	500	615	693	775	885	970	1085	1225	1385	1555	1725	1975
100	95.5	82.5	327	365	400	463	518	578	648	730	823	925	1035	1163	1291	1444	1653	1853	2071	2300	2575
125	118	106	410	460	510	620	660	725	810	913	1026	1160	1290	1445	1645	1805	2048	2310	2590	2875	3210
150	137	123	491	548	613	695	776	866	972	1098	1234	1389	1550	1730	1936	2166	2460	2770	3105	3450	3850
200	182.5	164	664	730	817	825	1035	1155	1293	1460	1615	1853	2070	2310	2582	2888	3270	3700	4142	4600	5144

**Tabla 5. KVA requeridos para motores de inducción  
Carga para arranque y aceleración a tensión plena para motores de código A hasta V  
120 Volts de tensión de generador con 220 Volts de tensión de motor**



	MARCHA	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	U	V	
CP	KVA	KW																			
1	1.33	0.99	3.57	3.98	4.45	5	5.86	6.3	7	7.97	8.98	10	11.3	12.6	14	15.8	17.8	20	23	25	28
1 1/2	1.9	1.45	5.35	5.97	6.7	7.6	8	9	10.5	11.9	13.5	15	16.9	18.9	21	24	27	30	34	38.8	42
2	2.47	2	7	7.96	8.9	10	11.3	12.6	14.1	15.9	18	20	23	25	28	32	36	40	45	50	58
3	3.42	2.8	10.7	11.9	13.4	15	16.9	18.9	21	23.9	26.9	30	33.9	37.8	42	47	54	61	68	75	84
5	5.7	4.8	17.8	19.9	22.3	25	28	31.5	35	39.8	44.9	50	56	63	70	79	89	101	113	126	140
7.5	8.36	7.1	26.7	29.8	33	37.9	42.3	47	52.7	59.7	67	76.8	84.8	94	106	118	134	152	169	189	210
10	10.3	8.7	35.7	39.8	44.6	50.5	56.5	63	70.8	79.7	89.8	101	113	126	141	158	178.5	202	226	252	280
15	15.2	13.2	53.5	59.7	67	75.7	84	94.5	105	119	135	151	170	189	211	236	268	303	339	378	421
20	19.8	17.1	71.4	79.6	89.2	101	113	126	141.6	159.4	179	202	226	252	282	315.4	357	404	452	464	561
25	24.4	21	89	100	112	127	141	158	177	199	225	253	283	315	353	394	448	506	565	650	702
30	29.6	26	107	119	134	152	169	189	211	239	289	303	339	378	423	472	530	606	678	730	840
40	38.6	36	142.8	150	178	202	226	252	283	318	359	404	452	504	564	630	714	809	904	1005	1120
50	47.5	41.5	178	199	223	252	282	315	352	396	449	506	565	630	705	788	802	1011	1130	1260	1404
60	57	51	214	238	268	304	338	378	422	478	538	606	678	756	846	944	1072	1212	1356	1512	1852
75	70	62	267	296	335	379	423	473	528	597	674	758	848	945	1058	1180	1338	1515	1695	1890	2105
100	95.5	82.5	357	398	445	505	565	630	708	797	898	1010	1130	1260	1410	1577	1785	2023	2281	2520	2808
125	118	106	445	500	560	635	705	790	885	995	1125	1265	1415	1575	1765	1970	2230	2530	2825	3150	3510
150	137	123	535	587	669	758	845	955	1055	1194	1347	1515	1695	1890	2115	2360	2675	3030	3390	3781	4209
200	182.5	164	714	795	892	1010	1130	1260	1416	1594	1796	2020	2260	2500	2520	3154	3570	4046	4522	5040	516

**Tabla 6. KVA requeridos para motores de inducción**  
**Carga para arranque y aceleración a tensión plena para motores de código A hasta V**  
**240 Volts de tensión de generador con 220 Volts de tensión de motor**  
**480 Volts de tensión de generador con 440 Volts de tensión de motor**  
**600 Volts de tensión de generador con 550 Volts de tensión de motor**

## **CAPÍTULO 5**

### **PLANEACIÓN PARA EL CUIDADO DEL PACIENTE**

#### **5.1 Introducción.**

La potencia eléctrica es de creciente importancia en la planificación y diseño de hospitales e instalaciones de salud pública. Por ello es importante que el ingeniero eléctrico que diseñe un hospital ubique los dispositivos correctamente, esta acción debe tener presente el cuidado del paciente, esto quiere decir que la disposición de energía puede dictar la comodidad del paciente y su salud, pero también puede desencadenar situaciones de peligro.

