

TESIS

Dimensionamiento de los
UPS's necesarios para el
respaldo de los
instrumentos de medición
utilizados en las prácticas
de los laboratorios de
electrónica.

Ing. Beatriz Isabel Pacheco Marín

SEPTIEMBRE 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Aragón

DIRECCIÓN

BEATRIZ ISABEL PACHECO MARIN

Presente

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

TÍTULO: "DIMENSIONAMIENTO DE LOS UPS'S NECESARIOS PARA EL RESPALDO DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS EN LAS PRÁCTICAS DE LOS LABORATORIOS DE ELECTRÓNICA"

ASESOR: Ing. ENRIQUE HERRERA HIDALGO

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 17 de agosto de 2007.

LA DIRECTORA


ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



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

LTG/AIR/vr





AGRADECIMIENTOS A

DIOS: Por todo

Papas (Lilia y Octavio): Porque sin ellos no sería quien ahora soy, por educarme para decidir y por su apoyo cuando las tome, por sus consejos, regaños, por su compañía, por su ejemplo, por su perdón, por su amor incondicional.

Hermanos Marcela y Mariano: Por acompañarme, por su complicidad, por su ayuda.

Amanda: Por hacerme ver la vida a través de su inocencia y porque es mi sobrina consentida de hecho la única hasta ahora.

Daniel: Por hacerme tan feliz.

Amigos: En orden cronológico Mayté, Judith, Vero, Jaz, Alma, Saira, Angélica, Florencio, Ismael, Alberto, Armando, Luis, Iván y todos los que me faltó mencionar pero han sido piezas importantes en mi vida.

Enrique: Por su asesoría en esta tesis, por su ayuda y por esas pláticas que me han hecho ver las cosas de distinto modo.

Mis sinodales Adrian, Esteban, Ramón y José Luis que me facilitaron la realización de este proyecto.

Mis tíos y padrinos: Juan Marín, Socorro González, Ruth Pacheco que me ayudaron en muchos aspectos y me alentaron para llegar hasta aquí.

INDICE

Capitulo 1	
Introducción A Los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida.	2
1.1 ¿Qué Es Sistema de Alimentación Ininterrumpida?	3
1.2 ¿Cómo Trabaja Una Fuente de Alimentación Continua?	5
1.3 Topologías de SAI.	5
1.4 ¿Qué SAI se debe utilizar?	15
1.5 Características Eléctricas.	16
Capitulo 2	
Pilas	24
2.1 Introducción	25
2.2 Características importantes de baterías primarias comerciales.	28
2.3 Características importantes de baterías secundarias comerciales.	41
2.3.1 Baterías Plomo acido.	41
2.3.2 Baterías de Níquel cadmio.	44
2.3.3 Baterías de Plata Zinc.	47
2.4 Tipos especiales.	53
2.4.1 Baterías de Magnesio	54
2.4.2 Baterías orgánicas despolarizadas.	55
2.4.3 Baterías De Cloruro cúprico magnesio.	55
2.4.4 Baterías de cloruro de plata magnesio.	56
2.4.5 Baterías de aire despolarizado.	57
2.4.6 Baterías de Aire Zinc.	57
2.5 Celdas de Combustible.	58
Capitulo 3	
Inversores de Potencia	62
3.1 Inversores modulados por ancho de pulso.	63
3.1.1 Introducción.	63
3.1.2 Inversores monofásicos.	67
3.1.3 Inversores con fuente de corriente.	74
3.1.4 Inversor elevador.	77
3.2 Inversores de pulso resonante.	80
3.2.1 Inversores resonantes serie.	80
3.2.1.1 Inversores resonantes serie con interruptores unidireccionales.	81
3.2.1.2 Inversores resonantes serie con interruptores bidireccionales.	84
3.2.2 Inversores resonantes paralelo.	86
3.2.3 Inversores resonantes clase E.	88
3.2.4 Rectificador resonante clase E.	89
3.2.5 Convertidor resonante por conmutación a corriente cero.	90
3.2.5.1 Convertidor resonante ZCS tipo L.	91
3.2.5.2 Convertidor resonante ZCS tipo M.	92
3.2.6 Convertidores resonantes por conmutación a voltaje cero.	93
3.2.7 Convertidores resonantes ZVS de dos cuadrantes.	95
3.2.8 Inversores resonantes de enlace de CD.	97
Capitulo 4	
Pruebas de laboratorio.	99
Capitulo 5	
Conclusiones	104
BIBLIOGRAFÍA	108
GLOSARIO	109

OBJETIVOS:

Proponer un sistema de alimentación ininterrumpido para su implementación dentro de los laboratorios de electrónica en el edificio L3 de la FES Aragón.

Comprender la importancia de los elementos básicos de la electrónica y electricidad como los diodos, capacitores, resistencias, inductores y transformadores para así poder armar nuevos sistemas y entender el funcionamiento de estos.

Ampliar los conocimientos que ya se tienen acerca de los inversores, la modulación por ancho de pulso, los convertidores de voltaje y corriente, los rectificadores, los filtros y las pilas.

Aplicar la electrónica de potencia para los puentes inversores el conocimiento de las curvas que se forman a partir de estos puentes y de la modulación por medio de ellos.

Modificar circuitos básicos para la implementación de una fuente de alimentación ininterrumpida más eficaz con menores pérdidas, menor gasto y mayor tiempo de vida.

Conocer que es un sistema de alimentación ininterrumpida, como funciona, cuales son sus componentes, sus características eléctricas y sus diferentes topologías.

Mejorar el rendimiento del equipo de laboratorio evitando los cortes de energía, descargas que provoquen mal funcionamiento o la interrupción o suspensión de las prácticas de los laboratorios.

Terminar con las prácticas de los laboratorios que quedan inconclusas debido a las fallas o cortes de energía que al termino de esta tesis se siguen teniendo en los laboratorios con la justificación de que se le esta dando mantenimiento a la línea de alimentación.

JUSTIFICACIÓN:

Durante mi estancia en los laboratorios de electrónica y en general en todo el tiempo que pase por los diferentes laboratorios del edificio L3 hubo complicaciones y retrasos de las prácticas principalmente por la falta de energía eléctrica, fallas en el suministro eléctrico o cortes de la misma.

Principalmente en época de lluvias los registros donde se encuentran el cableado se mojaba y hacían corto y para repararlo tardaban mínimo un día y hubo unas ocasiones en que tardaron hasta semanas en las que no solo yo sino muchos de mis compañeros perdieron prácticas.

Debido a esto, las prácticas quedaban inconclusas, se alargaba el tiempo de laboratorio, se tenía que reprogramar la práctica para otro día o en el peor de los casos no se terminaba con el temario y se evaluaban con las prácticas vistas; es por esto que se hace la propuesta de adquirir un sistema de alimentación ininterrumpida para que los alumnos no sigan retrasando, interrumpiendo o perdiendo su tiempo de practica debido a la ausencia de energía para conectar el equipo de laboratorio (Generador, Fuente y/u Osciloscopio) y no realizar sus pruebas de laboratorio.

Principalmente para los alumnos que cursan el laboratorio de Dispositivos Electrónicos es muy importante la realización de sus pruebas porque es donde se les enseña el uso y manejo de la fuente, el generador, el osciloscopio y el multímetro y en caso de que pierdan o retrasen sus prácticas debido a la falta de energía les puede llevar a el mal uso, la falta de experiencia en el manejo del equipo y en próximas asignaturas les sea difícil manejar un equipo mas complejo y no sepan prevenir errores o accidentes en futuras prácticas.

CAPITULO 1
“INTRODUCCION
A LOS
SISTEMAS
DE ALIMENTACIÓN
INTERRUMPIDA”

CAPITULO 1

“INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA”

1.1 ¿QUÉ ES SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA?

Son equipos que por su concepción autónoma, permiten realizar suministro aún cuando no exista suministro de red. Para ello incorporan baterías, cargador de baterías e inversor, la finalidad de este último, es convertir la corriente directa procedente de las pilas, en corriente alterna, de iguales características que la red, pero exenta de los problemas de ruidos y variaciones que la afectan. Las prestaciones más generales que deben aportar dichos equipos son: Aislar la carga que se alimenta de la red, Estabilizar el voltaje y la frecuencia de salida, Evitar picos y efectos parásitos de la red eléctrica. Almacenar energía en las baterías, las cuales la suministrarán por un periodo fijo de tiempo, cuando haya un corte de corriente. Ésta energía almacenada permitirá llevar a cabo la salvaguarda de la información y el cierre normal de las computadoras. Son varios los nombres que recibe este tipo de equipos, a continuación los más comunes:

- **UPS:** Son las iniciales en inglés, "Uninterruptible Power Supply"
- **No Break:** Que significa sin interrupción
- **SFI:** Por Sistema de Fuerza Ininterrumpido.
- **SAI:** Por Sistema Ininterrumpido de Alimentación

Para una mejor comprensión se utilizara indistintamente UPS por sus siglas en ingles o SAI por sus siglas en español.

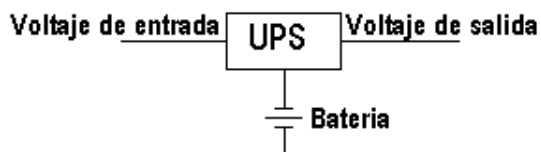


FIGURA 1.1. Diagrama a bloques de un UPS

En la figura 1.1, observamos el voltaje de alimentación del SAI y la Batería, ambas son las dos fuentes de energía para la salida del UPS. El SAI tomará energía de la Batería. En caso de que haya ausencia del voltaje de entrada y de esta manera se podrá seguir dando voltaje a la Carga. La Carga esta constituida por los aparatos a ser alimentados por el voltaje de salida de SAI y de los cuales no deseamos se interrumpa la energía.

Ejemplos de cargas sería:

- Ⓢ Computadoras
- Ⓢ Equipo médico
- Ⓢ Equipo de Telecomunicaciones
- Ⓢ Conmutadores telefónicos
- Ⓢ Cajeros automáticos de Bancos
- Ⓢ Equipos de radar en aeropuertos
- Ⓢ Sistemas contra incendios
- Ⓢ Etc.

El Inversor

De la figura bloques anterior (figura 1.1) observamos que en caso de ausencia de voltaje a la Entrada el SAI toma energía de la batería y sigue alimentando la Carga. Pero la Batería es de Corriente Directa (CD) y en la carga necesita ser Corriente Alterna (CA). Es aquí donde toma importancia un elemento que se encuentra en todo tipo de SAI y este es el Inversor. El inversor se encarga de tomar la corriente directa de la batería y la convierte en corriente alterna para alimentar la carga. Esta corriente alterna obviamente tiene que ser de voltaje de 127 volts y a una frecuencia de 60 Hz. (Para este caso de México).

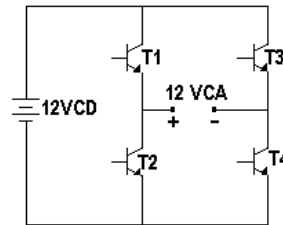


FIGURA 1.2 Puente inversor con cuatro transistores

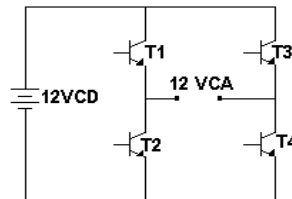


FIGURA 1.3 Puente inversor con T1 y T4 encendidos

En la figura 1.2, observamos que hay cuatro transistores bipolares en configuración de Puente Inversor. Cuando se encienden los transistores T1 y T4 simultáneamente el voltaje en los terminales de salida es +/- . Ahora si apagamos los transistores T1 y T4 y encendemos T2 y T3, logramos que el voltaje en terminales de salida sea -/+ . Es así como se logra la alternancia en polaridades. Si este cambio de polaridad se efectúa 60 veces por segundo, estaremos generando un voltaje de 127V de corriente alterna a 60Hz De tal manera que la forma de onda del voltaje generado sería:

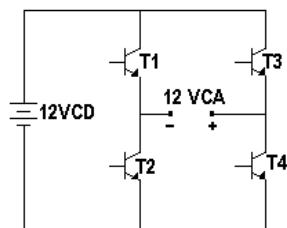


FIGURA 1.4 Puente inversor con T2 y T3 encendido
inversor

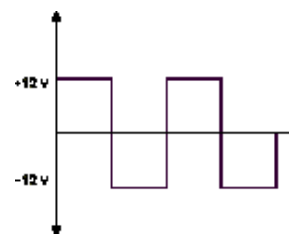


FIGURA 1.5 Forma de onda de un puente

Las señales de disparo de los transistores pueden ser generadas a partir de un circuito inversor de 60 Hz. De tal manera que en el circuito positivo se mande encender los transistores T1 y T4 y cuando la señal sea cero, se encienden los transistores T2 y T3. Este voltaje generado de 127 Volts CA si lo alimentamos a un transformador de 12:127, nos daría en secundario del transformador 127 Volts CA. La forma de onda cuadrada generada de ejemplo, no es recomendada para usarse en equipó

electrónico ya que puede provocar calentamiento excesivo a los componentes de ciertos equipos y su correspondiente daño prematuro. Para equipo electrónico o de cómputo, es mejor utilizar la forma de onda "cuasi senoidal" o la forma Senoidal, las cuales abordaremos más a fondo cuando hablemos específicamente del Inversor

1.2 ¿CÓMO TRABAJA UNA FUENTE DE ALIMENTACIÓN CONTINUA?

Una fuente de alimentación continua (UPS) es un dispositivo conectado entre la fuente de energía y una carga para asegurarse de que el flujo eléctrico no está interrumpido. Los dispositivos de la SIA utilizan las baterías para proteger la carga y poder funcionar por un período del tiempo después de un apagón. No debe ser confundido con los generadores por que no proporcionan la protección contra una interrupción momentánea de la energía, o que pueden dar lugar a una interrupción momentánea de la energía cuando se cambian en servicio, ya sea manualmente o automáticamente. Los dispositivos de la SAI proporcionan generalmente la protección contra las oleadas de la energía, las caídas de voltaje de larga duración y la línea ruido también.

La SAI consiste en tres componentes principales:

1. **Rectificador:** Este es el encargado de convertir la corriente alterna de la línea en corriente directa para a su vez cargar la batería. Las interrupciones de energía afectan solamente el proceso de carga de la batería porque ésta esta siendo cargada por el rectificador.
2. **Batería:** Almacena la energía para el uso cuando se interrumpe la fuente de energía, y determina la longitud del tiempo que la SAI apoyará el equipo.
3. **Inversor:** Convierte la potencia CD de la batería en CA para el equipo. El inversor provee energía continua al equipo apenas mientras que la batería proporciona energía ininterrumpida al inversor. El funcionamiento de una SAI se especifica en términos de VA. Generalmente para las PC requiere una potencia de 500VA y proporciona la reserva de la batería por alrededor 15 minutos. Los sistemas interrumpidos del sistema de alimentación se pueden clasificar en tres categorías: fuera de línea, fuera de línea con regulación de voltaje y en línea.

1.3 TOPOLOGIAS DE SAI

Existen diversos tipos de Topología de SAI y cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas, es necesario conocerlas si deseamos aprender a reparar un SAI ó si deseamos tener los suficientes conocimientos para seleccionar el equipo más adecuado para nuestras necesidades. A continuación enumeraremos cada una de estas topologías y la discutiremos ampliamente:

1. **OFF LINE (FUERA DE LÍNEA) Ó STAND-BY** Se le llama Off-Line porque el Inversor se encuentra fuera del camino principal de la corriente, y se le llama Stand-By porque el Inversor se encuentra apagado "en espera" de que sea requerido para encender.

El UPS Off-Line es el tipo de UPS más económico ya que integra muy pocos componentes, el nivel de protección obtenido con este tipo de equipos también es muy limitado pero en general considero que es muy adecuado para protección de la computadora en el hogar ya que la inversión es muy baja (alrededor de unos 700 a 1000 pesos) y aún así tenemos protegida nuestra computadora.

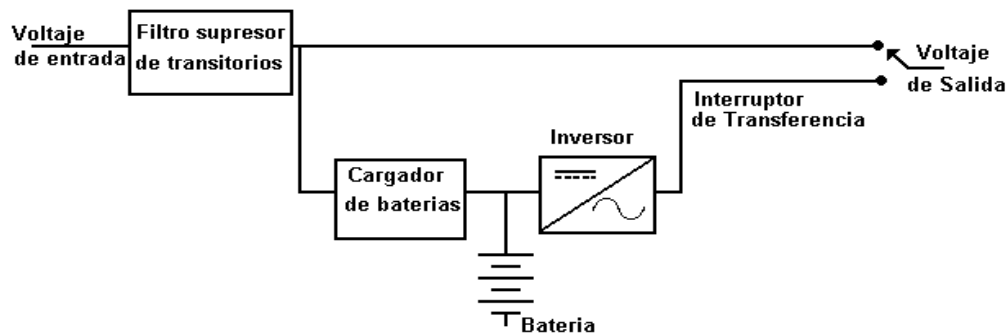


FIGURA 1.6 Diagrama a bloques del UPS off-line

Ahora se describen cada uno de los bloques que lo componen:

Filtro y Supresor de Transitorios: El Filtro de Línea reduce las variaciones transitorias de voltaje debidas al encendido y apagado de ciertos aparatos como por ejemplo motores eléctricos, además reduce el ruido eléctrico que viene con el voltaje de alimentación del SAI para que aparezca en niveles más seguros en la carga. Cabe hacer la aclaración que el filtro de línea sólo reduce problemas de variación de voltaje que son de tiempo muy corto; por el rango de los milisegundos y nanosegundos. No es su función regular el voltaje. El filtro de línea consiste en bobinas las cuales rechazan voltajes de alta frecuencia y capacitores conectados a tierra para que cualquier alta frecuencia sea drenada a tierra.

El Supresor de Transitorios lo que hace es recortar los picos de voltaje que aparecen en la línea a niveles más seguros. Un Transitorio de voltaje usualmente anda por el orden de los milisegundos a los nanosegundos y en valor, puede alcanzar desde los 200 hasta varios miles de volts. Esta etapa consiste generalmente en la utilización de los llamados Varistores de Oxido Metálico (MOV). Al Supresor de Picos se le llama comúnmente TVSS que significa Supresor de Voltaje Transitorio por sus siglas en inglés (Transient Voltage Surge Supresor). El nivel de protección del filtro de Entrada de este tipo de equipos es limitado.

La Batería: La batería es uno de los componentes más importantes en un SAI, es la que va a hacer posible que nuestra computadora continúe encendida aún y cuando haya un corte de energía. La mayoría de las baterías utilizadas en los SAI son del tipo Selladas ó tipo Gel.

Una batería sellada funciona de la misma manera que una de auto, consiste en placas de Plomo y Antimonio sumergidas en un electrolito que en este caso es ácido sulfúrico. La batería tiene un voltaje de 2.0 volts por cada celda y si es una batería de 6 celdas, entonces es de 12 volts.

Cuando la batería está desconectada y medimos su voltaje con un multímetro, veremos dicho valor de 12 volts. Sin embargo la batería tiene una corriente de fuga entre las placas de tal manera que su valor con el paso de las horas va a ir disminuyendo y entonces cuando requiramos utilizarla, no nos dará el tiempo suficiente ya que no está cargada al 100%. Por tal razón requerimos aplicarle un voltaje llamado de flotación y es para baterías tipo Gel ó selladas de 2.25 VPC (Volts Por Celda) así es que para nuestra batería de 12 volts, requerimos aplicarle un voltaje de 13.50 volts de manera constante para asegurar que siempre la batería esté cargada.