Los pacientes en un hospital son enfermos o incapacitados confiados a los cuidados de otros, y como tal, son frecuentemente incapaces de tomar acciones de índole física. Estos pacientes pueden entrar en contacto con equipos eléctricos rutinariamente, y esto puede tener lugar en ambientes mojados o en la presencia de vapores combustibles tales como Fluoreno, ciclopropano, éter divinyl, cloruro de etileno, éter etileno y etileno, lo cuales pueden formar mezclas inflamables o explosivas con el aire, oxígeno o gases rebajados como el óxido nitroso.

#### **5.2 Cableado de Dispositivos**

##### **5.2.1 General.**

En general, los hospitales tienen dos de fuentes de potencia disponibles, la normal y la de emergencia. Es vital que el cableado de los dispositivos de la fuente de emergencia sea fácilmente identificable. Esto reduce la pérdida de tiempo, localizando receptáculos de potencia de gran importancia para equipo de soporte cuando los segundos son críticos. Hay dos maneras de identificar dispositivos:

- Por un color distintivo, como el color rojo.

- **Rotulando.** Marcando con un color distintivo es más fácil y menos costoso que rotulando, pero, puede impedir la confusión en un momento dado.

Los dispositivos en una instalación hospitalaria deben ser montados para el fácil uso y acceso que el personal y pacientes puedan hacer de ellos. Un gran número de los pacientes del hospital pasa mucho tiempo en silla de ruedas, la atención especial se da a personas catalogadas como "incapacitadas". Es una gran ventaja para los pacientes y el personal, si todo los receptáculos se montan 610 mm (24") sobre el piso. Montando los receptáculos a esta altura se reducirá el agotamiento que se pueda ocasionar a los miembros de personal cuando conectan y desconectan de manera repetida diversos equipos.

### **5.2.2 Receptáculos grado Hospital.**

Los receptáculos "Grado Hospital" cumplen con pruebas adicionales de resistencia mecánica, así como con características eléctricas superiores. Los receptáculos "Grado Hospital" son requeridos en la actualidad en áreas de cuidado crítico por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999 sobre instalaciones eléctricas y tiene que ser obligatorio en camas de pacientes del área de cuidado general según lo implementado en el artículo 517-18(b).

Cuando se permite el uso de receptáculos de 15A ó 20A, En este caso es muy deseable el uso únicamente de receptáculos de 20A en una instalación al cuidado de la salud. Esto da una gran flexibilidad para el uso de equipos y simplifica el trabajo de abastecer y almacenar receptáculos de remplazo. Adicionalmente, es de notar que donde se tienen únicamente u receptáculo sencillo se debe usar un circuito de 20A.

### **5.2.3 Receptáculo de tierra aislada "Grado Hospital".**

Estos receptáculos se usan donde la separación entre la tierra del dispositivo conectado y la tierra del edificio deba tener un valor que proteja equipo sensible de mal funcionamiento o corrientes transitorias (ruido eléctrico) sobre el

cable de tierra. Esto se presenta normalmente cuando se usan equipos electrónicos digitales, incluyendo instrumentación basada en microprocesadores, cajeros, periféricos de computadora y equipo de procesamiento digital. La norma en sus artículos 517-16 y 517-1 (c) requiere una planeación cuidadosa de los sistemas de aterrizamiento aislado en lugares de pacientes, asegurando bajas impedancias de tierra o sistemas de aterrizamiento aislado efectivos.

#### **5.2.4 Receptáculos Resistencia - Seguridad "Grado Hospital".**

Los receptáculos Resistencia - Seguridad anticipa que se toque un contacto energizado en el receptáculo a menos que se conecte un enchufe. Estos receptáculos deben usarse en ubicaciones pediátricas y psiquiátricas, exclusivamente que cumplan con la norma 517-1(c) (únicamente cuando el fabricante indica específicamente que pueden ser situados en lugares de tipo psiquiátrico). Los receptáculos tipo Resistencia –Seguridad no son recomendados en general donde se presentan equipos para el soporte de vida. Aunque no es un requerimiento debe considerarse el uso de tornillos de montaje tipo Resistencia - Seguridad para interruptores y receptáculos sobre muros en ubicaciones psiquiátricas y pediátricas.

Se debe anotar que ciertas habitaciones de aislamiento psiquiátrico no debe contar con ningún tipo de receptáculo. Los apagadores de iluminación del interior de las habitaciones de aislamiento, deben colocarse en el exterior.

#### **5.2.5 Receptáculos - Interruptores de falla a tierra y Circuito Interruptor de Falla a Tierra "Grado Hospital".**

El Circuito de Interrupción de Falla a Tierra (CIFT) puede estar respaldado por circuitos de bloqueo o receptáculos CIFT. La protección CIFT que norma NEC es para lugares, donde la interrupción de potencia es aceptable. Si la interrupción de potencia no es aceptable(lugares donde existe equipo para el soporte de la vida), un sistema de potencia aislado debe utilizarse.

Los receptáculos CIFT ofrece la ventaja de indicadores locales y "reset", pero se debe evaluar la pertinencia de utilizar receptáculos o interruptores CIFT.

#### **5.2.6 Receptáculos en áreas de Anestesia.**

Los receptáculos para el uso en instalaciones de anestesia se fabrican para dispositivos en áreas tanto peligrosas como no peligrosas. Esto permite su uso en todos los lugares de anestesia.

Los receptáculos en zonas peligrosas tiene instalados un "interlock" o seguro interno. Los enchufes en zonas peligrosas cierran ese seguro, en áreas no peligrosas no es necesario.

La norma permite el uso de receptáculos "Grado Hospital" en locaciones de anestesia que se catalogan como no peligrosas. Dependiendo de las corrientes manejadas es posible utilizar receptáculos de más bajo costo en instalaciones de anestesia. Dependiendo de los valores de corriente que se puedan presentar, se debe tener especial cuidado en revisar las características de los receptáculos antes de especificarlos.

#### **5.2.7 Enchufes y Receptáculos para Radiografía Móvil.**

Los enchufes y receptáculos de radiografía no se deberán intercambiar con cualquier otro enchufe de algún otro equipo. Esto previene cargas de alto impulso sobre los circuitos y los alimentadores que no fueron diseñados para tal servicio. Los dispositivos de radiografía abarcan entre 50A y 60A, dependiendo del modelo. Los enchufes de 50A pueden ser conectados a receptáculos de 50A o 60A, mientras que un enchufe de 60, puede ser conectado únicamente a un receptáculo de 60A. Cuando se ubican estos receptáculos, la fuerza requerida para insertar el enchufe es considerable. Estos receptáculos tienen un resorte de expulsión característica que garantiza que el enchufe se insertará totalmente. A causa de la presión de inserción requerida, los enchufes deberán ser montados a 735 mm (30") mínimo sobre el nivel del piso.

### **5.2.8 Placas de Pared.**

Placas de pared deberán ser de construcción uso rudo, las de acero son los más durables pero las de plástico dan mayor colorido. Las placas de pared de plástico deberán ser fabricadas de plástico de alto de impacto, las de acero deben ser del tipo 304 o mayor o de aluminio anodizado (galvanizado). Todas las placas deben estar bajo un frecuente programa de limpieza, con químicos de limpieza tipo hospital. Los tornillos tipo "Resistencia - Seguridad" deben utilizarse con apagadores y receptáculos en las placas de pared en instalaciones pediátricas y psiquiátricas.

Además, estas deberán ser apropiadas para el uso en instalaciones de salud. Cuando se haga uso de placas rígidas de metal, se deberá tener cuidado en examinar sus partes, debido a la posibilidad de que puedan estorbar y/o rasgaran ropas, ocasionando adicionalmente cortadas en brazos, dedos y piernas.

### **5.2.9 Unidades de Cabecera.**

El uso de unidades de cuidado de pacientes prefabricadas (Unidades de Cabecera) es ahora tan frecuente que es ya casi un estándar en el caso de renovaciones, en actualización de proyectos, así como también en nuevos proyectos de construcción. Las unidades de cabecera pueden y se usan en todas las áreas de cuidado de pacientes del hospital. Se debe indicar que el término "Unidad de Cabecera" o "Headwall" es general y aplica a muchas unidades que ni siquiera son remotamente parecidas.