Una vez que empezamos a tomar corriente de la batería, su valor de voltaje irá bajando con cierta rapidez desde los 13.50 volts hasta llegar al valor de voltaje nominal que es de 12.0 volts y entonces el valor permanecerá casi constante; cuando el tiempo de respaldo de la batería vaya terminando, el voltaje irá bajando de los 12 volts lentamente hasta llegar a los 1.75 voltaje pico que para este caso de batería de 12 volts, serían 10.50 volts. Si seguimos descargando la batería, llegará un momento en que el voltaje bajará rápidamente e incluso los fabricantes recomiendan que no se descargue la batería a menos de este valor ya que se corre peligro que la batería no se pueda recargar nuevamente y por consiguiente la batería está dañada y hay que reemplazarla. En resumen el voltaje de la batería inicia en 2.25 volts pico (batería cargada al 100%) y termina en 1.75 volts pico (batería totalmente descargada).

Físicamente la batería es un vaso ó cubierta de plástico donde se pueden observar las 6 válvulas en el caso de una batería de 12 volts y 3 válvulas en el caso de baterías de 6 volts; además se puede observar las dos terminales de voltaje, una de ellas marcada con color rojo ó con un símbolo (+) y la otra marcada con color negro ó un símbolo (-).

El Cargador de Baterías.- El cargador de baterías es una fuente de voltaje que tendrá dos funciones:
1.- Dar a la batería el voltaje de flotación necesario para asegurar que la batería está cargada al 100%.
2.- Recargar la batería después que fue utilizada al haber un corte de energía. Es decir, al regresar la energía comercial, el cargador de baterías aplicará el mismo voltaje de flotación y la batería se empezará a recargar; una vez que la batería esté recargada completamente la corriente que fluya del cargador de baterías hacia la batería será mínima.

Hay otros tipos de cargadores muy utilizados en la actualidad que no siempre están dando voltaje a la batería sino que están encendiendo y apagando a intervalos y de esta manera logran aumentar la vida útil de la batería. Físicamente el cargador de Baterías consiste en un devanado adicional del transformador de Salida además de un puente de diodos para convertir la CA en CD y un Mosfet el cual conecta y desconecta la "Carga" a las baterías y esto comandado por la tarjeta de Control. El Mosfet generalmente tiene disipador de calor.

El Inversor.- El Inversor el se representa por un bloque donde le entra Corriente Directa y sale Corriente Alterna:



FIGURA 1.7 Representacion de un inversor

La conversión de Corriente Directa a Corriente Alterna se realiza mediante el "switchero" de 4 transistores en configuración tipo Puente Inversor. La forma de Onda que se utiliza en SAI del tipo Off-Line es la Cuasisenoidal y es de la siguiente forma:

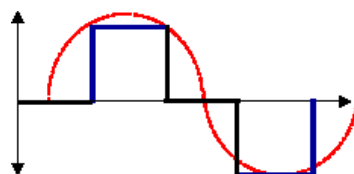


FIGURA 1.8

La Forma de Onda Cuasisenoidal es la de color más oscuro y se antepuso una senoidal para que se puedan comparar ambas ondas. Esta forma de Onda es recomendada para Equipo electrónico y de cómputo aunque si el equipo es muy delicado por ejemplo para equipos PLC se recomienda que la forma de onda del inversor sea Senoidal

Como este tipo de SAI es económico, se utiliza siempre la Forma de Onda Cuasisenoidal.

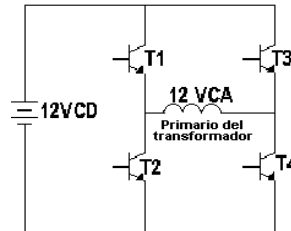


FIGURA 1.9

Recordando el diagrama del Inversor, Para generar el semiciclo Positivo de la onda, se tiene que mandar encender el transistor T1 y T4, después hay un tiempo en que no hay voltaje (aprox. 4 mseg.) Y en este caso los 4 transistores se encuentran apagados. Después generamos el semiciclo negativo encendiendo los transistores T2 y T3 y otra vez requerimos apagarlos para obtener un tiempo de voltaje cero. Si generamos el semiciclo Positivo durante 4 mseg. Después 4 mseg. De voltaje cero, después 4 mseg. De voltaje negativo y finalmente 4 mseg. De voltaje cero; esta es la descripción de un ciclo en una forma de onda a 60Hz.

Para obtener un voltaje de 127 volts del inversor, basta con alimentar la onda obtenida a un transformador elevador (en el diagrama se representa sólo el primario de dicho transformador). El Voltaje de Pico de la señal obtenida deberá ser de 127 volts por 1.41 que es la raíz cuadrada del número dos. Es decir que para obtener 127 volts a la salida el pico de la señal obtenida deberá ser de ± 170 volts.

En equipos más sofisticados, se regula el voltaje del inversor ya que el voltaje puede variar al estar bajando el voltaje de la batería y esto se logra aumentando un poco el ancho de los pulsos de voltaje y disminuyendo de la misma manera el ancho de los pulsos de voltaje cero para conservar el mismo tiempo de 16.6 mseg. Por cada ciclo a 60Hz.

Hay además otros diseños más sencillos de Inversor donde se utilizan tan solo dos transistores incorporando un transformador:

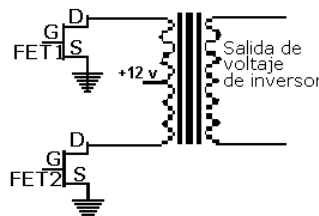


FIGURA 1.10

En el Diagrama anterior, si encendemos FET1, se hace pasar corriente en un sentido en el primario del transformador, y si encendemos FET2, hacemos pasar la corriente en el sentido contrario. De esta

manera se consigue obtener la corriente Alterna en el secundario del transformador y con sólo dos transistores.

Para este tipo de equipos, el Inversor generalmente incorpora MOSFETs ya que son más eficientes, es decir que producen menos calor. Si se necesita obtener más potencia de un Inversor, es práctica muy común que cada Mosfet en realidad consista de dos, tres, ó hasta 10 ó mas MOSFETs en paralelo para poder manejar más corriente. El Inversor lo podemos identificar en un SAI porque consiste de varios transistores ó MOSFETs montados con su disipador de calor de grandes dimensiones ya que el Inversor es el elemento que genera más calor en el SAI. En ocasiones se incorpora un ventilador para ayudar al enfriamiento del Inversor.

El Interruptor de Transferencia.- Cuando hay un corte de energía ó el voltaje es muy alto ó muy bajo a niveles inadecuados para seguir operando la carga, requerimos desconectar el voltaje de Entrada que en este momento va hacia la carga y ahora requerimos encender el Inversor y rápidamente conmutar el voltaje de Inversor a la carga. Esto tiene que ser muy rápido para que la carga no se dé cuenta que el voltaje se interrumpió, esta es la función del interruptor de transferencia que generalmente es un relevador; el tiempo de transferencia típicamente es de 4 mseg.

Pero en ocasiones dependiendo del fabricante puede ser hasta de 10 mseg.; Estos valores de tiempo de transferencia se consideran adecuados para la mayoría de las cargas electrónicas. Sin embargo hay cargas muy delicadas que aún un tiempo tan corto de interrupción puede hacer que operen incorrectamente por lo que este tipo de SAI no es adecuado para este tipo de cargas.

FUNCIONAMIENTO MODO NORMAL: En el modo Normal de operación, el voltaje de alimentación es de un nivel tal que no hay necesidad que entre el Inversor a funcionar; por lo tanto el voltaje de Entrada pasa por el filtro y después energiza la carga a través del interruptor de Transferencia el cual está Normalmente cerrado tomando en cuenta que es un relevador.

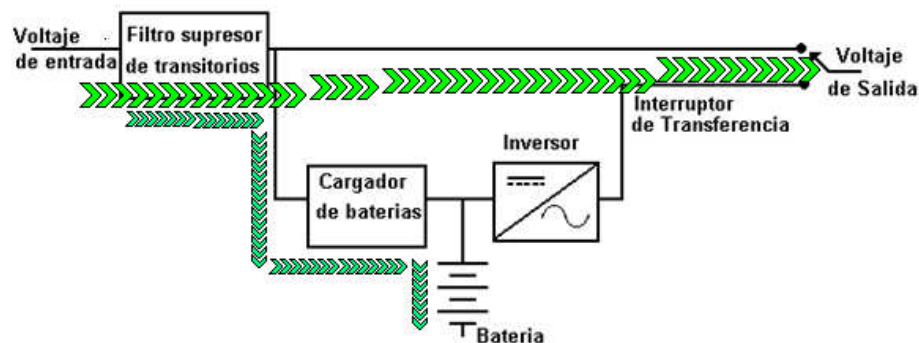


FIGURA 1.11

La corriente fluye desde la Entrada y hacia la carga y una pequeña cantidad de corriente es rectificada por el cargador de baterías y utilizada para mantener la batería en “flotación”. El Inversor se encuentra apagado (en stand-by).

MODO BATERIAS: Cuando el voltaje de alimentación del UPS se sale de la ventana predeterminada de operación, el SAI se va a Modo Baterías. El voltaje de Entrada tiene una ventana “aceptable de operación” que suele ser de un $\pm 15\%$ aproximadamente, esta ventana se escoge tomando en cuenta

que voltaje es adecuado para alimentar la carga. Siendo el voltaje nominal de 127 volts, la ventana iría desde 102 volts y hasta 138 volts, dentro de este rango de voltaje, el SAI entregará ese mismo voltaje a la salida solamente acondicionado por el Filtro. Si el voltaje de Entrada es menor a 102 volts ó mayor a 138 volts, entonces el Control del SAI enciende inmediatamente el Inversor al mismo tiempo que manda energizar el relevador de transferencia, cuando el relevador conmuta el Inversor ya está encendido y listo para energizar la carga. Es importante hacer notar que el voltaje del Inversor es regulado y entrega un voltaje de 127 VCA $\pm 3\%$ a 60.0 Hz (la frecuencia controlada por cristal) aún y cuando inicialmente el voltaje de baterías inicia en unos 14.0 volts y cuando la batería está totalmente descargada el voltaje es de 10.5 volts. (Esto para en caso de que la batería del SAI sea solamente una de 12 volts).

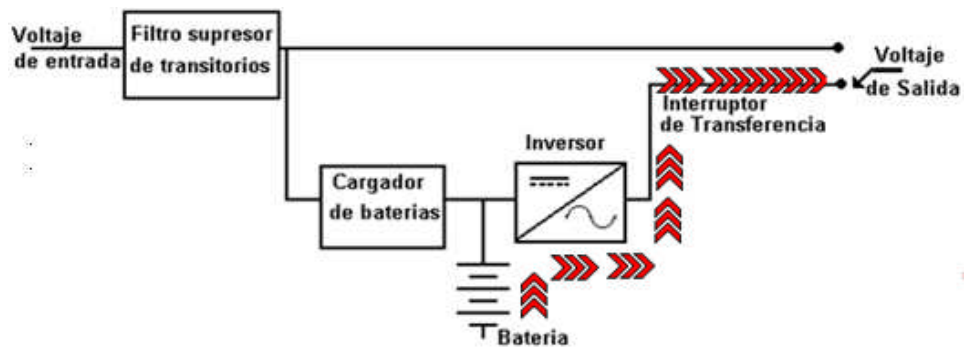


FIGURA 1.12

REGRESO A OPERACION NORMAL: Una vez que el voltaje regresa a los límites permitidos, interruptor de transferencia ó relevador de transferencia se des energiza y el SAI regresa a operación Normal donde la carga es nuevamente alimentada por el voltaje de Entrada. El Inversor se apaga al mismo tiempo y la batería se comienza a recargar hasta que llegue nuevamente a su estado de cargada al 100%. El tiempo que tarde en recargarse al 100% la batería depende del tiempo que el equipo duró en baterías y generalmente es de 10 veces el tiempo que duró la descarga, es decir que si el SAI estuvo por 5 minutos en baterías la batería estará casi totalmente recargada en unos 50 minutos. Esto varía un poco dependiendo del fabricante del SAI.

A continuación listamos las ventajas y desventajas del SAI Off-Line:

TABLA 1.1

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Es muy económico - Consume muy poca energía - Es ligero - Es el mas adecuado para el usuario personal 	<ul style="list-style-type: none"> - No tiene regulación de voltaje - No tiene regulación de frecuencia - La protección a la carga es limitada - La vida de la batería es corta (de 2 a 4 años) - Hay una interrupción en el voltaje de 4 a 10 milisegundos cuando se va a baterías. - La forma de onda cuasi senoidal no es compatible para todo tipo de cargas

2. STAND-BY (ESPERA) CON REGULACIÓN DE VOLTAJE.

Este tipo de equipos es muy similar al Stand-By pero con la característica adicional de que incorpora además una etapa de regulación de voltaje por lo que se obtienen dos ventajas:

- A) Se alimenta a la carga un voltaje regulado por lo que está más protegida
- B) El rango de voltaje de Entrada que acepta el SAI sin ir a baterías es mayor

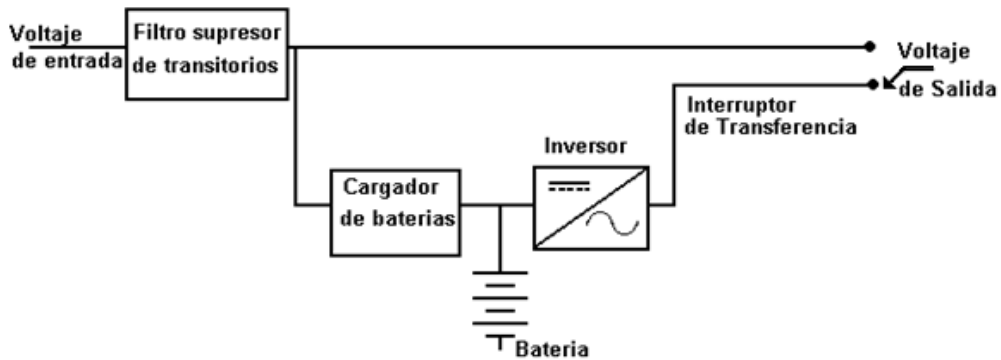


FIGURA 1.13 SAI Stand-By (Espera) Con Regulación De Voltaje.

Si comparamos el diagrama anterior observaremos que es muy similar al SIA Stand-By y la única diferencia es la etapa de regulación de voltaje. Dicha etapa consiste en un transformador con varios “taps” de entrada y uno de salida de la siguiente forma:

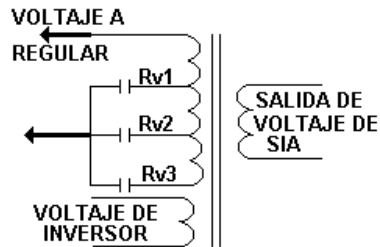


FIGURA 1.14

Como se puede observar, el transformador tiene dos devanados primarios, uno con taps para realizar la regulación de voltaje y el otro primario es el que se va a alimentar con el voltaje de Inversor para elevarlo y obtener los 127 VCA.

Refiriéndonos a la regulación de voltaje, existe un común en la alimentación que va conectado al neutro de entrada y después tenemos los tres “taps” del transformador cada uno de los cuales está alimentado por el contacto Normalmente Abierto de un relevador. Aquí para la explicación utilizamos relevadores pero también se pueden utilizar Triacs en lugar de los relevadores. Si cerramos el contacto del relevador Rv_2 , la relación de vueltas entre primario y secundario es de 1 lo que quiere decir que el voltaje que entra es el mismo que obtendremos a la salida. Si cerramos el relevador Rv_3 , la relación ahora es menor a 1 de tal manera que el voltaje de salida será menor al de entrada. Finalmente si cerramos el relevador Rv_1 la relación de vueltas ahora es un poco mayor a 1 y el voltaje de salida será un poco mayor que el de entrada.

Obviamente sólo un relevador puede estar energizado al mismo tiempo. Si el voltaje de Entrada está en niveles desde 115 hasta 125 volts (valores de ejemplo) se considera que el voltaje es adecuado y entonces se energiza el relevador Rv_2 para que el voltaje de Entrada sea igual que el de Salida. Si el voltaje de Entrada baja y llega a ser menor a 115 volts, entonces se des energiza Rv_2 y se energiza Rv_1 y de esta manera el voltaje de salida lo elevamos para obtener un valor más cercano a los 127 volts.

Ahora si el voltaje de Entrada sube hasta ser mayor a 125 volts, entonces se energiza Rv_3 y el voltaje que obtenemos a la salida es menor aproximándose a los 127 volts.

De tal manera que el control está constantemente “censando” el voltaje de Entrada para decidir si energizamos Rv_1 , Rv_2 ó Rv_3 ; el relevador que sea necesario para obtener a la salida un voltaje lo más cercano al nominal de 127 volts.

¿Qué sucede si el voltaje baja aún más que aún con el Tap más alto no podemos obtener un voltaje adecuado?

¿Qué sucede si el voltaje sube tanto que aún y con el Tap más bajo no podemos obtener un voltaje adecuado? En cualquiera de ambos casos se apagan los tres relevadores y enciende el Inversor, es decir que el SAI se va a modo de baterías.

Como verán, el funcionamiento de este tipo de SAI es muy similar al anterior pero como tenemos regulación de voltaje incorporada, si varía el voltaje primero que nada lo regulamos mediante los Taps del transformador y si el voltaje se sale completamente del rango en que podemos regularlo ya sea para arriba ó para abajo, entonces entra el Inversor para seguir protegiendo la carga. Hay equipos Stand-By con regulador tan económicos que para simplificar el diseño no incorporan regulación por alto voltaje, sólo por bajo voltaje. Incluso hay equipos “Stand By” y “Stand-By con regulador” de ciertos fabricantes en los cuales el SAI no se va a baterías por alto voltaje. Es decir que estos equipos tienen protección de baterías por bajo voltaje mas no por alto voltaje; y eso es grave porque si hay una elevación en el voltaje nuestra computadora no estará protegida y pudiera dañarse.

Hay un tipo de topología que incorpora un Inversor “bidireccional” llamado Línea Interactiva, hay en realidad pocos equipos de esta tecnología en el mercado pero se ha creado un poco de confusión ya que al equipo Stand-By con regulador le llaman Línea Interactiva. Por ello cuando veamos que un fabricante le llama a su equipo Línea Interactiva, en realidad lo más seguro es que se trate de un equipo Stand-By con Regulador. Este tipo de equipos es muy popular en capacidades desde 500 VA hasta 5 KVA y realmente son buenos equipos recomendados incluso para alimentar servidores y equipo delicado. Hay incluso equipos “Línea Interactiva” (Stand-By con regulador) en los que la forma de onda del Inversor es senoidal, son un poco mas caros pero vale la pena ya que la onda senoidal es compatible con cualquier tipo de carga.