Las Unidades de Cabecera normalmente contiene Sistemas de Distribución de Potencia Eléctrica. Mientras que algunas unidades contienen algún equipo mecánico y, pudiera considerarse estructuralmente, de ellos se consideran más a los dispositivos eléctricos que cualquier otra cosa y, consiguientemente, son especificados normalmente por el ingeniero eléctrico y no por el personal médico.

### **5.2.10 Consolas de Pacientes.**

Una consola de paciente es un conjunto de salidas y equipos. La consola puede ser parte de una unidad de cabecera o puede ser autónoma. Provee un sistema de montaje alineado y rígido el cual permite salidas variadas dentro de una unidad homogénea. Ésta puede proveer también espacios para expansiones futuras. Cuando la consola es autónoma, las futuras adiciones de salidas requerirán algún cortes y remiendos. Este dispositivo puede ser difícil de montar en la consola de cabecera (mediante clavos de acero, tornillos, etc.). Sin embargo, todas las salidas deberán tener un aspecto uniforme. Estas unidades no son diseñadas para fácil flexibilidad futura.

### **5.3 Áreas Típicas de cuidado de pacientes.**

Todos los tipos de salidas deben estar instaladas para algún uso. Puede sonar simple pero los receptáculos se instalan todavía demasiado cerca del piso y frecuentemente detrás de las camas y los equipos. En áreas de cuidado de pacientes, la capacidad para obtener la función deseada rápidamente (respiración, nivel cardíaco, etc.) puede salvar una vida o impedir un daño permanente al paciente. Es por esto que la elevación de equipos y las salidas deben verificarse. Las salidas médicas de gas nunca deberán ser montadas directamente sobre las salidas eléctricas, puesto que los reguladores pueden obstruir los contactos. Los receptáculos deben montarse entre 588 mm (24 ") y 1176 mm (48") sobre el piso, para hacerlos accesibles al los visitantes o al paciente en una silla de ruedas y también para disminuir el agotamiento sobre los miembros de personal, quienes constantemente deben conectar y desconectar equipo. Cualquier área que usa dispositivos de apoyo de vida deberá tener un sistema alternativo de potencia disponible que puede alcanzarse con una extensión de 15 m (51 ft). Deberá darse al área entera una fuente de potencia dual, teniendo una fuente de potencia alterna(normal o de emergencia) en cada cama. Las salidas deben ubicarse de tal forma que las extensiones sean conectadas rápidamente por los miembros del personal

### 5.3.1 Cuartos de Pacientes

1) **Cuartos de Cuidado Ligero.** Los pacientes en estas áreas están normalmente deambulando, hospitalizados para pruebas de diagnóstico, fisioterapia, o para observación de pacientes precirugía o postoperación. Ellos podrían estar internados para pruebas de ultrasonido, termografía o exámenes radiológicos. Esta clase de paciente requiere de pocos cuidados de enfermería. Normalmente, cuando la edad de los pacientes se incrementa, el cuidado requerido para estos podría pasar de cuidado liviano a cuidado crítico. En algunas instalaciones estos espacios son denominados como hospicio o cuidado a largo plazo.

- **Salidas Eléctricas.** *Una salida eléctrica ubicada sobre la consola o consola de columna debe ser instalada cuando se tiene lo siguiente:*

- ✓ Cama Eléctrica.
- ✓ Equipo de succión portátil.
- ✓ Conjunto de Televisión.
- ✓ Electrocardiograma.
- ✓ Equipo para terapia de respiración .

- **Comunicaciones.** Un sistema debe estar disponible a cada lado de las camas para ambos pacientes y listo para pedir ayuda.

◦

2) **Ubicaciones de las camas de cuidado crítico.** El cuidado crítico representa del 80 a 85% de los pacientes internados en un hospital. Estos pacientes comúnmente están al cuidado de máquinas de algún tipo y requieren más del cuidado de enfermeras que el paciente de cuidado ligero. Ellos pueden tener desordenes estomacales o requieren tratamientos de oxígeno o bolsas de succión. Los pacientes de postoperación, las víctimas de accidentes y las personas con desordenes médicos, pueden encontrarse comúnmente en camas de cuidado crítico. La gran mayoría de los hospitales están siendo construidos para ser



hospitales de cuidado crítico, contando con mas procedimientos cada año, y dejando a las clínicas como una base externa.

- *Salidas eléctrica.* Un típico paciente de cuidado critico puede ser un paciente de operación quirúrgica, clasificado como estable. Los requerimientos eléctricos de ese paciente, incluyen salidas para lo siguiente:
  - ✓ Bomba de Pecho.
  - ✓ Succionado Portátil
  - ✓ Colcha Caliente (eléctrica)
  - ✓ Maquina IVAC (usada para controlar goteo de soluciones intravenosas).
  - ✓ Cama eléctrica
  - ✓ Para uso del paciente u otro succionador portátil (si el paciente utiliza dos drenadores), esta salida puede utilizarse también para equipo de monitoreo o equipo de pruebas.
  - ✓ Conjunto de televisión.
  - ✓ Equipo para terapia de respiración.

Dependiendo de la frecuencia del cuidado ofrecido en el área, la potencia de emergencia se recomienda para por lo menos una salida doble. Estos deberían estar en el cabecera. Se recomienda instalar seis salidas (tres receptáculos dobles)

- *Comunicaciones.* Se debe instalar un sistema de comunicación en cada cama disponible a ambos paciente conectado para pedir ayuda.

### 5.3.2 Áreas de Cuidado Coronario.

Los pacientes de cuidado coronario varían respecto a la susceptibilidad eléctrica, destacando en la lista de los pacientes de cuidado crítico. Depende del

tamaño y de los procedimientos operativos del hospital, los pacientes no críticos pueden transferirse a una sala de cuidado general para luego ir a cuidado crítico.

- *Salidas Eléctricas* . La norma permite el uso de una sola fase en los circuitos de potencia para esta área.

Se deben instalar ocho salidas eléctricas o 4 salidas dobles, para pacientes cardíacos pueden usarse muchas partes de equipo eléctrico al mismo tiempo, incluyendo:

- ✓ Calentador de agua en respirador
- ✓ Bomba para pecho
- ✓ Succionador para tubo gástrico nasal
- ✓ Cama eléctrica (sí el paciente es transferido de unidad, no se le cambia de cama hasta que su condición es estable)
- ✓ Máquina IVAC (usada para controlar soluciones intravenosas).
- ✓ Equipo de terapia de respiración.

La iluminación sobre la cama debe tener dos niveles de iluminación alto y bajo.

Cada cama tendrá por lo menos una salida. La potencia de emergencia se suministra para el uso de un respirador en cuidado coronario. Los interruptores de circuito deben estar cerca de la cama y claramente marcados. Consideración, se debe prever un lugar para la colocación del tablero de interruptores en el cuarto.

- *Comunicaciones*. Un sistema de comunicación debe estar disponible en cada cama para ambos paciente y listo para enviar señales de ayuda. En las camas de cuidado coronario, se tiene una consideración especial, se debe dar la oportunidad de aumentar el sensado cardíaco. También debe existir una alarma de paro cardíaco y un cronometro que mida el tiempo transcurrido desde que comienza el paro cardíaco.

### **5.3.3 Áreas de cuidado intensivo.**

La cama de cuidado intensivo puede usarse para:

- ✓ Pacientes en condición de Postoperación.
- ✓ Ventilación artificial de pacientes.
- ✓ Equipo de electrochoques.
- ✓ Verificación cardíaca de pacientes intervenidos quirúrgicamente.
- ✓ hemodiálisis
- ✓ Corrección bioquímica de desordenes metabólicos severos

Las instalaciones para uso de equipos de Radiografía portátil siempre deben estar previstos

- *Salidas Eléctricas.* La norma permite el uso de una sola fase en los circuitos de potencia en esta área.

Por lo menos ocho salidas o cuatro salidas dobles deben proveerse, puesto que algunos pacientes pueden usar mucho equipo eléctrico al mismo tiempo

La iluminación sobre la cama debe tener dos niveles de iluminación alto y bajo.

Cada cama tendrá por lo menos una salida. La potencia de emergencia se suministra para el uso de un respirador. Los interruptores de circuito deben estar cerca de la cama y claramente marcados. Consideración, se debe prever un lugar para la colocación del tablero de interruptores en el cuarto.