3. **ON-LINE (EN LÍNEA).** Este tipo de equipos es llamado “En Línea” debido a que el Inversor se encuentra dentro de la línea principal de energía ya que siempre se encuentra operando. Esta tecnología es la más cara de todas pero es la que ofrece el mayor nivel de protección. A continuación el diagrama a bloques

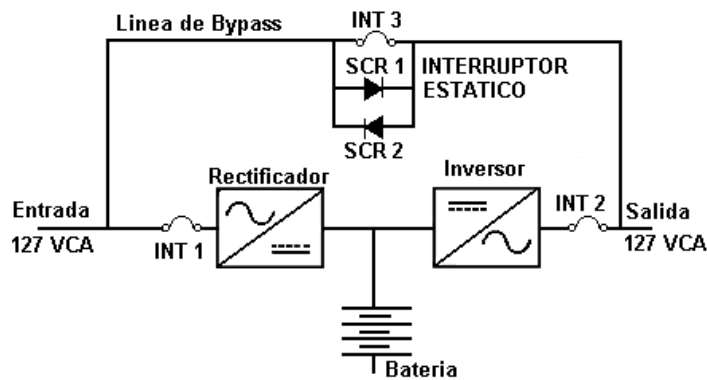


FIGURA 1.15 SAI On Line

Esta topología es muy diferente a las anteriores. El voltaje de Entrada pasa por medio del Interruptor “INT1” al primer bloque que es el rectificador.

Rectificador.- El Rectificador del SAI On Line consiste de la etapa de rectificación con SCR generalmente con el objeto de poder variar el ángulo de disparo de los SCR y de esta manera poder regular el voltaje de CD a obtener a la salida, obviamente después de ser rectificado el voltaje de Entrada se filtra con Capacitores para obtener un voltaje continuo y regulado. El voltaje regulado de corriente directa obtenido en el Rectificador, tiene dos objetivos:

El primero es mantener las baterías en flotación e incluso recargarlas después de un corte de energía. El segundo es alimentar al Inversor para que este a su vez convierta la corriente directa del rectificador en corriente alterna.

OPERACIÓN MODO NORMAL: En el Modo Normal, “INT1” está cerrado alimentando el Rectificador, éste a su vez proporciona un voltaje de CD Regulado para alimentar el Inversor y a su vez mantener las Baterías en flotación. El voltaje del Rectificador es convertido por el Inversor en un voltaje de Corriente Alterna Regular en Voltaje y en Frecuencia para por medio de “INT2” alimentar la carga. En este instante el “INT3” está abierto y el “Interruptor Estático” está apagado. Como podemos observar, el voltaje de la Línea Comercial es descompuesto al ser convertido en Corriente Directa y cualquier variación de Voltaje, Frecuencia, Pico de Voltaje, etc. es eliminado durante la conversión a Corriente Directa.

El Inversor a partir de esta Corriente Directa genera una nueva señal de voltaje de 127 Volts C. la cual es totalmente diferente a la que entró al SAI de la Línea Comercial y es por eso que aún y cuando haya en la entrada todo tipo de problemas de variación de voltaje ó picos de voltaje, en la salida no se verán reflejados porque el voltaje de salida es un voltaje nuevo creado por el Inversor. En el diagrama siguiente podemos observar la trayectoria de la corriente, la línea más gruesa representa el camino por el cual circula la corriente hacia la carga y la línea más delgada representa la corriente de flotación para mantener cargadas las baterías.

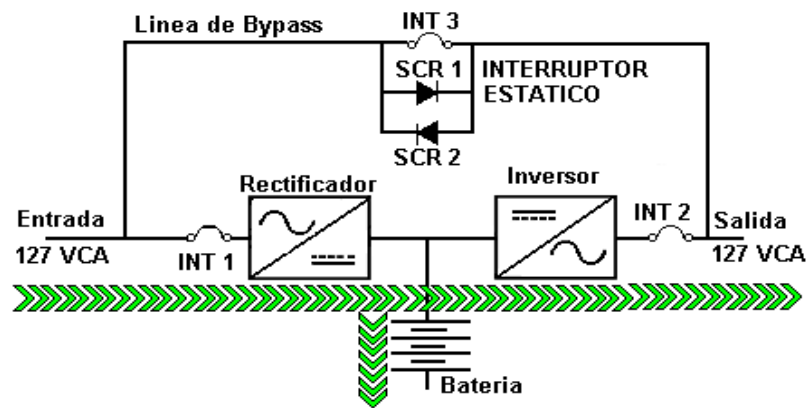


FIGURA 1.16

MODO BATERÍAS: Cuando el voltaje a la entrada del rectificador es lo suficientemente alto ó bajo como para que ya no pueda seguir entregando un voltaje de CD regulado, el Rectificador se apaga pero están conectadas en paralelo las baterías y el Inversor sólo detecta cuando el voltaje baja ya que está operando ahora la batería; sin embargo esa variación de voltaje no importa ya que el Inversor regula el voltaje y en la carga el voltaje permanece sin variación e incluso no hay ningún instante en el que se interrumpa el voltaje como sucede en la topología Off-Line. Si el corte de energía se prolonga tanto de tal manera que las baterías se descarguen completamente, entonces el SAI se apaga al no tener ya manera de seguir alimentando la carga.

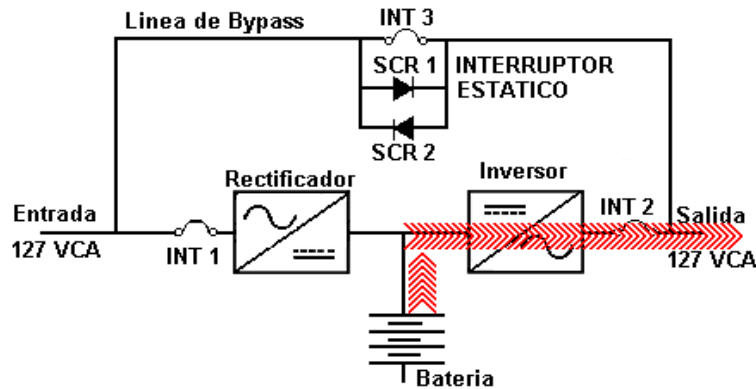


FIGURA 1.17

Si antes de que se terminen las baterías, el voltaje de entrada del Rectificador vuelve a la normalidad; entonces el Rectificador enciende y alimenta nuevamente el Inversor y a la vez comienza a recargar las baterías. Este cambio de operación Baterías a operación Normal también es transparente para la carga y permanece en todo momento alimentado sin interrupción alguna.

En el diagrama anterior se puede observar el camino de la corriente desde las baterías pasando por el Inversor y hacia la carga, el rectificador se representa en color gris para hacer notar que está apagado

MODO BYPASS: Existe la posibilidad de que por algún motivo el Inversor no pueda seguir alimentando la carga, las principales razones son las siguientes:

- Hay un daño en el Inversor
- Hay una sobrecarga en el Inversor

Hay sobre temperatura en el equipo
Hay un daño en la lógica del equipo

Por tal motivo, el UPS On-Line incorpora lo que se llama la línea de Bypass que no es más que una forma de alimentar la carga con la Línea Comercial. Cuando el UPS está en Bypass el "INT2" se encuentra abierto para desconectar el Inversor de la carga, el "INT3" está cerrado para alimentar la carga directamente de la Línea Comercial. Cuando la lógica detecta que por alguno de los motivos mencionados anteriormente el Inversor no puede seguir alimentando la carga, ejecuta una transferencia de la carga a Bypass de la manera siguiente:

- ❖ Manda encender el Switch Estático el cual consiste en dos SCR en paralelo inverso para poder conducir CA.
- ❖ Manda cerrar INT3 el cual consiste en un contactor ó un Interruptor operado por Motor.
- ❖ Manda apagar el Switch Estático.
- ❖ Manda abrir INT2 que también consiste en Contactor ó Interruptor operado por Motor.

Ahora la carga está soportada por la Línea Comercial a través de INT3 y no a través del Inversor. Es importante hacer notar que cuando se transfiere a Bypass en un instante quedan en paralelo Inversor y Línea Comercial eso para evitar desconectar el voltaje a la carga. Además hay que notar que siempre va a haber sólo un interruptor cerrado al mismo tiempo INT2 ó INT3 con excepción de cuando se hace una transferencia. Cuando se requiere transferir a Bypass se necesita una gran velocidad y por ello se utiliza el Interruptor Estático el cual al ser electrónico es de muy alta velocidad.

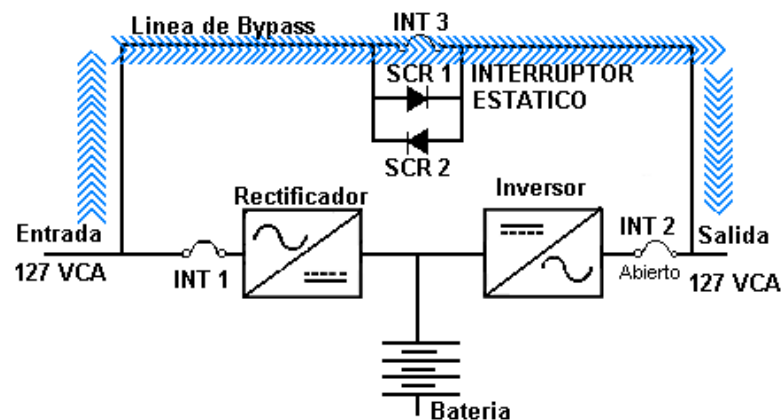


FIGURA 1.18

En el diagrama anterior se puede observar la trayectoria de la corriente en Modo Bypass, el Rectificador y el Inversor pueden o no estar encendidos. Cuando el SAI está en el modo Bypass, no hay protección alguna para la carga. El modo Bypass lo utiliza el SAI para evitar al máximo que el voltaje se vea interrumpido en la carga, por tal razón inmediatamente manda una alarma para alertar que se está en modo Bypass y que la carga esta desprotegida incluso si hay corte de energía no habrá protección de Baterías en virtud de que la carga no está por el Inversor.

1.4 ¿QUE SAI SE DEBE UTILIZAR?

Dos son los criterios a tener en cuenta al elegir un SAI: Potencia que consume la totalidad del Sistema Informático y Problemas eléctricos, cortes, micro cortes etc., que deben resolverse.

Potencia del Sistema Informático. Debe conseguirse por suma de consumos de cada elemento, bien mediante indicación de placa de características, bien por medición del consumo. Opción que es recomendable, en grandes redes o sistemas. Como regla genérica, aplicable cuando no se disponen de los datos completos y con sus excepciones, podríamos orientar:

- ⌘ PC.....125 a 200w
- ⌘ Monitor Color 15".....80 w
- ⌘ Monitor Monocromo.....60w
- ⌘ Impresora matricial (80 col.).....110 a 120w
- ⌘ Impresora Inyección.....60w Impresora
- ⌘ Láser.....800 a 1200w

(La indicación de W de la fuente más el rendimiento de la misma)

La suma de Watts, de cada elemento daría directamente el modelo de SAI a Utilizar, dado que indicamos la potencia activa (w). Si se utilizan las placas de características, podemos encontrarnos con indicaciones de W, VA o A. Será necesario recordar que, $VA=V \cdot I$, $W=V \cdot I \cdot \cos \theta$... siendo el $\cos \theta$ típico de una carga informática de 0,75 a 0,8. Obtenidos los W y VA de nuestro equipo o sistema a proteger, elegiremos un SAI, que supere en W y VA, a los requeridos. A título orientativo, incluimos en la siguiente página, una lista de consumos de algunos equipos.

Problemas eléctricos a resolver y entorno de aplicación

Una vez que conocemos la potencia necesaria del SAI, deberemos tener en cuenta el entorno eléctrico en que se deberá situar y los problemas de la misma índole que afectan al sistema y deben ser resueltos mediante el SAI. Indicamos seguidamente la tabla 1.2 de ayuda, para la elección de la topología necesaria.

TABLA 1.2

Problema eléctrico	Entorno	SAI Recomendado
Cortes de red	Zona Urbana	OFF-LINE
Variaciones de red (bajadas)	Zona Urbana	OFF-LINE + Boost
Alteraciones frecuentes (Subidas y bajadas)	Zona Urbana	OFF-LINE + Estabilizador
Alteraciones frecuentes (Subidas y bajadas)	Zona Industrial	OFF-LINE + Estabilizador
Problemas de ruido eléctrico conexión de maquinaria, soldadura por arco	Zona Industrial	ON-LINE

1.5 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Destacaremos a continuación algunas de las características eléctricas más importantes a tener en cuenta en un SAI.

Referente al inversor:

- ✚ **Estabilidad del voltaje de salida en régimen estático.** Indica la estabilidad del voltaje de salida sin perturbaciones de red ni variaciones de carga.
- ✚ **Estabilidad en régimen transitorio.** Indica la variación del voltaje de salida cuando se produce una variación rápida de red ó bien con variaciones en la carga.
- ✚ **Distorsión armónica.** Indica la distorsión que contiene el voltaje de salida. Dicho contenido será función de la tecnología utilizada por el inversor, siendo mucho más fácil entregar la misma distorsión en un inversor que trabaje en PWM (Modulación por anchura de pulso), que no en otro que opere con señal cuadrada.
- ✚ **Factor de potencia admisible.** ($\cos \theta$). Indica el desfase voltaje-corriente que admite el inversor. - Potencia de salida. Indicada normalmente en VA (potencia aparente), expresa la potencia nominal que puede entrega el inversor, a través del factor de potencia, se puede conocer la potencia activa W, que puede suministrar el equipo. $W=VA \cdot \cos \theta$
- ✚ **Factor de Cresta.** Es el cociente de la división entre el valor de pico de la corriente demandada por el ordenador y el valor RMS o eficaz de la corriente. El factor usual de un ordenador es de 2 a 3. El grave perjuicio que ocasiona este tipo de consumo, que se agrava cuantos más ordenadores se deben alimentar, debe ser soportado por la red eléctrica o por el SAI. La inclusión de correctores de $\cos \theta$ en los SAI, minimiza el problema hacia la red eléctrica, siendo el SAI quien proporciona la totalidad de energía de cresta, sin afectar a la red eléctrica.
- ✚ **Sobrecarga admisible** y forma de protección. Indica las veces en que se puede sobrecargar el inversor sin deterioro para él. Es una característica importante en sistemas ON-LINE, ya que es el inversor quien debe soportar dicha sobrecarga, al conectar la carga a proteger.
- ✚ **Forma de onda.** Existen diversas posibilidades en el diseño ó construcción del inversor, con lo cual un SAI, puede entregar diversas formas de onda. Será un dato interesante el conocimiento de ésta, sobre todo en función del equipo informático que estamos alimentando y los armónicos generados.
- ✚ **Estabilidad en frecuencia.** Indica la variación en frecuencia que genera el inversor, por tratarse de un generador, debe ser lo más cercana posible a la frecuencia de red.

Referente al cargador de baterías (ON-LINE) ó al sistema (OFF-LINE).

- ✚ **Voltaje de entrada.** Indica el voltaje máxima y mínima tolerable por el SAI, será un dato importante el voltaje de red a la cual todavía se carga batería. En sistemas OFF-LINE indicará la voltaje de intervención del equipo y por tanto los límites de protección.
- ✚ **Corriente de carga.** Su control es muy importante para evitar un deterioro prematuro de las baterías. La corriente ideal es $C/10$, la capacidad en Amperes/hora dividido por 10. El cargador debe ser capaz de mantener este máximo de carga sin descuidar la corriente que necesita la etapa osciladora en los modelos ON-LINE para seguir funcionando.

Referente a las baterías

- ✚ **Autonomía.** Es el tiempo que podemos seguir alimentando a la carga, cuando no existe red ó ésta está por debajo del voltaje mínima, a la cual todavía se carga la batería. Debe medirse a potencia nominal.
- ✚ **Tipo de batería y número de éstas.** Da una idea de las corrientes que circulan por el inversor, también del costo de cambio de acumuladores y su esperanza de vida.

Referente al Bypass

- **Bypass ó posibilidad de éste.** Es la posibilidad de incorporar un conmutador que alimente a la carga desde la red, en caso de fallo del inversor.
- **Aislamiento eléctrico, cuando interviene el Bypass.** Si el Bypass, no dispone de aislamiento, obligatoriamente una fase de entrada, está en permanente conexión, con una fase de salida, por tanto se está ofreciendo una vía inmejorable, para que el ruido o perturbaciones en modo común, lleguen al sistema que se debería proteger.

Generales

- **Tipo de ventilación, temperatura, rendimiento.** Son valores indicativos de las pérdidas del equipo y del esfuerzo al que se somete a los semiconductores de potencia.
- **Numero de avisos e indicaciones.** Reflejarán la situación en la que se encuentra el equipo, y facilitarán su manejo. Son en definitiva una mayor comodidad al usuario.

La instalación eléctrica interior y línea informática. Los problemas que se pueden ocasionar en una instalación eléctrica del interior de un edificio, bien sea industria, oficinas o domicilio particular, son los mismos que los anteriormente descritos para las líneas de distribución o transporte, y aunque suelen ser de menor magnitud, por estar más cerca del origen del problema, pueden ocasionar peores efectos. La conexión o desconexión de cargas inductivas como maquinaria, motores, ascensores, equipos de soldadura, compresores y el entorno de zonas industriales o industrias en particular, provoca este tipo de problemas, al cual se le añade frecuentemente las dificultades de regulación, por parte de la compañía suministradora, debido al alto grado de variación en consumo de los mismos. El criterio básico a tener en cuenta, en una instalación informática, es la instalación de una línea de suministro único al Sistema Informático, denominada comúnmente Línea Dedicada, y que alimenta al sistema desde la acometida de la red eléctrica (contadores), a fin de que ésta, esté lo más exenta posible de los problemas de índole interna antes mencionados. El conductor de Tierra, debe formar parte de esta línea dedicada. Al final de ésta línea y en función de la posibilidad de ejecución de la misma, los problemas descritos tendrán mayor o menor magnitud, la solución o atenuación de los mismos se puede realizar mediante diversos equipos, como son transformadores de aislamiento, estabilizadores, acondicionadores de red o SAI.

Sistema típico de cableado de un edificio. En origen, la energía se transporta mediante un sistema de cableado de 5 hilos, 3 de los cuales son activos o Fase (trifásica), y los dos cables restantes corresponden al Neutro y Tierra. Normalmente, los equipos utilizan un sistema de tres hilos, correspondientes en México una Fase, Neutro y Tierra. Los dos primeros transportan la energía y el tercero se conecta a las partes metálicas de los equipos por razones de seguridad. En algunos países se distingue entre fase y neutro, mientras que en Norte-América, no se utiliza el neutro y los cables que transportan energía, son ambos Fase. Dado que se trata de corriente alterna, no existe diferencia, desde un punto de vista energético, entre el conductor Fase y el Neutro, ya que ambos están aportando y retornando energía periódicamente. La diferencia estriba, en que el conductor de Neutro, está referenciado a Tierra. Nos encontramos pues, con dos conductores referenciados a tierra, la Tierra, propiamente dicha utilizada como seguridad y el Neutro, conductor de potencia no

peligroso respecto a las partes metálicas. Una computadora y más concretamente su fuente de alimentación, no distingue la presencia o no del Neutro, por tanto el intercambio Fase-Neutro, no debe ser origen de ningún problema. En cambio si es importante tener en cuenta la Toma de Tierra. Inicialmente, ésta debe derivar al terreno corrientes de cualquier naturaleza, que se puedan originar bien por defectos de aislamiento, bien por causas atmosféricas, de carácter impulsional. La incorrecta instalación de una Toma de Tierra, o una degradación de la misma, aumenta la resistencia de paso y por tanto disminuye su efecto protector, éste defecto aplicado a Sistemas Eléctricos u electrónicos, donde la inmunidad de los mismos comienza derivando las corrientes de alta frecuencia (parásitos y ruidos) hacia tierra, provocarán una disminución de su atenuación y por tanto serán más vulnerables a los mismos. Otro problema que puede surgir, es que la corriente de fugas que circule por la línea de tierra, como causa de un defecto en un aislamiento de una máquina o una radiofrecuencia que se desvíe a tierra en un filtraje, antes de llegar a tierra se inyecte a otra máquina o equipo y ello provoque problemas en el funcionamiento del mismo, ello será más acusado cuanto peor sea la resistencia de paso a tierra. Dos son los tipos de ruido eléctrico más comunes en una instalación: Ruido en Modo Común.- Es el ruido eléctrico existente entre los cables que llevan energía (fase y neutro) y la línea de Tierra. Ruido de Tierra.-Es el ruido que aparece entre las tomas de tierra de varios equipos conectados a la misma línea de tierra.