#### **5.3.4 Departamento de Emergencia.**

Un departamento de emergencia puede consistir de traumatología, tratamiento, y operación menor y cuartos de exámenes, donde varían los procedimientos médicos que tiene lugar. Estos procedimientos oscilan desde tratar víctimas de accidente, entrega de bebés hasta pacientes de consulta externa fuera de horas. Una sala de operación menor debe funcionar como una sala de cirugía pequeña La anestesia general no se usa normalmente en la sala de emergencia. En algunos hospitales, los bebés se entregan en un cuarto de Gineco - Obstetricia GIN/OBS sobre una base de emergencia. Las salas en cualquier departamento de

emergencia debe ser analizado por las autoridades del hospital con respecto a su probable uso. El paciente que se mantiene en las salas deberá tratarse en camas de cuidado crítico para verificar sus avances. Típicamente, las diversas salas de departamento de emergencia deben diseñarse como el mismo tipo de sala que se encuentra en otra parte del hospital (por ejemplo una sala de cuidado cardíaco). Algunos departamentos de emergencia tienen salas de cirugía mientras otros tienen una menor filosofía del tratamiento intensivo.

### **5.3.5 Sala Quirúrgica.**

Hay muchos tipos de procedimientos quirúrgicos, cada uno con su propio conjunto de criterios. El punto más importante en una sala de cirugía es como funcionará la sala. La descripción de función, los procedimientos típicos y patrones de tráfico pueden obtenerse del proyectista del o los hospitales, quienes planificaron el departamento. Se debe evitar tener problemas de tráfico en la sala de cirugía.

- *Gases Médicos.* Los gases médicos necesarios son determinados por los procedimientos médicos que se desempeñan y el personal quirúrgico que los lleva a cabo.
- *Salidas eléctricas.* Se requiere potencia eléctrica de potencia aislada. Debido a las grandes cantidades de equipo usado en la cirugía, se instalarán 16 salidas eléctricas (8 salidas dobles). Estas salidas deben ubicarse en todos los lugares del cuarto y montado en la columna de servicios. Se deben hacer provisiones para equipo portátil de radiología y/o máquinas de fluoroscopia, generalmente requeridas; los requerimientos de estos equipos pueden variar de forma importante. Debido a lo anterior se debe planear sobre los equipos existentes y sobre los que pudieran instalarse en el futuro.

### 5.3.6 Pediatría.

El área de pediatría se usa para tratar niños. Es importante no enviar a niños a otras áreas. El área de pediatría debe por lo menos contar con el equipo de las salas de cuidado general que son:

1) **Sala de Pacientes de Pediatría.** Estas salas deben diseñarse de forma parecida a las salas de cuidado general, con algunos equipos parecidos a los que hay en las salas de cuidado crítico y de cuidado intensivo.

- *Gases Médicos.* Las salidas de gas médico se administraran de la siguiente manera, una salida de vacío y una salida de oxígeno entre cada dos camas.
- *Salidas Eléctricas.* Se recomienda cuatro salidas eléctricas o dos salidas dobles por cama. Todas las salidas deben ser de seguridad y con tornillos de alta resistencia.
- *Comunicaciones.* Parecido a otras áreas.

#### 2) Cuarto de Juegos.

- *Gases Médicos.* Para el uso de emergencia, los cuartos de juegos deben tener una salida de vacío y una salida de oxígeno.
- *Salidas Eléctricas.* Todas las salidas eléctricas deben ser aseguradas tornillos de alta resistencia.
- *Comunicación.* Ambos, tanto las funciones de ayuda de emergencia, como equipo de comunicación deben ser instalados.

### 3) Pediatría (cuidado crítico).

Estos cuartos son parecidos a las unidades de cuidado crítico y cuidado coronario: una cama de cuidado crítico por 20 camas de cuidado general, con tres salidas de oxígeno y dos salidas de vacío, estos cuartos se deben localizar en el ala de pediatría, una vez más para impedir la impresión en los niños. Los gases médicos, las salidas eléctricas y las comunicaciones instaladas en estas áreas deben ser semejantes a las de cuidado crítico y de cuidado coronario, pero con tornillos de alta resistencia y accesorios de seguridad.

#### 5.3.7 Sala de Recién Nacidos.

1) *Enfermería General.* Esta enfermería es donde generalmente están los recién nacidos. Los bebés duermen normalmente en un cunero bajo el mínimo cuidado de la enfermería, mientras la observación es importante.