Algunos equipos y el grado de protección ofrecido por los mismos.

Transformador de aislamiento. Equipado de pantalla electrostática o bobinado mediante carrete separador, permite obtener una atenuación importante de ruidos y parásitos. La atenuación de éstos depende de la concepción y calidad del mismo. No soluciona variaciones de voltaje, cortes ni micro cortes, ni tampoco ruidos de línea de tierra, dado que éste conductor no se puede interrumpir. Su utilidad estriba únicamente en la atenuación de ruidos en modo común. Un transformador de aislamiento, completa las soluciones ofrecidas por una línea dedicada, no la sustituye.

Transformador ferro resonante. Disponen de un condensador en la salida, en paralelo con bobinas secundarias, con lo que se proporciona una realimentación magnética y se consigue una estabilización de salida, esta técnica fue muy empleada, (antiguos estabilizadores para TV.), pero obtiene muy poco rendimiento. La aplicación de este tipo de transformador, usado para hacer frente a problemas de regulación quedó en desuso, con la aparición de los estabilizadores electrónicos.

Regulador de voltaje, Estabilizador. Ofrece soluciones cuando el problema estriba en variaciones de red, sin embargo depende en gran modo de sus características, tiempo de respuesta y margen de regulación. Consiste en la conmutación de diversas tomas de un transformador, a fin de seleccionar el voltaje de salida requerida. Pueden incorporar un transformador de aislamiento, de modo que solucionan a la vez el problema de ruidos, pero son incapaces de solucionar los cortes, micro cortes y las variaciones de frecuencia de la red, puesto que no aportan autonomía. Existen dos familias de estabilizadores, el ferro resonante y los electromagnéticos. Los primeros actúan por saturación del núcleo del transformador. Los segundos mediante conmutación de tomas.

Acondicionadores de red. Es la combinación de un transformador de aislamiento y un regulador de red. Pueden por tanto ser ferro resonante o electromagnético. Logran buenos resultados frente a variaciones y parásitos de red, pero siguen siendo impotentes frente a cortes y variaciones de frecuencia, en cambio su coste empieza a ser importante.

Diseño de un sistema de protección integral. Para el diseño e instalación de elementos ó equipos de protección integral, deberemos conocer en primera instancia la vulnerabilidad de los equipo a proteger. Recordemos que los factores que solían afectar al correcto comportamiento de sistemas electrónicos, eran: Regulación, Transitorios, Ruidos, Armónicos, Tierra y cortes de suministro. En nuestro caso, el primero, cuarto y sexto, quedarán resueltos mediante la aplicación de un SAI. El quinto factor o Tierra, dependerá de la construcción de la misma, es recomendable utilizar una Tierra exclusiva para informática ó equipos críticos y otra para maquinaria. En función de la calidad del suelo, se instalarán las piquetas suficientes para asegurar una muy baja impedancia. Factor ruidos: Depende en gran medida de una correcta instalación de los buses de datos y comunicación, en ningún caso deben discurrir paralelos a líneas de suministro y deben tener un buen apantallamiento, el cual estará a Tierra. Factor transitorio: Ya vimos la naturaleza de éstos y dadas las grandes magnitudes que pueden llegar a alcanzar, no es suficiente la aplicación de un SAI, como medida de seguridad será necesario aplicar también Filtros Supresores.

Filtros Supresores. Son elementos no lineales los cuales a partir de una cierta sobre voltaje, bajan su impedancia, desviando, la energía excedente hacia una línea de menor impedancia, que la que presenta la carga ó equipo a proteger. Un filtro supresor no es un elemento de absorción sino de desvío. Bien es cierto, que absorben parte de la sobre energía, y por tanto deberá tenerse en cuenta su capacidad de absorción, pero el desvío de las sobre corrientes, normalmente hacia una buena conducción de Tierra, son en realidad la forma de protección empleada. Veamos un caso típico, la protección de un Modem, donde se trata de proteger las entradas de señal, frente a las posibles perturbaciones de la línea telefónica. En primer lugar deberemos conocer la máxima sobre voltaje permisible del equipo a proteger, con ello elegiremos la voltaje de intervención del protector, la cual deberá estar entre un 20% y un 30% por debajo de la voltaje máxima. En la conexión la fuente de baja impedancia será la toma de Tierra y el elemento de desvío será el supresor, la propia línea telefónica actuara como impedancia en serie con el filtro, limitando con su propia caída de voltaje, la energía que deberá disipar el filtro protector en cuestión.

En función de la magnitud previsible del transitorio y la sobre voltaje admisible por la carga, colocaremos uno ó varios elementos en cascada y será interesante estudiar su ubicación, a fin de aprovecharnos de la propia instalación eléctrica, para absorber escalonadamente los fenómenos transitorios. Si se realiza una instalación escalonada, el criterio de instalación debe ser el siguiente, supresores de alta velocidad y relativamente baja absorción, lo mas cercanos posibles a la carga a proteger, supresores de media absorción, en puntos medios de la instalación y protectores de alta absorción, puesto que no conocemos la impedancia asociada que nos ofrece la línea, en la entrada de la línea.

Rentabilidad de una red de supresores. Para justificar la instalación de una red de supresores, deberemos conocer los costos o posibles costos de averías provocadas por estos efectos, no debe olvidarse el costo de producción, mientras se efectúa la reparación del sistema. En segundo lugar, deberemos conocer el costo del supresor ó red de supresor necesario. Es evidente, que a pesar de la aleatoriedad del fenómeno, el costo queda justificado.

La línea de transporte y distribución. Los problemas de la calidad de la energía y los causados por su defecto, son consecuencia de la evolución de la electrónica y más particularmente de su integración. Con ello se incrementa la exposición del usuario a perturbaciones eléctricas y aumenta también la sensibilidad de los equipos. Es por ello, que el suministro de corriente alterna, suele ser inadecuada para alimentar sistemas informáticos, pudiéndoles causar problemas de pérdidas de datos y errores de disco duro. Todos estos efectos se pueden agrupar en seis fenómenos: Regulación, Transitorios, Ruidos eléctricos, Armónicos, Tierra y Cortes de energía. Trataremos seguidamente cada uno de ellos de forma independiente, ya que la solución de uno no implica la resolución del otro.

Regulación. Son variaciones lentas en el voltaje ó frecuencia, pudiendo durar desde algunos ciclos hasta algunas horas. Distinguiremos tres fenómenos que implican a la regulación: "swells" ó picos, son crecimientos lentos de la voltaje, pueden alcanzar valores superiores al 20% de valor nominal y durar segundos. Caídas de voltaje de corta duración "sags", son normalmente provocadas por arranque de motores, ya que éstos, en el arranque llegan a consumir hasta veinte veces su valor nominal. Caídas de voltaje de larga duración "brownouts", son provocadas por sobrecarga en la red, en un área amplia. Aunque los equipos electrónicos suelen tolerar bien los efectos de la regulación a corto plazo, el efecto más inmediato es la reducción de la vida útil de éstos, debido fundamentalmente a los sobrecalentamientos generados.

Transitorios. Los transitorios son sobre voltajes de corta duración y elevadas corrientes. Se considera transitorio a un fenómeno de duración inferior a 1ms y las frecuencias involucradas van desde KHz hasta centenares de MHz. El origen de los transitorios, según estudios realizados, revela que un 35% es debido a fenómenos naturales (relámpagos) y un 65%, a la conexión de cargas reactivas (motores, fluorescentes etc.). Otro origen de importancia son las descargas electrostáticas (Por su significado en ingles ESD, Electro-Static Discharge), debido al uso de fibras artificiales como telas de lana o algodón, vestidos etc. Un transitorio, puede afectar de varias maneras, en un primer grado, un circuito lógico puede recibir un transitorio, no ser destruido por él, pero interpretarlo erróneamente como información, provocando por tanto un fallo lógico. Una repetición del efecto en el mismo circuito, puede destruirlo por sobrecalentamiento, con lo cual no se hallarán las causas de la destrucción.

Ruidos. El ruido eléctrico, ocupa un rango de frecuencias similar al de los transitorios, sin embargo éstos son de baja magnitud, pero de larga duración. Un ejemplo sería la inducción en una línea de transmisión de ondas de radio. Los fenómenos de ruido suelen provocar más errores de funcionamiento, que daños físicos.

Armónicos. Son causa de la integración de múltiples frecuencias fundamentales de las fuentes de alimentación, suelen agravarse por el consumo de cargas alinéales como fuentes de alimentación conmutadas. Los armónicos impares son los más frecuentes, siendo el margen de frecuencias de 180 Hz hasta 1 KHz Los problemas más frecuentes que presentan los armónicos son inesperados flujos en los sistemas eléctricos, sobre corrientes en los hilos conductores de neutro y grandes pérdidas en los transformadores. Las magnetos térmicas no alcanzarán tampoco, sus prestaciones habituales, produciéndose disparos prematuros. Para una solución ó más bien una atenuación de este tipo de problemas, cabe mencionar el sobredimensionado de neutros, utilización de transformadores de factor K, uso de disruptores de línea en lugar de magneto térmicos y filtros activos ó pasivos. La

utilización de SAI's, es también un elemento a considerar, dado que suelen incluir un filtro activo, para la transformación de cargas no lineales en lineales.

Tierra. Dos efectos debemos considerar respecto a la toma de tierra, el primero es de referencia, consiste en asegurar que varios equipos se mantienen al mismo voltaje; el segundo es de seguridad, respecto a descargas eléctricas y riesgos de incendio. En ausencia de una tierra de referencia común, computadoras conectadas pueden verse afectadas por fallas lógicas y /o daños en las líneas de comunicación. La referencia a tierra, se obtiene a través del cero de impedancia, dado por la red eléctrica nacional, con ello la utilización de un punto único de tierra es la mejor solución para la equipotenciación de los equipos informáticos. En las líneas de transmisión de datos, el aislamiento eléctrico será la mejor solución

Cortes de energía. Distinguiremos cuatro posibilidades, micro cortes <1 ciclo, caídas > 1 ciclo, caídas momentáneas < 1 min., caídas sostenidas > 1min. Las causas principales suelen ser, arranque de grandes motores, defectos en la línea o conmutaciones de la red, procedentes de la propia compañía. En el caso de micro cortes, dependeremos de la característica de la fuente de alimentación (tiempo de reserva), para que pueda afectar o no, al sistema informático, ordenador ó equipo electrónico. Los cortes ó caídas, son ceros de red de duraciones mayores a 300 ms, llegando a provocar un paro total del equipo de forma no controlada. Los micro cortes, suelen afectar a las tablas de localización de archivos y a las memorias RAM, un típico error, es el de disco duro ilegible. La única solución a este tipo de problemas, reside en la utilización de SAI's. Presentamos a continuación.

Tabla 1.3 Resumen de distintos problemas de energía y soluciones

Protec. Sobre voltaje	Filtros	Estabilizadores	SAI
Regulación	----	----	Si
Transitorios	Si	Si	Si
Ruido	----	Si	Si
Armónicos	----	----	Según Características
Cortes	----	----	Si

Soluciones existentes. Existen diversas soluciones, las cuales aportan distintos grados de protección, y que en realidad forman parte de un proceso histórico de la evolución de las tecnologías electromagnéticas y electrónica. En la parte final de esta documentación, trataremos de las soluciones posibles a los transitorios, dado que implica una tecnología externa al SAI, así como unas recomendaciones en la instalación.

Transformador de aislamiento. Equipado de pantalla electrostática o bobinado mediante carrete separador, permite obtener una atenuación importante de ruidos y parásitos. La atenuación de éstos depende de la concepción y calidad del mismo. No soluciona variaciones, cortes ni micro cortes. Su utilidad estriba únicamente en la atenuación de ruidos.

Transformador ferro resonante: Disponen de un condensador en la salida, en paralelo con bobinas secundarias, con lo que se proporciona una realimentación magnética y se consigue una estabilización de salida, esta técnica fue muy empleada, (antiguos estabilizadores para T.V.), pero obtiene muy poco rendimiento. La aplicación de este tipo de transformador, usado para hacer frente a problemas de regulación quedó en desuso, con la aparición de los estabilizadores electrónicos.

Regulador de voltaje, Estabilizador: Ofrece soluciones cuando el problema estriba en variaciones de red, sin embargo depende en gran modo de sus características, tiempo de respuesta y margen de regulación. Consiste en la conmutación de diversas tomas de un transformador, a fin de seleccionar el voltaje de salida requerida. Pueden incorporar un transformador de aislamiento, de modo que solucionan a la vez el problema de ruidos, pero son incapaces de solucionar los cortes, micro cortes y las variaciones de frecuencia de la red, puesto que no aportan autonomía. Existen dos familias de estabilizadores, el ferro resonante y los electromagnéticos. Los primeros actúan por saturación del núcleo del transformador. Los segundos mediante conmutación de tomas.

Acondicionadores de red: Es la combinación de un transformador de aislamiento y un regulador de red. Pueden por tanto ser ferro resonante o electromagnético. Logran buenos resultados frente a variaciones y parásitos de red, pero siguen siendo impotentes frente a cortes y variaciones de frecuencia, en cambio su coste empieza a ser importante.

CAPITULO 2

“PILAS”

CAPITULO 2

“PILAS”

2.1 INTRODUCCIÓN.

La utilización de reacciones químicas para producir electricidad se inició en marzo de 1800, cuando el físico italiano Alessandro Volta (1745.1821), describió dos baterías ante la Royal Society de Londres. A la primera de éstas se le llamó “corona de copas” (“Crown of Cups”) debido a que consistía en un grupo de copas dispuestas en un modelo circular. Cada una de las copas se llenó con una solución salina (el electrólito) y contenía dos bandas (electrodos) de metales diferentes (plata y zinc), con cada una de las dos bandas conectadas externamente a su compañero adyacente. Estas, por supuesto, estaban conectadas en serie y fueron las iniciadoras de varios Sistemas cilíndricos de celdas. En el otro diseño que presentó Volta, los metales diferentes estaban dispuestos en forma de “pila”, muy parecidos a una serie de monedas en un recipiente cilíndrico, con un pedazo de papel humedecido en sal que separaba las capas de metal alternativamente. Esta fue la idea original de la moderna celda de oblea o de placas planas.

En la mayor parte de los casos, las baterías se utilizaron con algunas variaciones del concepto de la corona de copas hasta alrededor de 1860, cuando Gastón Plante describió ante la Academia francesa de Ciencias una batería que utilizaba electrodos de plomo y óxido de plomo y un electrólito de ácido sulfúrico. Esta, por supuesto, se convirtió finalmente en la batería de automóvil de hoy, que se ha diversificado en tamaños y tipos de acabados para gran cantidad de aplicaciones. La contribución de Plante fue particularmente notable ya que alcanzó niveles de alta potencia.

Trabajando al mismo tiempo otro francés, Georges LeClanche, concibió la idea de tener todo el electrólito de la batería absorbida por sus electrodos, de tal manera que esencialmente funcionaría como si éstos estuvieran secos. En 1868 LeClanche recibió una patente para dicha celda “seca” y emprendió su fabricación; él utilizó como uno de sus electrodos al dióxido de manganeso en su celda, así como una barra de carbón como colector de corriente. Una copa de zinc no sólo formaba el recipiente de la celda, sino que también servía como el Otro electrodo. La celda de LeClanche, por lo tanto, es el antepasado directo de las ahora familiares celdas secas utilizadas en los *flashes*, desarrollo éste, verdaderamente significativo ya que proporcionó una fuente realmente móvil de energía eléctrica, generando de esta manera el crecimiento de la industria de las baterías y de gran cantidad de dispositivos que las utilizan.

Actualmente se tiene un espectro muy amplio de dispositivos que producen energía eléctrica a partir de una reacción química controlada. Por su tamaño, van desde las celdas de “botón” diminuto de mercurio, como las empleadas en suministrar potencia a los dispositivos para la audición, hasta las celdas más grandes de plomo-ácido empleadas para proporcionar toda la potencia requerida, incluyendo la necesaria para impulsar los submarinos sumergidos. Una pequeña celda de botón (p.ej. del tamaño M5) tendrá un diámetro menor de 7.9375 cm, con una altura ligeramente superior a 0.3175 cm y con un peso aproximado de 0.57 gramos. Una celda convencional para submarino será de aproximadamente 45.72 cm, de ancho por 45.72 cm de largo y 167.64 cm de altura, con un peso superior a una tonelada. La pequeña M5 tiene una capacidad de 36 mAh, mientras que su gigante prima utilizada en los submarinos tiene una capacidad medida en kilo ampere-horas.

No sólo existe una continuidad de tamaños casi completa entre estos dos extremos, sino que ahora también hay, como productos comerciales usuales, varios sistemas de celdas diferentes, cada uno de los cuales tiene una combinación diferente de propiedades para cada una de las necesidades específicas distintas. Además de las celdas de Plante y de LeClanche, se pueden utilizar las baterías de cadmio para un ciclo de vida mayor, las celdas de hierro-níquel para trabajo pesado, las de plata-zinc para alta potencia, las de mercurio para altas capacidades, las alcalinas para una flexibilidad sobresaliente, las secas de magnesio para una buena estabilidad en condiciones de calor, climas húmedos, y así sucesivamente. Además de los tamaños y tipos, se pueden obtener muy distintas propiedades de funcionamiento a partir de diferentes formas físicas básicas. Hay celdas de formas cilíndricas y rectilíneas (que emplean electrodos planos o tubulares). Entre otras formas se incluyen las celdas de oblea (redondas o rectangulares) para facilidad de apilamiento con objeto de generar altos voltajes y ahora, incluso, en forma de pila para apilarlas mejor y generar voltajes aún más altos. A pesar de esta variedad, los principios básicos sobre los que descansan las reacciones químicas que se utilizan para proporcionar energía eléctrica —o el proceso inverso en que la energía eléctrica se puede utilizar para generar reacciones químicas— puede entenderse muy fácilmente.

BATERÍA PRIMARIA En la celda seca común (también conocida como celda de carbón-zinc o de LeClanche) se utiliza el dióxido de manganeso como cátodo y el zinc (Zn) como ánodo. El electrólito es una solución de cloruro de amonio y/o cloruro de zinc. Cuando el ánodo y el cátodo se conectan a través de un alambre de forma que permita a los electrones circular del ánodo al cátodo, la reacción entre el MnO_2 y Zn puede llevarse a cabo, estableciendo una corriente eléctrica en el circuito externo y haciendo que la batería se descargue, como se muestra en la figura 2.1.

Durante la operación, el zinc se convirtió en óxido de zinc (ZnO), liberando dos electrones que circularán a través del circuito externo para llegar a estar disponibles para el MnO_2 . Estos electrones son absorbidos entonces por el MnO_2 , de manera que este último pasa a ser un óxido de manganeso menos (como el Mn_2O_3). Se debe notar que los iones hidróxido (OH^-) y el agua entran en las reacciones, pero su participación neta se cancela. (Los iones hidróxido son partículas en solución compuestas por átomos de hidrógeno y oxígeno que llevan una simple carga negativa) Como se verá, la batería puede seguir produciendo un flujo de electrones hasta que uno de los otros agentes químicos reactivos se agote, en cuyo caso se dice que la batería se ha descargado.

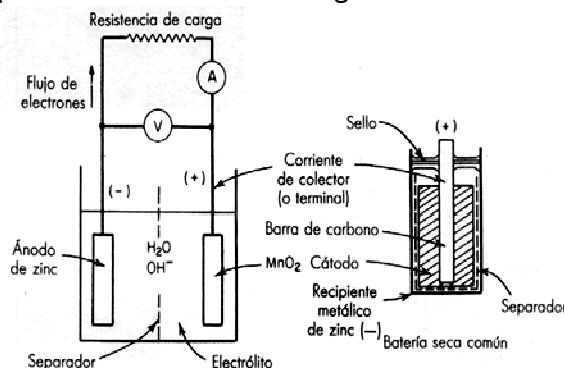


FIGURA 2.1. Funcionamiento básico de una batería seca (primaria).* Las abreviaturas “h” para “hora” y “s” para “segundo” siguen el sistema SI recomendado por la IEEE.

En resumen, una batería almacena sustancias químicas (no electricidad) y puede generar una reacción entre estas sustancias de modo que se produzca un flujo de electrones a lo largo de un circuito

externo. El tipo de celda que se acaba de describir se clasifica como batería primaria debido a que las reacciones químicas que generan la corriente eléctrica no son fácilmente reversibles. Por conveniencia, como el flujo de la corriente eléctrica se opone al flujo de electrones, se designa al cátodo como electrodo positivo, mientras que al ánodo se designa como negativo.

BATERÍA SECUNDARIA Cuando los materiales activos se agotan, una batería primaria no es capaz de generar ninguna energía eléctrica y en consecuencia se encuentra descargada. Otros sistemas de baterías utilizan materiales que se pueden restablecer en su estado químico original al invertir el flujo de la corriente, es decir, al proporcionar energía eléctrica a la celda a partir de una fuente externa. A este proceso se le conoce como carga, y una batería en la cual se pueden llevar a cabo varios ciclos de descarga-carga se conoce comúnmente como batería secundaria. Un ejemplo de batería secundaria es el sistema desarrollado a partir de ácido-plomo, ilustrado en la figura 2.2. Por definición, el ánodo en el proceso de descarga llega a ser el cátodo en la carga. De igual manera, el cátodo en la descarga llega a ser el ánodo en la carga. Sin embargo, las designaciones positiva y negativa de las terminales no cambian, ya que el flujo o circulación de la corriente se invierte cuando la función de los electrodos de las baterías secundarias se denominan con frecuencia positivos y negativos, y aun cuando esta designación también se puede utilizar para las baterías primarias, los electrodos de estas últimas generalmente se conocen como ánodos y cátodos.

En sus formas más comunes, tanto las baterías primarias como las secundarias son completamente funcionales a partir del momento en que se fabrican. Debido a esta característica, puede ocurrir un deterioro lento a consecuencia de que una pequeña cantidad reaccione espontáneamente o sufra una “acción local” que aparezca cuando se encuentren funcionando las baterías.

BATERÍAS DE RESERVA Cuando se desea que la batería tenga un tiempo extra de vida de almacenamiento (es decir, que sea capaz de generar energía eléctrica después de largo tiempo de almacenamiento), el electrólito se retiene en la batería y se toman algunas medidas para excluir la humedad, ya que el agua, en alguna forma, se suele necesitar para que se puedan llevar a cabo las reacciones locales. Este tipo de batería es extremadamente estable durante su tiempo de almacenamiento y se activa por medio de la presencia de un electrólito apropiado. Debido a que la potencia de este tipo de baterías se conserva de esta manera en reserva, con frecuencia se conocen como “baterías de reserva”. Un tipo especial de batería de reserva se conoce también como batería de “carga seca”. En este caso los electrodos de la batería se llevan al estado de carga completa en el momento en que se fabrican y después se desactivan al quitar el electrólito. El restablecimiento del electrólito en el momento y lugar en que la batería lo necesita da lugar a que virtualmente se pueda tener una batería de fabricación reciente. Gran cantidad de baterías para automóvil se transportan hoy en condiciones de cargado seco de tal manera que el vendedor debe añadirle el electrólito (ácido sulfúrico diluido) en el momento de su instalación.

Hay una clase especial de baterías de reserva que utilizan una sala electrolítica no acuosa o fundida. Estos tipos de electrólitos no contienen agua y utilizan líquidos orgánicos, o sales que llegan a ser conductivas cuando están fundidos. Este último tipo de electrólito se deberá licuar antes de que llegue al estado funcional y la batería, por lo tanto se activará por medio de calor. Esto se suele llevar a cabo por medio de un dispositivo que lo calienta, sin que llegue a estallar y funde el electrólito para que active la batería. A este tipo de batería se le conoce como batería de reserva tipo termal, batería

de reserva activada por calor o simplemente batería térmica. Una batería térmica usual tendrá la forma de una pequeña celda tipo botón constituida por un ánodo de calcio o magnesio, un cátodo de cromato de plata y un electrólito compuesto por una mezcla de potasio, sodio y cloruro de litio. Este tipo de batería tiene una capacidad de almacenamiento indefinida, a diferencia de los tiempos de descarga que sólo son de algunos minutos en el mejor de los casos. Sin embargo, ha encontrado una aplicación especial cuando se utiliza como suministradora de potencia en fusibles o mechas colocadas próximamente. Algunas otras descripciones acerca de las baterías de reserva se harán después en este capítulo junto con Otros tipos especiales.

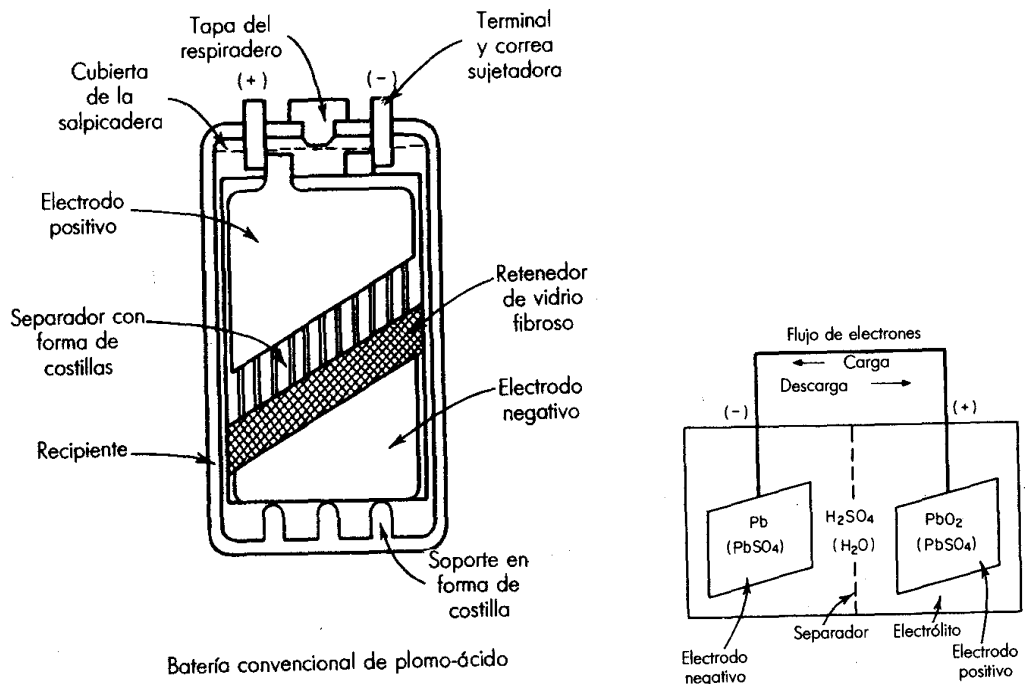


FIGURA 2.2. Funcionamiento básico de una batería de plomo-ácido (secundaria).

2.2 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE BATERÍAS PRIMARIAS COMERCIALES

Gran cantidad de diferentes tipos de celdas primarias se produce actualmente para su venta pero sólo algunas de ellas han logrado la producción y distribución masivas. En la actualidad, cada uno de los sistemas de celdas tiene propiedades físicas y eléctricas diferentes a las demás, para que el usuario tenga una amplia variedad en donde escoger el tipo que mejor se adapte a su aplicación particular. En la tabla 2.1 se comparan las propiedades de diferentes sistemas de celdas primarias que corresponden a las más ampliamente distribuidas y representan un interés comercial mayor.

TABLA 2.1. Características de las baterías primarias comercialmente más importantes.

TIPO	VOLTAJE A CTO. ABIERTO V	VOLTAJE PROMEDIO DE OPERACIÓN V	Wh / Lb	Wh / in ³
LeClanche	1.50 - 1.65	1.25	5 - 40	0.5 - 3
Alcalina	1.52	1.20	20 - 50	2.0 - 3.5
Mercurio	1.35 - 1.40	1.25	25 - 55	5 - 8
Magnesio seco	1.90 - 1.95	1.50	15 - 50	1 - 4

De ellos, el más importante es el sistema LeClanche, también conocido como celdas de carbón-zinc o simplemente como “celdas secas”. Esta última designación es la que más se ha difundido, aunque en realidad las celdas no son secas, pues contienen un electrólito como los otros tipos de baterías, pero este electrólito se absorbe en el material activo del cátodo, de manera que parece que tiene una celda seca.

TIPOS BÁSICOS La industria de las celdas secas las ha estandarizado en tres tipos básicos: redondas, planas y tipo oblea. Además, la industria estandarizó las dimensiones para 14 tamaños de celdas redondas, 4 tamaños para planas y 5 para la de tipo oblea. Virtualmente, todas las baterías son de estos tamaños estándar, que se detallan en la tabla 2.2.

No obstante, algunos fabricantes establecen su propio catálogo de información en el que muestran las dimensiones exactas de sus celdas y baterías. Las celdas secas se utilizan para atender gran cantidad de necesidades eléctricas en términos de capacidad, voltaje y corriente. Por ejemplo, una luz de flash puede necesitar alrededor de 0.25 A a 3 V, mientras que un pequeño radio de transistores puede requerir solamente unos 5 mA a 9 V. Para poder satisfacer una variedad interminable de necesidades referentes a capacidad voltaje corriente, la industria ha desarrollado estos tipos y tamaños estándar, de manera que puedan hacerse combinaciones en serie o en paralelo y satisfacer casi cualquier necesidad de potencia deseada.

POLARIZACIÓN DE CELDAS SECAS Durante el proceso de descarga de una celda seca, el electrólito toma parte activa en las reacciones del electrodo. En la vecindad de los sitios reales de la reacción, el electrólito en un electrodo llega a empobrecerse en los reactantes que lo constituyen, mientras que el electrólito del otro electrodo llega a concentrarse con los productos de la reacción. Esta condición, conocida como polarización, disminuye (o incluso bloquea) cualquier reacción posterior. Este efecto da como resultado la disminución del voltaje a razón del cual la batería se está descargando, o la restricción de la magnitud de la corriente que puede tomarse de la batería.

Después de que ocurre esto, la batería continúa descargándose. De esta forma, las celdas secas pueden generar más energía cuando se tiene una descarga intermitente que si fuese continua. Como podría esperarse de esto, la descarga normal de una celda seca muestra una disminución continua de voltaje hasta que se alcanza el voltaje de corte deseado (generalmente 0.9 V). Ya que el efecto de difusión actúa contra la polarización, las celdas que descargan a bajas velocidades (en las que la difusión puede seguir el paso de la polarización) muestran voltajes que disminuyen muy despacio, pero disminuyen muy rápidamente cuando la batería se va agotando. Cuando las celdas se descargan a gran velocidad (en las que los efectos de polaridad dominan), muestran una disminución muy rápida de voltaje durante la descarga, pero también una buena recuperación después de un periodo de “reposo”. Esto se ilustra en la figura 2.3.

TABLA 2.2. Tamaños estándar comerciales de las baterías (secas) de LeClanche.

Designación de la batería		Dimensiones nominales * in		
Instituto Nacional Americano de estándares	Comisión Internacional Electroquímica	Diámetro	Altura del recipiente metálico	
Celdas Circulares				
N	R1	27/64	1 1/64	
N	R1	7/16	1 3/32	
R	R4	17/32	1 3/8	
AAA	R03	25/64	1 11/16	
AA	R6	17/32	1 7/8	
A	R8	5/8	1 7/8	
B	R12	3/4	2 1/8	
C	R14	15/16	1 13/16	
CD	R18	1	3 3/16	
D	R20	1 1/4	2 1/4	
E	R22	1 1/4	2 7/8	
F	R25	1 1/4	3 7/16	
G	R26	1 1/4	3 13/16	
6	R40	2 1/2	6	
CELDAS PLANAS				
		LONGITUD	ANCHO	ESPESOR
F40	F40	1 1/4	27/32	7/32
F70	F70	2	1 1/4	7/32
F90	F90	1 5/8	1 9/16	13/16
F100	F100	2 13/32	1 13/16	1 27/32
CELDA TIPO OBLEA				
F15	F15	9/16	9/16	1/8
F20	F20	15/16	7/32	1/8
F30	F30	1 1/4	27/32	1/8
F25	F25	15/16	15/16	7/32
F40	F40	1 1/4	27/32	9/32

* Celdas sin cubiertas, es decir, sin tomar en consideración el terminado y el etiquetado del fabricante.

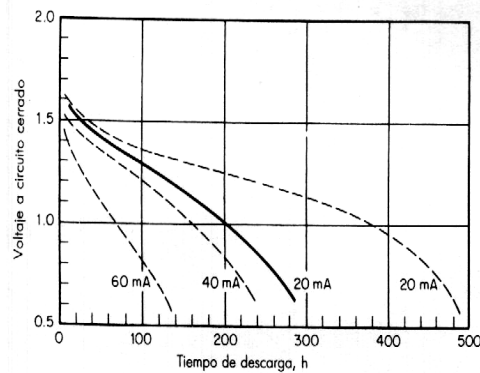


FIGURA 2.3.

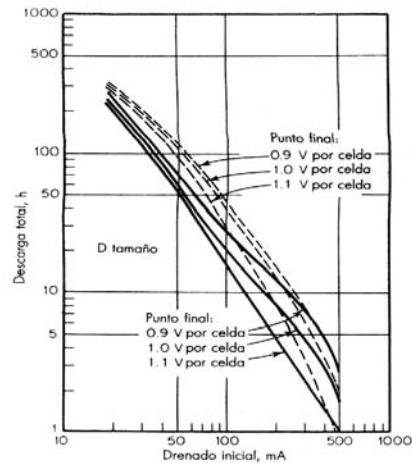


FIGURA 2.4.

FIGURA 2.3. Características de descarga de celdas secas de LeClanche; celdas tamaño D mostrando una carga continua (línea continua) y valores nominales altas y bajos de descargas intermitentes durante 4 h/día (líneas cortadas).

FIGURA 2.4. Curvas nominales para una celda típica de forma circular de LeClanche. Las líneas continuas muestran una descarga constante; las líneas cortadas muestran una descarga intermitente (4 h/día).

DATOS DE COMPORTAMIENTO Debido a la gran variedad de circunstancias en que se descargan las celdas secas, los datos acerca del comportamiento son difíciles de resumir. Sin embargo, se han desarrollado algunos métodos bastante buenos para correlacionar anticipadamente el comportamiento con las condiciones utilizadas. Un procedimiento utilizado con frecuencia consiste en correlacionar la capacidad, expresada como tiempo de funcionamiento, con la rapidez del drenado inicial de la descarga, es decir, después de la estabilización inicial del voltaje de la batería. Estas descargas se basan en la resistencia constante que tiene la carga. En una representación gráfica el servicio de vida en horas se da como la ordenada, contra una abscisa que corresponde al drenado inicial en miliamperes. Por conveniencia se utiliza una gráfica tipo log.log. Como se indicó antes, el voltaje mínimo de utilidad también tiene un efecto, cuyas gráficas suelen mostrar una familia de curvas para varios voltajes finales de descarga. En las figuras 2.4 y 2.5 se presentan las curvas nominales representativas para celdas redondas y tipo oblea que funcionan de manera continua e intermitente.

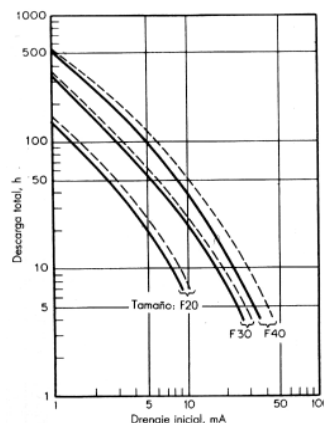


FIGURA 2.5. Curvas nominales para una celda seca usual tipo oblea. Las líneas continuas muestran una descarga continua: las líneas cortadas representan una descarga intermitente (4 h/día).

Los fabricantes de baterías secas tienen un control considerable sobre el funcionamiento de sus baterías gracias al cuidado que se pone en las fórmulas combinadas. Las baterías que se utilizan esencialmente para un drenaje pequeño, pero que necesitan una capacidad muy grande (p.ej. para proporcionar potencia a los radios de transistores), emplean fórmulas combinadas que proporcionan esa característica. Esto se muestra en la figura 2.6, donde puede verse cómo puede controlarse la característica de la descarga incluso en un solo tamaño físico.

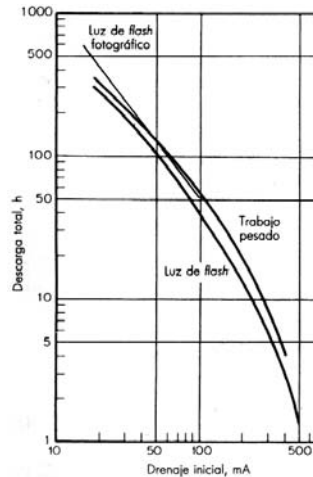


FIGURA 2.6. Curvas nominales que ilustran el efecto de una mezcla compuesta celdas de tamaño D que representan una descarga intermitente (4 h/día), con un % de voltaje bajo.

Otros medios para especificar la capacidad en términos de la cantidad de electricidad que puede drenarse en condiciones de descarga. Normalmente, esto se establece en ampere-horas, miliampere-horas o ampere-minutos. Sin embargo, la capacidad expresada de esta manera es difícil de calcular ya que con una carga constante la corriente variará con el tiempo como resultado de que el voltaje de la batería varía con el tiempo. En estas condiciones, la capacidad en ampere-horas puede tomarse como el producto de la corriente promedio y el tiempo de descarga.

REQUISITOS DEL AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI) Para muchos propósitos, el American National Standards Institute ha desarrollado procedimientos de prueba y especificaciones mínimas, que se describen con detalle en el manual 71 del National Bureau of Standards. Algunos de los procedimientos de prueba y especificaciones aparecen en la tabla 2.3.