- *Gases Médicos.* Cada cunero debe equiparse con una salida de oxígeno y una salida de vacío. Este arreglo permite los cuidados comunes en caso de complicaciones menores.
- *Salidas Eléctricas.* Se deben colocar dos salidas eléctricas dobles en cada cunero, uno a cada lado. Estos deben suministrarse desde el circuito de emergencia. La potencia normal debe ubicarse fuera del área del cunero, pero, a una distancia máxima de 15 m, para colocar una extensión, se sugiere que un contacto doble normal este en cada sala.
- *Comunicaciones.* Cada cunero debe equiparse con una estación de llamada de ayuda de personal, para ser auxiliados por la estación de enfermería. Como mínimo, se debe colocar una estación de llamada de ayuda entre los cuneros. En la noche cuando el personal es limitado, el sistema de llamada de ayuda debe conectarse al departamento de vigilancia.

4) **Enfermería de Cuidado Especial.** Los cuidados especiales requeridos por los recién nacidos y son tratados por una enfermería de cuidados especiales. Estos cuidados se dan a los bebés que han desarrollado complicaciones. El aislamiento es mayor que el existente en los cuñeros típicos, por lo tanto el espacio entre salidas y las altura deben verificarse.

- *Gases Médicos.* Debido a la importancia de anticipar un cuidado, cada incubadora o ubicación aislada debe equiparse con dos salidas de vacío, dos salidas de oxígeno y dos salidas de aire médico comprimido.
- *Salidas Eléctricas.* Debido a la importancia de cuidado en esta área, cada cuñero aislado deber proveerse por lo menos con 12 salidas eléctricas o 6 salidas dobles. Una salida será exclusivamente para la incubadora. Todas las salidas deben estar conectadas al circuito de emergencia. La potencia normal debe ubicarse fuera del área de cuñeros aislados a una distancia máxima de 15 m, *Comunicaciones.* Los requerimientos de comunicación son al igual a los de enfermería general arriba mencionados.

5) **Enfermería Neonatal.** Los bebés prematuros pueden alojarse en un área neonatal o una enfermería de cuidados especiales. Un porcentaje grande de los bebés que requieren de cuidado especial son prematuros. Los bebés prematuros se colocan en incubadoras o cuñeros aislados.

- *Gases Médicos.* Los requerimientos médicos de gas son igual que en las enfermería de cuidado especial
- *Salidas Eléctricas.* Cada incubadora debe proveerse con 12 salidas eléctricas o 6 salidas dobles y una salida dedicada a la incubadora, todos energizados por el circuito de emergencia. La potencia normal debe estar disponible afuera la cuñero aislado, pero a una distancia máxima de 15 m, es conveniente que un contacto doble del circuito

normal se coloque en cada cuarto. Esto proveerá de energía en caso de falla en el sistema de distribución de emergencia.

- *Comunicaciones.* Los requerimientos son los mismos que en la enfermería de cuidados generales.

### **5.3.8 Áreas de Cuidado Psiquiátrico.**

Las áreas de cuidado psiquiátrico son generalmente ocupadas por 2 tipos de pacientes, los serenos y los violentos.

1) **Cuarto de pacientes (Serenos).** Los pacientes serenos son normalmente tratados en dormitorios abiertos. Estas salas son habitaciones semiprivadas de residencia. Se deben instalar cuatro salidas eléctricas (dos contactos dobles) por cama (un receptáculo doble al lado de la cama). Todos los receptáculos deben ser de seguridad y con tornillos de alta resistencia. Los sistemas médicos de comunicación y gases no son necesarios, normalmente.

2) **Cuidado del paciente (Violento).** Los pacientes en esta categoría van de la violencia física hasta el suicidio. Por lo tanto estas salas deben ser diseñadas para provocar poco peligro para los pacientes y el personal. El personal continuamente monitorea a estos pacientes.

- *Gases Médicos.* Para el tratamiento médico en casos de emergencia, se debe instalar una salida de vacío y una salida de oxígeno. Estas deben ser protegidas firmemente, además, deben estar ocultas cuando no sean requeridas en un gabinete cerrado.
- *Salidas Eléctricas.* Se deben instalar tres salidas. Estos también deben protegerse firmemente y deben ocultarse cuando no sean necesarios, por ejemplo, en un armario cerrado
- *Comunicación.* Un equipo de audiomonitoreo se debe instalar mediante un micrófono oculto y un altavoz, haciéndolo también para auxiliar al personal.