TABLA 2.3. Procedimiento de prueba de la ANSI y especificaciones de comportamiento.

Nombre de la prueba	Horario de descarga diaria	Resistencia por unidad de 1 ½ V	Punto final por unidad de 1 ½ V	Tamaño de la celda	Requisitos iniciales de la ANSI
Luz de flash de propósito general, para representar un foco de 0.5 A.	Periodo de 1.5 min	2.25	0.65	D propósito general	400 min
Luz de flash de propósito general, para representar un foco de 0.3 A.	Periodo de 15 min	4	0.75	C AA	325 min 80 min
Luz de flash de propósito general, para representar un foco de 0.22 A.	Periodo de 15 min	5	0.75	AAA	50 min
Luz de flash de industria pesada, para representar un foco de 0.3 A.	32 Periodos de 4 min	4	0.9	D industrial	800min
Luz de flash para luz industrial pesada, para representar un foco de 0.3 A.	8 Periodos de 4 min	4	0.9	D propósito general e industrial	600 min 950 min
Linterna de ferrocarril para representar un foco de 0.15 A.	8 Periodos de ½ h	8	0.9	F	45 h
Prueba de Flash fotográfico	60 Periodos de 1s (1 descarga/min durante 1 h/día)	0.15	Tamaño D 0.5, C 0.25 y tamaños AA	Luz fotográfica D Luz fotográfica C Luz fotográfica AA	800s 700s 150s
Radio A	1 Periodo de 4 h	25	1.0	F G	140h 170h
Radio B	1 Periodo de 4 h	166 2/3	1.0	F40 A F90 F (4 celdas en paralelo #6 de propósito general #6 industrial)	30h 130h 225h
Intermitencia pesada	2 Periodos de 1 h	2/3	0.85		70 h

VIDA DE ALMACENAMIENTO Entre las características especiales de las baterías secas, una de las más importantes es la vida o tiempo de almacenamiento. Como se indicó previamente, las baterías producen energía eléctrica como resultado de las reacciones que tienen lugar simultáneamente en dos electrodos de otra manera independientes. En algunas circunstancias es posible que la reacción de cada uno de los electrodos suceda con independencia del otro, proporcionando de esta forma energía eléctrica útil para un circuito externo. A estas reacciones se les conoce como fenómenos de “acción local” y tienen el efecto de consumir los materiales sin proporcionar energía eléctrica utilizable. En una batería, la acción local afecta básicamente al ánodo o electrodo negativo. Generalmente, uno de los productos resultantes de la acción local es la generación de gas hidrógeno, que puede dar lugar al establecimiento y crecimiento de una presión interna, de manera que se tengan que adoptar algunas medidas con objeto de no permitir que se escape dicho gas. Generalmente, esto se lleva a cabo al hacer que los poros del carbón central del electrodo permitan que el hidrógeno pueda difundirse lenta y seguramente por la batería. Deberá observarse que esto representa una dificultad para el diseño, debido a que el agua que debe permanecer en la batería para que ésta pueda funcionar apropiadamente podría escapar también al seguir esta ruta (sobre todo cuando se presente una elevada temperatura).

A consecuencia del esfuerzo desarrollado durante el pasado, la vida de almacenamiento de las baterías secas de calidad durante el almacenamiento (es decir, a la temperatura y humedad normales) ha alcanzado el nivel de 18 a 21 meses, tiempo en el cual la batería todavía puede proporcionar hasta las dos terceras partes de la vida de servicio original.

Al considerar el almacenamiento de las celdas de LeClanche, las temperaturas bajas son muy benéficas. Por ejemplo, una celda seca almacenada a 0.0 °C retendrá originalmente toda su capacidad durante dos años. Debe hacerse notar, sin embargo, que la batería tendrá que calentarse hasta alcanzar la temperatura ambiente para que pueda utilizarse a su máxima capacidad, lo que se tendrá que hacer lentamente para evitar que la humedad condensada dañe físicamente la armadura de la batería.

El sistema de LeClanche también es útil en el diseño que produce voltajes altos en espacios pequeños. Para este tipo de baterías, las celdas tipo plana o de oblea se utilizan con mayor frecuencia. Estas baterías se utilizan mucho cuando no es necesario tener capacidades grandes, pero sí altos voltajes. Debido al fácil apilamiento de la celda plana en espacios rectangulares la eficiencia para el espaciado útil en este tipo de baterías es muy grande. Además, se pueden acondicionar muy fácil y eficientemente gran número de celdas conectadas en serie con objeto de producir el voltaje deseado. Las baterías constituidas con celdas tipo oblea o planas han encontrado, por consiguiente, un amplio uso en instrumentación, por ejemplo baterías para radio tipo B e incluso baterías para radio tipo A (especialmente cuando las necesidades de potencia no son excesivas).

Las propiedades eléctricas especiales aunadas a la variedad de diseños y formas disponibles en el mercado, han dado como resultado un empleo muy amplio de las baterías de LeClanche en las luces de *flash*, es radiorreceptores y radiotransmisores, en equipo fotográfico, en medidores portátiles y algunos otros dispositivos (generalmente de baja potencia).

BATERÍAS ALCALINAS En su primera aparición, las celdas primarias alcalinas MnO_2 , algunas veces identificadas como celdas alcalinas secas o simplemente celdas alcalinas, parecían tener una relación muy cercana con las celdas de LeClanche. De hecho, existen bastantes similitudes entre ambas, como por ejemplo el que los materiales electroquímicamente activos sean idénticos (el cátodo de MnO_2 , y el cátodo de zinc), como se ilustra en la figura 2.7. Por otro lado, también existe gran semejanza en las formas y tamaños en que se encuentran disponibles. No obstante, en la celda alcalina se utiliza una solución de concentración alcalina muy fuerte constituida por hidróxido de potasio como electrólito en lugar del $ZnCl_2$ y NH_4Cl , que se utiliza en los Sistemas convencionales de LeClanche. Además, el zinc existe en forma granular, de manera que presenta una superficie muy grande al electrólito. Estos factores alteran profundamente las características eléctricas, y algunas otras, de la batería. Por ejemplo los efectos de polarización en celdas alcalinas son menos pronunciados que en las celdas secas convencionales (en condiciones de descarga equivalentes) y gran parte de la energía puede retirarse a niveles altos de potencia. A lo largo de estas líneas de relación, también se ha encontrado que sus características de descarga se pueden definir y catalogar más fácilmente, ya que la variación del voltaje durante la descarga es tal vez menor que en la celda de LeClanche. Las baterías alcalinas secas son, por consiguiente, calculadas de acuerdo con su capacidad, que se toma casi siempre de acuerdo con un drenaje nominal particular. Por conveniencia se utiliza en este cálculo el drenaje

inicial nominal y la capacidad se expresa normalmente en miliampere horas o ampere-horas. En la tabla 2.4 se resumen los tamaños y características eléctricas de las celdas alcalinas cuyos tamaños son comercialmente más importantes.

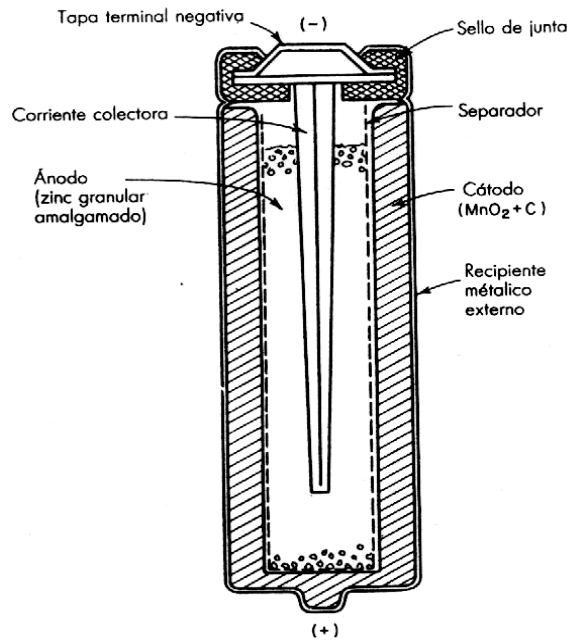


FIGURA 2.7. Celdas primarias alcalinas

Al igual que en las celdas de LeClanche, las celdas alcalinas suelen tener buenas características de almacenamiento. De hecho, las celdas alcalinas se sellan debido a que las reacciones con efecto local que se llevan a cabo en celdas que se encuentran en buen estado no son muy importantes. A consecuencia de esto, la producción de hidrógeno es mucho más pequeña que la obtenida en las celdas de LeClanche, y con el cuidado necesario durante la fabricación, este hecho puede resultar despreciable.

TABLA 2.4. Tamaño y característica de celdas primadas alcalinas.

Designación de tamaño	mAh	Para un drenaje inicial de mA	Diámetro in	Altura in
N	580	18	0.47	1.12
A.AA	750	18	0.41	1.75
AA	1800	60	0.55	1.94
C	5000	100	1.31	1.93
D	10000	300	1.31	2.37

Debido a que las celdas alcalinas están selladas, tampoco existen pérdidas de humedad durante su almacenamiento y de esta forma las celdas alcalinas pueden conservarse bastante bien durante tiempos de almacenamiento prolongados. En casos prácticos, un tiempo de almacenamiento de dos a tres años (hasta el 80% de su capacidad original) es bastante común. También, debido a su sellamiento, las celdas alcalinas se pueden almacenar a temperaturas más altas que las celdas de LeClanche, y es factible almacenarlas hasta con 54.44°C durante largos periodos. Sin embargo, y ya que las temperaturas elevadas aceleran las reacciones con efecto local, no se recomienda que se expongan a temperaturas por arriba de 54.44°C en ningún momento. Asimismo, cuando la

temperatura de la celda disminuye, sólo hay una leve caída en la capacidad de las celdas alcalinas, haciéndolas muy apropiadas para el funcionamiento en ambientes de temperatura moderadamente bajas. En la tabla 2.5 se resumen los efectos cuantitativos de la temperatura.

Aunque la celda alcalina seca no suele tener ningún problema con la producción del gas hidrógeno, en condiciones adversas, como una sobre descarga o una temperatura demasiado alta, podría ocurrir una gasificación y la mayor parte de las celdas alcalinas tienen por ello un desahogo de seguridad que permite que el hidrógeno se pueda expulsar a una cierta presión sin que pueda provocar ningún efecto nocivo. Debido a sus propiedades básicas y especiales y a la capacidad para proporcionar niveles de potencia relativamente altos, las baterías alcalinas secas se emplean mucho en radios portátiles (sobre todo cuando se necesitan niveles de potencia altos), en equipo fotográfico y para el manejo de motores eléctricos de potencia fraccional, como los utilizados en rasuradoras eléctricas, en juguetes diversos y en algunas otras aplicaciones por el estilo.

BATERÍAS SECAS DE MERCURIO Otro sistema de celda que utiliza un electrólito alcalino, que ha alcanzado una posición comercialmente significativa es la celda seca de mercurio. La característica sobresaliente de las celdas de mercurio es que tienen las capacidades más grandes disponibles para un volumen determinado de batería primaria. Como puede observarse en la figura 2.8, un tipo de batería de mercurio resulta ser bastante parecido en su construcción al correspondiente a una batería alcalina. Desde el punto de vista físico, la mayor diferencia estriba en que el óxido mercúrico (HgO) se sustituye por el dióxido de manganeso, pero esto trae como consecuencia unos cambios muy acentuados en las características de las celdas. Además de tener capacidades muy altas, las celdas de mercurio poseen también un tiempo de almacenamiento sobresaliente debido a que el mercurio o los compuestos del mercurio tienen un efecto muy intenso en la reducción de las acciones locales. De hecho, el problema del tiempo de almacenamiento en relación con las celdas de mercurio estriba en la capacidad para sellar la celda más que la consideración de la acción química que pudiese llevarse a cabo.

TABLA 2.5. Efecto de la temperatura ambiente sobre las capacidades de celdas primarias alcalinas.

Servicio aproximado, % *			
Temperatura de descarga. °F	Drenaje ligero	Drenaje medio	Drenaje alto
113	100	100	100
70	100	100	25
30	70	40	25
- 4	25	20	5

Nota: Cuando los tiempos de descarga (a temperaturas ambientales normales) exceden aproximadamente 30 h los drenados se consideran ligeros; cuando son inferiores a aproximadamente 15 h, los drenados se consideran altos.* Celdas enfriada, a la temperatura ambiente antes de la descarga; el servicio para 21.11°C a un punto final de 0.8 V tomados como el 100 %.

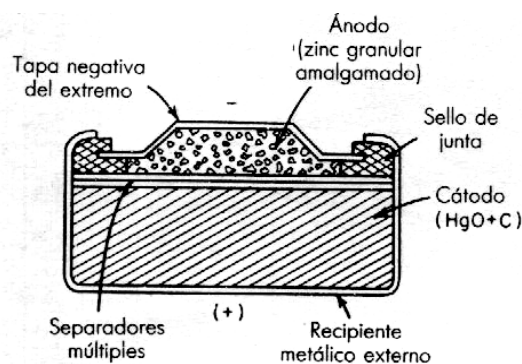


FIGURA 2.8. Diagrama esquemático de una celda de mercurio usual tipo botón. Nótese que las celdas cilíndricas de mercurio son muy parecidas a las celdas primarias alcalinas mostradas en la figura 2.7; su diferencia principal es la composición de la mezcla del cátodo.

Debido a esto, el tiempo de almacenamiento práctico parece estar limitado a aproximadamente dos o tres años en los tamaños más grandes y tal vez a uno o dos años en los tamaños más pequeños. Básicamente, las celdas de mercurio se ofrecen en el mercado en presentaciones de tamaños iguales a las celdas secas alcalinas y de LeClanche, pero además también se las hay en tamaños extremadamente pequeños denominados celdas tipo botón, que se ilustran esquemáticamente en la figura 2.8. En la tabla 2.6 se proporcionan los tamaños y pesos generales de los tamaños más importantes comercialmente.

TABLA 2.6. Tamaños comercialmente importantes de las celdas de mercurio.

Designación del tamaño, ANSI	Capacidad nominal Dimensiones nominales, in			
	mAh	A un drenaje de mA	Diámetro	Altura
M5	36	2	0.31	0.14
M8	100	3	0.46	0.13
M15	160	5	0.46	0.21
M25	350	3	0.46	0.57
M40	1000	3	0.63	0.65
M55(AA)	2400	0	0.55	1.97
M100(D)	14000	250	1.28	2.39

* Celda, sin cubierta, es decir, sin el terminado y etiquetado del fabricante

Las características de temperatura de las celdas de mercurio son muy parecidas a las correspondientes a las celdas alcalinas, excepto que para temperaturas bajas la capacidad decae un poco más rápidamente, de manera que la temperatura más baja adecuada para el funcionamiento de una celda de mercurio sería aproximadamente de -1.11°C , como se muestra en la tabla 2.7.

TABLA 2.7. Características de temperatura de las celdas de mercurio.

Temperatura de descarga, °F	Servicio aproximado, %	
	Drenaje ligero	Drenaje pesado
113	100	100
70	100	100
40	95	7
30	6	2

Nota. Cuando los tiempos de descarga (a temperaturas ambiente normales exceden 25 h aproximadamente, los drenados se consideran ligeros; osando son inferiores a aproximadamente 25 h, los drenados se consideran pesados. Las celdas se enfriasen a temperatura ambiente antes de descargarse; para un servicio a 21.11°C con un punto final a 0,9 V considerados como el 100%.

Además de su tiempo de vida de almacenamiento extremadamente bueno y de su “alta capacidad, las celdas de mercurio tienen otra característica sobresaliente denominada uniformidad del voltaje de descarga. Como puede verse de la figura 2.9, las celdas de mercurio tienen un voltaje de descarga casi uniforme, excepto durante un periodo corto al inicio y, por supuesto, al final de la descarga. Esto permite que los diseñadores de instrumentación y equipo electrónico puedan utilizar circuitos que no necesiten regular fluctuaciones de voltaje. El voltaje de las celdas de mercurio no sólo es estable, sino que también es altamente reproducible. Por lo tanto las celdas de mercurio encuentran una amplia aplicación en instrumentación como celdas que trabajan con voltaje estable (para que periódicamente se igualen comparándolas con celdas estándar, para una alta precisión y largo servicio). A consecuencia de su alta capacidad, de su gran disponibilidad en tamaños pequeños, de su buen tiempo de vida de almacenamiento y de su voltaje de descarga estable, las celdas de mercurio tienen una amplia gama de aplicaciones como, por ejemplo, en grabadoras de voz portátiles, en radioreceptores y algunos otros dispositivos parecidos.

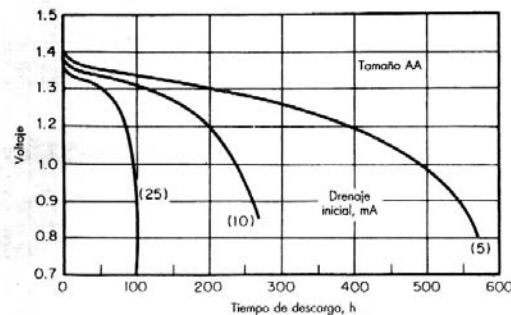


FIGURA 2.9. Características usuales de descarga de las celdas de mercurio.

BATERÍAS SECAS DE MAGNESIO No sería éste un estudio completo de las baterías primarias si no nos refiriésemos adecuadamente a la nueva celda seca de magnesio. Fundamentalmente, la celda seca de magnesio es la contraparte exacta del sistema de LeClanche, en donde la parte externa está hecha de una aleación de magnesio en vez de utilizar zinc.

Este “pequeñísimo” cambio está acompañado por varios cambios leves que dan como resultado un sistema completamente nuevo con un conjunto de características propias. Las propiedades más importantes de una batería seca de magnesio son su capacidad para mantener temperaturas altas, su posibilidad de almacenamiento con un alto grado de humedad y un tiempo de vida de almacenamiento extremadamente largo en condiciones normales. Además de esto, la batería seca de magnesio funciona con niveles de voltaje considerablemente más altos que las celdas convencionales secas de LeClanche o de mercurio. Esto se debe al hecho de que el magnesio es mucho más electropositivo (es decir, más activo) que el zinc. Sin embargo, por su efecto reactivo, se esperaría que la celda de magnesio fuera inestable, pero lo que realmente sucede es que el magnesio forma un recubrimiento de óxido muy delgado, pero impenetrable, que protege la capa de metal inferior del efecto de una acción local. Aunque se pueden utilizar electrolitos especiales (generalmente soluciones

de bromuro de magnesio o perclorato de magnesio) y que la celda debe cerrarse por medio de técnicas especiales con objeto de retener la humedad y permitir no obstante que el hidrógeno escape (ya que el hidrógeno se libera como un producto terminal de la descarga), es efectivamente la película protectora formada sobre el magnesio la que hace posible la construcción de la celda seca de magnesio. En la etapa presente de desarrollo, estas baterías pueden ser almacenadas sin problemas a 71.11°C durante 30 días sin una pérdida significativa de su capacidad (es decir, menor al 10%).

Aunque en la actualidad la producción total proveniente de todas las fuentes se ha canalizado a las aplicaciones militares, puede preverse que estas unidades se encontrarán muy pronto a disposición para aplicaciones comunes. Los tamaños de las celdas todavía no se han estandarizado y hoy sólo es posible presentar de manera temporal los datos sobre el comportamiento de los mismos. La información general que existe se presenta en la tabla 2.8 y en la figura 2.10.

TABLA 2.8. Tamaños usuales de celdas de magnesio

Designación de la celda, ANSI	Dimensiones nominales, in*	
	Diámetro	Altura
N	0.42	1.09
R	0.53	1.38
A	0.63	1.88
CD	1.00	3.19
U	1.25	2.25

*Celdas sin cubierta, es decir, sin el terminado y etiquetado del fabricante

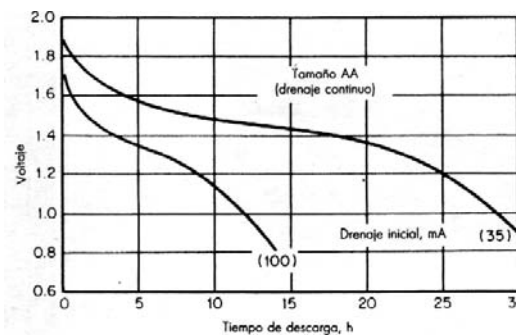


FIGURA 2.10. Características de descarga usuales de las celdas secas de magnesio.

Como podrá observarse en la tabla 2.1, las baterías secas de magnesio se encuentran en una posición plenamente competitiva con las baterías alcalinas y de mercurio en términos de capacidad de potencia por unidad de peso y capacidad por unidad de volumen. Recientemente, las celdas secas de magnesio han logrado una cotización más apropiada desde el punto de vista económico que la presentada por sus contrapartes de mercurio o alcalina. No obstante, al menos en un futuro inmediato, y sobre la base de costos, las celdas secas de magnesio difícilmente penetrarían en las áreas convencionales de las baterías secas, con excepción de las aplicaciones en que se necesitara un tiempo de vida de almacenamiento extremadamente largo (hasta cinco años) o cuando las baterías tuvieran que emplearse en áreas húmedas y calientes donde la posibilidad de conseguir celdas frescas de LeClanche es muy remota desde el punto de vista del usuario. Ya que las baterías de magnesio

pueden soportar condiciones de almacenamiento extremadamente adversas durante penados relativamente grandes pueden transportarse hasta su destinatario, en países tropicales o semi tropicales, con su capacidad completa o casi completa. El extraordinario tiempo de vida de almacenamiento del sistema (comparado con las celdas secas convencionales) se muestra en la 2. 11. En este caso, tanto el tipo de magnesio como el de carbono- zinc muestran muy poca pérdida de capacidad después de tres meses de almacenamiento a la temperatura ambiente, más para un almacenamiento a temperaturas elevadas, la superioridad del sistema de magnesio se evidencia por sí mismo. Para temperaturas de almacenamiento realmente altas, la celda del tipo carbono-zinc decae rápidamente, mientras que la de magnesio retiene la mayor parte de su capacidad original.

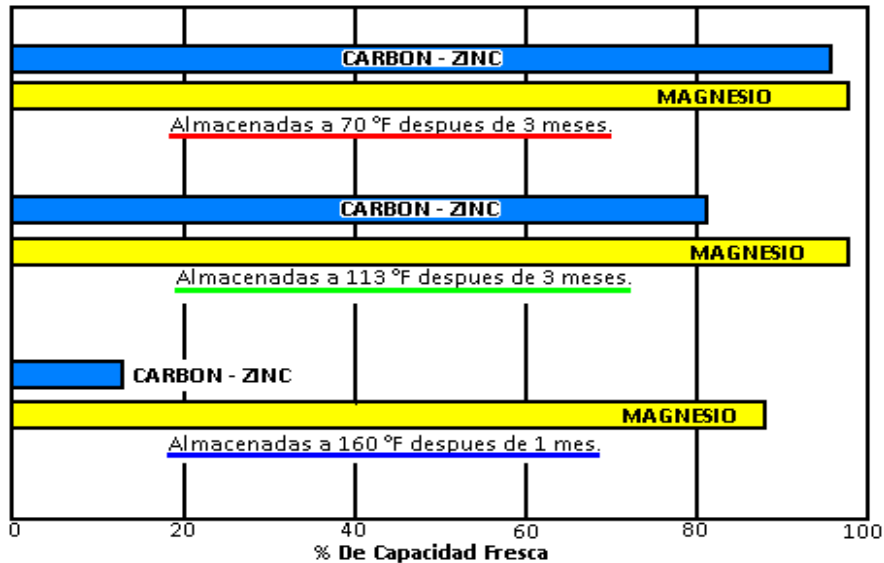


FIGURA 2.11. Comparación de las capacidades de tiempo cte. almacenamiento a altas temperaturas de las baterías secas de magnesio y carbón-zinc.

Existen otras baterías primarias que han alcanzado un grado semejante de valor comercial, como la constituida por zinc-plata, aire despolarizado y otras, pero cuyo uso todavía no es lo suficientemente general como para garantizar su estudio en este momento. Sin embargo, deberá mencionarse que la celda primaria de zinc-plata sí tiene una capacidad nominal muy alta y una capacidad aproximadamente 80% mayor que la que tiene su contraparte secundaria, que se estudiará después en este capítulo. Desde el punto de vista físico, es muy parecida a la versión secundaria de la forma de carga seca (que se muestra en la figura 2.15), excepto que normalmente no tiene un diafragma restrictivo de iones. Esta alta capacidad se debe al hecho de que el electrodo de plata se oxida a un nivel más alto antes del ensamblado de la celda comparado con la forma convencional de hacer después del ensamblado y activación de la celda (como podría ser el caso del funcionamiento del secundario). Antes de llegar al estudio de los sistemas recargables, se incluye la figura 2.12 con objeto de ilustrar las formas físicas actuales de los sistemas primarios que aquí se han considerado.



FIGURA 2.12. Ilustración de muestras de baterías primarias (*Cortesía de Burgess Batters-y Company*).

2.3 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LOS TIPOS SECUNDARIOS COMERCIALES. Aunque existe gran número de baterías secundarias o recargables sólo tres de ellas han alcanzado una importancia significativa desde el punto de vista comercial; se trata de los Sistemas correspondientes de plomo-ácido, níquel-cadmio y plata-zinc.

2.3.1 BATERÍA DE PLOMO-ÁCIDO El sistema de plomo-ácido es el más importante desde el punto de vista comercial y además está ampliamente distribuido. Se encuentra en el mercado en gran variedad de tamaños y formas para satisfacer las aplicaciones que necesitan una gama amplia de capacidades y niveles de potencia. En la tabla 2.9 se proporciona un interesante resumen de los tipos que hay en el mercado. Se deberá advertir que mientras los tamaños de las baterías están ordenados de acuerdo con el aumento de la capacidad, algunas de ellas son para 6 V (tres celdas), 12 V (seis celdas) o 2 V (una sola celda), de manera que la tabla abarca mucho más que lo que en principio aparenta. Se deberá advertir algo interesante que se refiere a las unidades de 50 y 100 Ah; ellas son aproximadamente del mismo tamaño y peso a pesar de que hay una diferencia de dos veces en la capacidad. Esto se explica por medio del hecho de que los dos tienen el mismo contenido de energía, 600 Wh (que se obtiene al multiplicar la capacidad en amperes-horas por el voltaje de la batería, como se indicó antes).

Es importante observar que la capacidad y las posibilidades de potencia de una batería recargable dependen en gran medida de su historia anterior. Una situación común sobre todo en las baterías de plomo-ácido, es que la capacidad creció durante la primera parte del ciclo de vida, después mantuvo un valor sustancialmente uniforme durante la mayor parte de la vida útil de la batería y finalmente decae (cada vez más rápidamente) a medida que se acerca el fin de su vida. A menos que ocurra un hecho accidental que termine con su vida, cómo puede ser un cortocircuito o la pérdida del electrolito a través de un recipiente fracturado, etc., el fin de la vida de una batería llegará cuando su capacidad decaiga por debajo de un nivel en el cual la aplicación ya no resulta útil. Para la mayor parte de las aplicaciones, este nivel será de aproximadamente el 60% de su capacidad original.

TABLA 2.9. Tipos de Baterías que hay en el mercado de acuerdo con el aumento de la capacidad.

Capacidad Ah de tamaño nominal para 20 h	Numero de Celdas	Dimensiones nominales in*			
		Longitud	Altura	Ancho	Peso Aproximado
4	3	2 ¾	1 7/8	4	1 ¾
8	3	5 ½	2	4 ¾	4
30	6	8	5 3/8	9 1/8	27
50	6	11 ½	7 1/8	9 1/8	50
100	3	10 3/8	7 1/8	9 1/8	46
200	6	21 5/8	1 1/8	10 ¼	147
280	1	5 1/8	6 ¼	15 ¼	60
420	1	5 1/8	6 ¼	21 3/8	84

Respecto al valor calculado de las nuevas baterías, distintos fabricantes mantienen puntos de vista de alguna manera distintos. Algunos, por ejemplo, pueden calcular una batería basándose en la manera en que se comporta durante el primer ciclo de descarga en manos del usuario, mientras que otros utilizan el hecho de que la capacidad suele crecer durante la primera etapa del ciclo de vida y calculan la vida de una batería después de que ésta se ha “acondicionado” al uso. Si la capacidad de la batería es la cuestión crítica, el usuario deberá determinar cuál de estos sistemas sirve de base para calcular la batería.

Las condiciones de descarga afectan también profundamente la capacidad y las posibilidades de potencia de las baterías recargables. Como regla general, una batería podrá desplegar su mayor capacidad cuando se descargue lentamente. Para las baterías de plomo-ácido, esta rapidez de descarga se escoge por lo general como 20 h, aproximadamente. Se ha originado gran confusión a consecuencia del método industrial para expresar la rapidez de descarga de una batería. La frase “una rapidez de 20 h”, significa que la batería se está descargando con una corriente que agotará la capacidad de la batería en 20 h. La confusión resulta del hecho de que se necesita conocer cuál es la capacidad de la batería en la condición de una corriente de drenado particular con objeto de poder determinar la corriente a la cual se estará descargando.

Para simplificar esta situación, ahora la corriente de descarga se suele relacionar con la capacidad nominal de la batería. Por ejemplo, si la capacidad nominal de una batería es de 10 Ah, una rapidez de descarga de 0.5 A, equivaldría a considerar una “rapidez de descarga de 20 h”. La mayoría de los líderes productores citan ahora la capacidad a razón de 20 h, con una temperatura ambiental normal (25.56°C). En las baterías de plomo-ácido, hay casi siempre muy poca diferencia en la capacidad a medida que la rapidez de descarga se incrementa desde 20 h a tal vez 10 h. Pero, después, a medida que la rapidez de descarga aumenta todavía más, existe incremento rápido en la caída de la capacidad. Con excepción de diseños muy especiales, se suele considerar la rapidez de media hora como la rapidez máxima sostenida a la cual las baterías de plomo-ácido pueden utilizarse con cualquier grado de eficiencia.

El sistema de plomo-ácido tiene varias características que son especialmente importantes. Aunque estas baterías no mantienen un buen estado de almacenamiento a altas temperaturas (cualquier valor por arriba de 54.44°C, de alguna forma ocasiona cierto daño), pero este tipo de baterías sí mantienen un excelente almacenamiento a bajas temperaturas, y además son capaces de producir una potencia y funcionamiento razonables a bajas temperaturas. Como ejemplo usual, la capacidad de una batería de plomo-ácido decae sólo cerca del 30%, a medida que la temperatura disminuye desde la temperatura ambiente hasta -17.78°C. En la tabla 2.10 se da una información adicional. Al determinar la capacidad de las baterías de plomo-ácido de la tabla 2.10, deberá notarse que la rapidez de descarga tiene gran significancia. Al utilizar la tabla, la columna seleccionada para la rapidez de descarga a la cual la batería está funcionando, medida a la temperatura ambiente, deberá encontrarse en primer lugar, para seguir después esta columna hacia abajo hasta tener la temperatura apropiada. El número citado es la capacidad (expresada como un porcentaje de la capacidad a una rapidez de 20 h, a la temperatura ambiente) con la misma corriente de drenaje. La tabla 2.10 podría parecer un poco laboriosa de usar, pero resulta ser muy accesible y contiene gran cantidad de información debido a que el hecho de efectuar interpolaciones para considerar otros valores de rapidez y temperaturas ofrece resultados completamente aceptables.

TABLA 2.10. Temperatura Vs Tiempo de uso para su descarga.

Temperatura °F	Tiempo de uso, horas*					
	Drenaje de corriente, amperes					
	1	5	10	50	100	500
100	118	21	10	1.4	0.6	0.06
80	114	20	9.0	1.3	0.5	0.05
60	106	19	8.3	1.1	0.5	0.05
40	9	17	7.5	1.0	0.4	0.04
20	90	15	6.7	0.9	0.3	0.03
10	82	13	5.6	0.8	0.2	0.02

En una batería recargable, la carga de retención, es decir la posibilidad para mantener la capacidad después de la carga, corresponde al tiempo de almacenamiento de una batería primaria. En una batería convencional de plomo-ácido (denominada en algunas ocasiones batería de plomo con una aleación de antimonio), la retención de la carga varía considerablemente desde la primera etapa de vida útil hasta las etapas finales de la misma, decayendo lentamente pero de manera continua a medida que la batería sigue su vida cíclica. Cuando es nueva, es muy probable que la batería pierda menos del 10% cada mes en almacenamiento (en condiciones normales), pero esta cifra podría aproximarse fácilmente al 100% para el caso de una batería vieja que se encuentra cerca del fin de su vida útil. Ahora hay un tipo de batería más moderno de plomo-ácido (es decir, la batería de plomo con aleación de calcio), que tiene un marcado grado de retención de carga que no decae en ningún valor significativo a medida que la batería se utiliza. En el tipo de aleación de calcio, la retención de la carga es probablemente superior al 85% después de por lo menos un año de almacenamiento normal, y será bastante uniforme a lo largo de toda su vida. De manera general, este último tipo de batería se utiliza primordialmente para suministro de potencia de emergencia debido a que sólo tiene una capacidad limitada a un ciclo de vida.

Debido a la diversidad de propiedades que pueden ser desarrolladas por diseño y/o tratamiento eléctrico, las baterías de plomo-ácido han alcanzado una sorprendente variedad de aplicaciones. Sin

tomar en cuenta la aplicación tan popular para el suministro de la energía para la marcha, luces y potencia de ignición de un automóvil, o para el funcionamiento eléctrico de maquinarias de levantamiento tipo tenaza, éstas tienen ahora aplicaciones bastante importantes en el suministro de potencia de emergencia (para teléfonos, trabajos industriales, hospitales, alumbrado de emergencia, etc.) y también en muy diversas aplicaciones especiales como los receptores portátiles de televisión, las herramientas eléctricas de potencia y sistemas de seguridad militar, para mencionar sólo algunos de los empleos más importantes.

2.3.2 BATERÍAS DE NÍQUEL-CADMIO Un segundo tipo de batería recargable de gran importancia y que continúa en ascenso es el sistema de níquel-cadmio. Dentro del sistema básico existen diferentes tipos de ingeniería y diseño, cada uno de los cuales refleja el desarrollo de las propiedades específicas para el campo de aplicación en particular. Por ejemplo, la batería de níquel-cadmio de bolsillo es una unidad con vida útil extremadamente larga, capaz de soportar miles de descargas intensas. Ya que también puede moderar diferentes velocidades de descarga, ésta se utiliza en aplicaciones donde primordialmente se necesita potencia, como, por ejemplo, en vehículos eléctricos o aparatos semejantes. Una batería desarrollada más recientemente es la de plato sinterizado de níquel-cadmio, que se encuentra disponible en su forma sellada o con un pequeño respiradero. El sistema de plato sinterizado es con mucho el tipo de batería de mayor crecimiento en el campo del níquel-cadmio y se estudiará con mayor detalle.

Básicamente, el tipo de plato sinterizado utiliza un níquel poroso para soportar los materiales activos y servir como una trayectoria de corriente a la vez. Esta matriz se hace por medio de un fino aglutinado dividiendo partículas de polvo de níquel carbonizado (un grado especial de partículas parecidas a una “masa química”). Los discos resultantes pueden tener hasta 85% de porosidad y estar impregnados con materiales activos, por ejemplo, hidróxido de níquel en el electrodo positivo y cadmio metálico en el negativo. Como es común en todos los tipos de níquel-cadmio, la batería de níquel-cadmio sinterizada utiliza un electrólito de hidróxido de potasio. En la figura 2.13 se ilustra un diagrama esquematizado de una batería de níquel-cadmio sinterizada, y en la tabla 2.11 se muestran algunos de los tamaños que hay en el mercado.

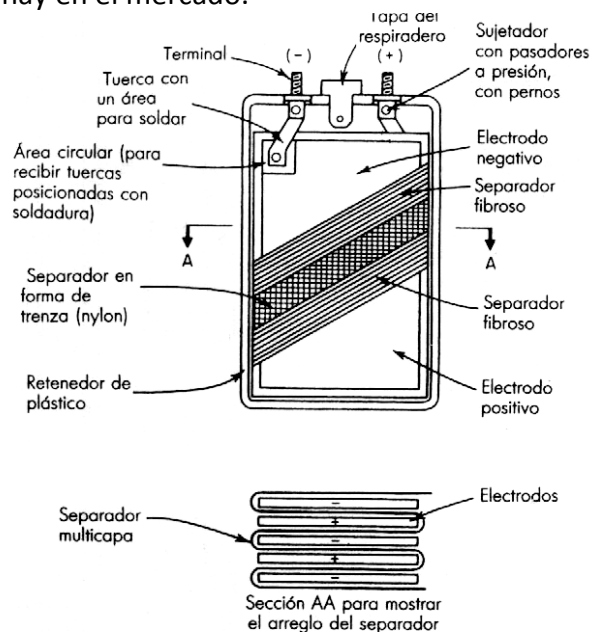


FIGURA 2.13. Diagrama esquemático de una celda de níquel-cadmio de plato sinterizado.

Las celdas con respiraderos se suelen empacar en recipientes de plástico, mientras que las selladas se empacan casi siempre en recipientes de acero con paredes muy delgadas. Cualquiera de los dos tipos es extremadamente duro y la batería puede resistir fácilmente cualquier tipo de abuso físico o eléctrico sin sufrir daños permanentes. Las baterías de níquel-cadmio son capaces de soportar descargas a altas velocidades y de hecho, en muchas aplicaciones estas baterías se descargarán con rapidez de una o media hora con buena eficiencia. La capacidad de una velocidad alta de descarga en estas baterías también las hace muy útiles para descargas “pulsátiles” (es decir, descargas con gran velocidad y muy corta duración).

Además de sus extraordinarias características físicas, las baterías de níquel-cadmio se comportan muy bien a temperaturas altas y bajas, pero su capacidad decae si la temperatura se eleva o disminuye respecto a la temperatura ambiente. En la tabla 2.11 se muestran las características de temperatura típicas de las celdas de níquel-cadmio. Como podrá advertirse en la tabla 2.11, el decaimiento de la capacidad a medida que la temperatura disminuye es aproximadamente el mismo que en las baterías de plomo-ácido entre los límites de temperatura que abarcan. Sin embargo, cuando la temperatura disminuye más allá del límite indicado en las tablas 2.10 y 2.12, el comportamiento de la batería de níquel-cadmio cae más lentamente que su contraparte de plomo-ácido. En este caso sólo se pueden citar datos cualitativos (debido a que se encuentran en un área donde los diseños específicos tienen un papel mucho más importante), pero una batería de níquel-cadmio puede ser mucho más útil incluso por debajo de -40°F (es decir, produciendo alrededor del 5 al 10% de su capacidad normal), mientras que una batería de plomo-ácido probablemente tendría un límite práctico de -6.67°C .