## Conclusiones.

Este trabajo inició analizando las distintas cargas que podemos encontrar en los hospitales en general, de esta manera se puede entender porque es importante abastecer dichas cargas con energía eléctrica de calidad, si bien es importante tener un servicio confiable en todas las instalaciones, más aun en un hospital, ya que en él están en juego vidas humanas, de ahí se parte para pensar en que el sistema eléctrico en este tipo de instalaciones simplemente no puede fallar.

Es necesario entonces tener sistemas redundantes, es cierto que esto eleva el costo de la instalación, pero no se le puede poner precio a una vida, así que es primordial tener un servicio eficiente, es decir una instalación eléctrica confiable y segura, y a su vez que tenga un costo razonable. De tal manera que es necesario definir las cargas críticas de las que no lo son, de tal suerte que en algunas zonas como podrían ser pasillos y salas de espera, se puede utilizar sólo la fuente normal y en otras zonas como pueden ser salas de cirugía y cuartos de pacientes en estado crítico, es necesario contar con una fuente de emergencia en dado caso que falle la fuente normal.

En los hospitales actualmente se cuenta con mucho equipo computarizado, el cual requiere de un abastecimiento de energía de calidad, sin embargo sabemos que dichos equipos alteran la forma de onda, debido a los rectificadores que utilizan, entonces es necesario contar con acondicionadores de potencia y filtros para armónicas por ejemplo, para tener una onda lo más próximo al comportamiento senoidal, casi sin distorsiones y sin altas y bajas de voltaje. Claro que en la medida de lo posible antes de instalar cualquier dispositivo que acondicione las distorsiones presentes, se debe estudiar que es lo que lo produce y tratar de eliminar la causa, sin embargo en algunas ocasiones esto no será posible ya que en los hospitales se cuenta con muchas cargas no lineales.

Es casi imposible pensar en un hospital que no tenga una planta de emergencia, aunque sea muy pequeña, es por eso que en este trabajo se dio especial énfasis a dichas plantas, para tener conocimiento del comportamiento, necesidades de instalación y la manera de tomar la carga en la situación de

emergencia. Ya que si la planta de emergencia es el sistema que nos dará soporte cuando la fuente normal falle, entonces es necesario asegurar que ningún dispositivo de dicho sistema auxiliar falle.

De igual manera es imprescindible tomar en cuenta en el diseño la seguridad de los pacientes y del personal que labora en el hospital, es verdad que cualquier instalación eléctrica debe ser segura, pero esto debe ser de mayor importancia en una instalación hospitalaria, ya que los pacientes debido a su estado de salud es probable que no sobreviva a un shock eléctrico que en condiciones normales resistirían. Más aun si tomamos en cuenta que existen cirugías muy delicadas, en las que cualquier diferencia de potencial puede matar al paciente en intervención.

Se dieron las recomendaciones prácticas para contar con una instalación eléctrica funcional, mencionando el número y tipo de salidas adecuadas para cada área del hospital, ya que en este tipo de instalaciones se cuenta con todo tipo de pacientes, desde los que acuden por un mal menor hasta los que su condición es crítica y necesitan aparatos médicos para preservar su vida.

En este trabajo se sientan las bases de lo que es una instalación eléctrica hospitalaria en lo general, sin embargo quedaron algunos puntos sin resolver a fondo, debido a la extensión que esto implicaría, como pueden ser los elevadores, que son de suma importancia en una instalación de este tipo, el cableado de los dispositivos de control, la iluminación y los tipos de lámparas que se deben utilizar, así como el sistema de tierras y el sistema aislado de potencia.

De tal forma que este trabajo puede servir como material de apoyo a las personas que estén interesadas en una guía sobre instalaciones hospitalarias, de igual forma se espera que en un futuro cercano pueda ser complementado, tratando con mayor profundidad los puntos mencionados en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

IEEE Recommended Practice for Electric Systems in Health Care Facilities  
White Book  
IEEE Std 602-1996

Norma Oficial Mexicana  
NOM-001-SEDE-1999  
Relativa a las Instalaciones Eléctricas.

IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive  
Electronic Equipment  
The Emerald Book  
IEEE Standard 1100

Normas de Proyecto de Ingeniería 1993  
Tomo III Instalaciones Eléctricas.  
Instituto Mexicano del Seguro Social

ANSI/NFPA 99-1996 Standard for Health Care Facilities.

[www.powerquality.com](http://www.powerquality.com)

[www.teal.com](http://www.teal.com)