Existe otro factor muy importante a considerar con respecto a su alta capacidad de velocidad de descarga a bajas temperaturas, en donde la capacidad de corriente por unidad de peso, durante descargas de corta duración, resulta ser muy favorable para las baterías de níquel-cadmio sinterizadas. Por estas razones, este tipo de batería es muy utilizado en el encendido de máquinas a bajas temperaturas.

Las características de retención de carga de una batería de níquel-cadmio no son muy diferentes a las de una batería de plomo-ácido, pero al menos una de las de níquel-cadmio tiene una característica muy importante: se puede mantener almacenada inactiva durante largo tiempo (hasta 7 o 10 años por lo general) sin que presente un efecto dañino permanente. De hecho, cuando se desea almacenar una batería, deberá descargarse completamente hasta alcanzar el valor de cero volts (incluso cortocircuitando la batería lentamente cuando el valor de su voltaje ha caído hasta un punto en que pueda hacerse esto sin correr ningún riesgo). En contraste con esto, la batería de plomo-ácido deberá mantenerse eléctricamente durante su tiempo de almacenamiento inactivo (por medio de un rociado mensual lento o alguna otra forma de frescos de carga). Una batería de níquel-cadmio no necesita este tipo de mantenimiento eléctrico y una vez que se pone en servicio después de estar mucho tiempo almacenada inactivamente, y considerándola después de algunos ciclos, vuelve a adquirir su propia capacidad.

TABLA 2.11. Características de temperatura de las celdas de níquel-cadmio.

Temperatura de descarga °F	% de la capacidad a temperatura ambiente para un valor nominal de 10 hrs
115	93
78	100
40	93
32	90
0	60
- 5	50

Tal vez una de las características más sobresalientes de las baterías de níquel-cadmio es su capacidad para ser recargadas rápidamente. Ya que el reflujó de la fem de la batería se eleva con relativa lentitud durante la carga, como se indica en la figura 2.14, la mayor parte de la carga se puede completar a velocidades altas antes de que el reflujó de la fem comience a limitar seriamente la aceptación de la carga. Sin embargo, y debido a que la batería es capaz de aceptar cargas a muy altas velocidades, no es importante controlar la carga con gran precisión, sobre todo en sus primeras etapas de vida. Esto tiene mayor validez respecto a las celdas con respiradero que para las celdas selladas, sencillamente porque estas últimas también pueden aceptar una velocidad de sobrecarga alta. Sin embargo, durante la sobrecarga de celdas con respiradero el agua se llega a electrolizar en hidrógeno y oxígeno, consumiendo el agua y la electricidad, pero este efecto no causa ningún daño en la batería.

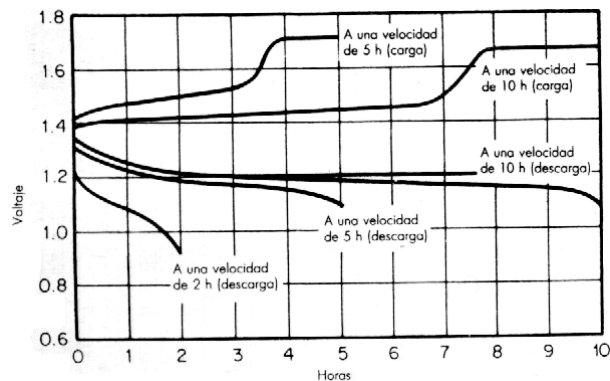


FIGURA 2.14. Características de carga-descarga a corriente constante de las baterías de níquel-cadmio.

El sistema de níquel-cadmio es por lo tanto una combinación completa de ventajas y limitaciones. A pesar de su elevado costo inicial, cuando se utiliza en condiciones apropiadas puede ser bastante económica, ya que proporciona un tipo de aprovechamiento más cercano al objetivo industrial de tener una batería con larga duración y un bajo (o ningún) mantenimiento. Estas baterías han encontrado por consiguiente un uso muy amplio en el arranque de las turbinas de avión, en radio y comunicaciones por teléfono, aplicaciones médicas subcutáneas de baja potencia, arranque de calentadores para clima frío, arrancadores de baja potencia en general (p.ej., en podadoras, sierras, etc.) y, por supuesto, en aplicaciones inalámbricas (cepillos dentales, rasuradoras, etcétera).

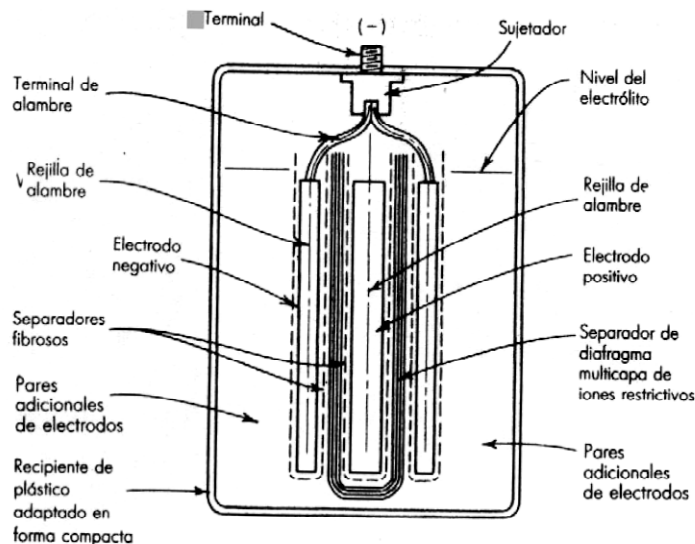


FIGURA 2.15. Diagrama esquemático de una celda secundaria usual de plata-zinc (vista extrema que muestra la configuración del separador).

2.3.3 BATERÍAS DE PLATA-ZINC En la gama de baterías para fuentes de poder, el sistema de plata-zinc ha alcanzado una posición muy firme y segura gracias, sobre todo, a su capacidad de potencia. Mientras las baterías de níquel-cadmio y las baterías secundarias tienen un comportamiento bastante bueno a velocidades de descarga tan altas como de 1 h, las baterías de plata-zinc correspondientes llegan fácilmente a valores de velocidades de descarga hasta los diez minutos, e incluso para una potencia pulsátil llegan a alcanzar velocidades hasta de un segundo con eficiencias relativamente buenas. La construcción general de una batería secundaria de plata-zinc se muestra en la figura 2.15. La versión primaria se hace en esencia, de la misma manera, pero el diafragma restrictivo de iones no necesita utilizarse y en su lugar se emplea un tipo de material sin entrelazamientos (con objeto de proporcionar una resistencia baja y una activación más rápida). Aparte de la estabilidad en una condición seca (que la hace muy adecuada como batería de reserva), una de las principales ventajas de la versión primaria se debe a los altos grados de oxidación de la plata (debido a que el electrodo positivo se “forma” con anterioridad al ensamble de la celda en condiciones muy favorables para que se lleve a cabo la oxidación de la plata). Esto manifiesta por sí mismo el hecho de que exista mayor incremento en la capacidad de descarga de la misma.

Las características usuales de las celdas primaria y secundaria se ilustran en la figura 2.16, donde aparecen las curvas de voltaje contra tiempo para los ciclos de carga y descarga de una celda secundaria de plata-zinc, y para la descarga de una celda primaria. Es importante advertir que la figura 2.16 no hace referencias al tamaño (es decir, a la capacidad de la celda) debido a que, en general, la forma de las curvas satisface todos los tamaños con una uniformidad bastante buena cuando cada una de ellas funciona de acuerdo con su valor apropiado de corriente. También es muy interesante observar que mientras las baterías secundarias se venden generalmente secas y sin carga, también pueden cargarse en seco, en cuyo caso la primera descarga tendrá la característica usual de una celda primaria, para volver en sentido contrario a la característica de una celda secundaria normal en ciclos subsecuentes. Por supuesto, debido a la presencia de una barrera restrictiva de iones, que

normalmente es un poco húmeda, el tiempo de activación de una celda secundaria cargada en seco será tan grande como la de cualquier otra celda secundaria de plata-zinc.

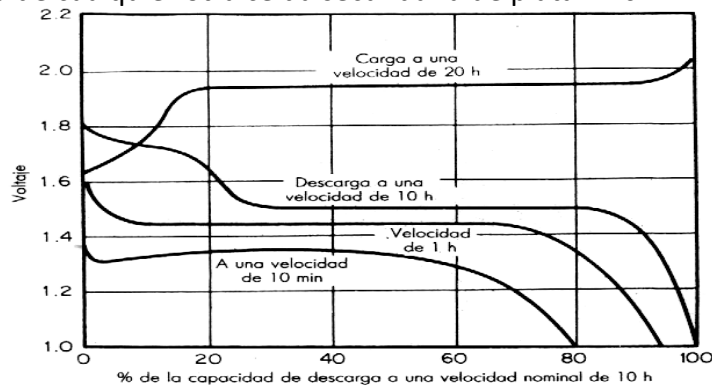


FIGURA 2.16. Característica carga-descarga de una celda secundaria usual de plata-zinc.

Existen, por supuesto, muchas formas físicas que se han desarrollado para las baterías secundarias, pero en la figura 2.17 se muestran unas cuantas representativas de ellas. Refiriéndonos ahora a la versión secundaria, el sistema plata-zinc muestra una generación muy marcada durante la primera parte de vida (probablemente el 20%), seguida por un periodo largo (tal vez el 70%) con una capacidad razonablemente estable. Hacia el final de su vida útil existe una declinación rápida en la capacidad hasta alcanzar la normalidad en un punto final, que generalmente se aproxima al 60% de su capacidad nominal. Durante el funcionamiento, la vida del ciclo es bastante variable, dependiendo de las circunstancias en que se emplea, pero en términos generales, la escala va desde 20 para ciclos intensos y con gran rapidez de repetición, hasta tal vez 200 ciclos de intensidad moderada (50%), suponiendo que existe tiempo suficiente entre los ciclos de descarga. carga-descarga para evitar una elevación de temperatura.

Las temperaturas altas pueden ser especialmente dañinas debido a que la solubilidad del electrodo negativo en el electrolito se incrementa mucho y hay una degradación dañina en el diafragma. La sobrecarga produce también un daño grave, pero como en el caso de las baterías de aleaciones de calcio, el incremento pronunciado en el reflujo de la fem a medida que se aproxima a las condiciones de plena carga permite un control conveniente de la carga, de manera que el efecto de la sobrecarga puede evitarse muy fácilmente.

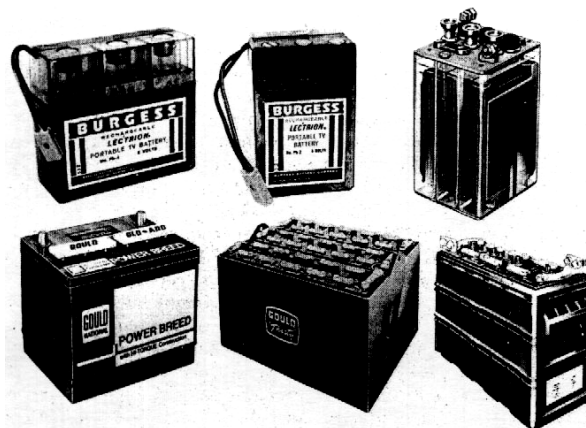


FIGURA 2.17. Ilustración de muestras de baterías secundarias (Cortesía de Burgess Battery Comp.)

Ya que el óxido de plata es uno de los materiales activos, el costo de las baterías de plata-zinc suele ser muy alto, por lo que sus aplicaciones actuales son esencialmente en el área militar y para dispositivos de comunicación especiales. A pesar de todo, posee gran capacidad a bajas temperaturas, una retención de carga escasa (aunque este aspecto continúa mejorándose) y un ciclo de vida razonable. Para aquellas aplicaciones que necesitan niveles de potencia muy altos, o unos paquetes de energía muy grandes (cargas pulsátiles), las baterías de plata-zinc proporcionan una fuente de poder muy conveniente y confiable en una presentación muy pequeña y de poco peso.

MANTENIMIENTO. A diferencia de las baterías primarias que no requieren atención especial, el mantenimiento de las baterías secundarias es de suma importancia, sobre todo cuando se desea obtener características máximas de vida útil y de comportamiento. El efecto de la carga tiene un papel muy importante desde este punto de vista, por lo que se han desarrollado varios métodos muy convenientes. El método de corriente constante simplemente devuelve la capacidad que ha sido descargada a una corriente fija durante cierto periodo fijo de tiempo, o hasta que el reflujó de la fem (es decir, el contra-voltaje) de la batería se eleva a algún valor predeterminado. Algunas veces, a este sistema se le denomina método de carga de tiempo controlado o de voltaje controlado. Este es tal vez el método más sencillo en términos del equipo de control necesario, pero no toma en consideración el hecho de que la batería tiene la capacidad de aceptar una carga rápida durante las primeras etapas de la recarga (sobre todo después de haberse efectuado una gran descarga), y que esta situación se invierte a medida que la batería se aproxima a la condición de plena carga.

Cuando la batería se aproxima a plena carga, la eficiencia con que acepta la carga decae muy rápidamente (alcanzando tal vez sólo el 4 o 5% a más o menos el 95% de plena carga). Esto produce una condición indeseable en el cargado a corriente constante, ya que es bastante lento al principio de la recarga (cuando la batería puede aceptar la carga con eficiencia) y bastante rápido hacia el final de la recarga (cuando la batería puede aceptar carga sólo muy lentamente). El despilfarro de la descarga manifiesta por sí mismo un costo indeseable, y también una corrosión excesiva en la rejilla positiva (que dará por resultado una vida muy corta) y una frecuencia excesiva en el mantenimiento con agua.

Para mejorar esta situación, puede ser una ventaja el hecho de que el reflujó de la fem de la batería se eleva a medida que el estado de la carga aumenta. Muchos fabricantes distribuyen hoy sus dispositivos cargados, que utilizan un procedimiento modificado de potencial constante en donde las etapas iniciales de la recarga se llevan a cabo con una Corriente muy alta, pero Constante, cuyo valor es en esencia dependiente de la capacidad de potencia de la fuente- de carga. Cuando el reflujó de la fem de la batería alcanza un punto predeterminado, que es en la última parte de la recarga, unos Circuitos automáticos de interrupción cambian el Sistema a una recarga de potencial fijo, que se establece para que sea ligeramente más alto que el final de la carga del reflujó de la fem de la batería. Cuando el reflujó de la fem de batería se aproxima al potencial del circuito de carga, la corriente de carga cae a medida que decae la capacidad de la batería para aceptar carga. Esto tiende a ser eficiente no sólo en términos de tiempo y costo, sino también en el sentido de evitar la sobrecarga y reducir la frecuencia tan alta del mantenimiento con agua.

MANTENIMIENTO DE LA BATERÍA DE PLOMO-ACIDO Además de la selección de un procedimiento adecuado de carga, el electrólito en las baterías de plomo-ácido se debe mantener en términos apropiados de concentración y nivel. Los electrodos negativos expuestos a la atmósfera a causa de un

bajo nivel del electrolito probablemente faciliten una rápida oxidación, proceso que es parcialmente reversible durante el cargado, y produce varios grados de daño permanente del electrodo. Cuando se permite que el nivel de Concentración del ácido sulfúrico disminuya, la capacidad de la batería también se perjudica de manera considerable y con mucha rapidez debido a que los iones de sulfato son partícipes en las reacciones de descarga. Además, las placas negativas tienden a sulfatarse (es decir, forman un sulfato irreductible en la terminal) en condiciones de acidez en baja gravedad.

Por otra parte, si el electrolito se concentra en la batería, es probable que se corroan con más rapidez las rejillas positivas, especialmente durante los periodos de sobrecarga y de esta forma la vida de la batería saldrá perjudicada. Ya que el ácido sulfúrico de la batería no se pierde como resultado de las reacciones electrolíticas directas, sólo se deberá reemplazar periódicamente el agua para mantener el nivel y la composición del electrolito. Durante la sobrecarga, se desprenden gases a causa de la descomposición del agua, lo cual no sólo representa una pérdida de agua, sino que también causan la distribución de una capa de electrolito sobre las partes superiores de la celda. Esta capa de electrolito es extremadamente fina y rápidamente encuentra la salida de la celda a medida que se asocia con los gases que se están generando.

Si esto ocurriera, la parte superior de la batería se humedecerá muy probablemente con ácido sulfúrico, el cual, ya que es muy buen conductor eléctrico, permite el establecimiento de corrientes parásitas entre las celdas y entre cada una de las celdas y tierra. En efecto si la parte superior de la batería no está bien limpia, estas corrientes pueden alcanzar valores significativos y la batería se puede descargar muy rápidamente o incluso destruirse. Para evitar esto, algunos fabricantes han creado unas trampas para estas finas capas y las han incorporado en las tapas de los respiraderos. Sin embargo, una carga cuidadosa y apropiada elimina esta dificultad. En los lugares donde el electrolito ha alcanzado la parte exterior de la celda, es necesario neutralizarlo (se recomienda que se haga con ácido bórico o bicarbonato de sodio), para después lavar y secar completamente la parte exterior de la batería. Este procedimiento reducirá al mínimo los efectos destructivos de la corrosión en las partes externas de la batería, en las terminales y en los sujetadores. La pérdida de ácido sulfúrico a causa de la formación de la capa gaseosa perjudicará, por supuesto, la capacidad de la batería. Sin embargo, este ácido sulfúrico se puede reemplazar con ácido sulfúrico químicamente puro para elevar la concentración del electrolito (o gravedad específica) hasta el valor recomendado por el fabricante.

Al hacer esto, resulta muy conveniente extraer la mayor parte del electrolito libre al cual se le va a adicionar el ácido que se mezclará antes en un recipiente. La nueva mezcla de ácido se prepara adecuadamente tomando en cuenta su concentración, y luego se echa de nuevo a la batería. Si sólo se añade ácido nuevo a la batería, la densidad de este ácido quedará en la parte inferior de la batería y probablemente atacará los separadores en ese lugar. El efecto de añadir ácido sulfúrico nuevo genera también una cantidad considerable de calor y, por supuesto, el ácido sulfúrico concentrado también es difícil de manipular. Esta operación deberá, por consiguiente, realizarse considerando el material y empleo de ropa adecuada y con la supervisión calificada.

UNIDADES SELLADAS Con objeto de reducir al mínimo el mantenimiento de las baterías, algunas de las compañías que las fabrican las ponen a la venta como unidades “selladas” o “cerradas”. Estas baterías suelen estar hechas con un sistema basado en una aleación de calcio, que tiene un reflujo extremadamente alto de fem (del orden de 2.8 a 3 V /celda cuando se aproxima a una condición de

plena carga). Por esta razón se puede utilizar un equipo económico de control automático de carga para limitar la cantidad de sobrecarga. Esto, además de que las pérdidas por acción local debidas a almacenamiento son extremadamente pequeñas en las baterías con aleaciones de calcio, han dado como resultado una condición en la que se utiliza una cantidad mínima de agua durante el uso normal de la batería, y por otra parte no hay ninguna acumulación de gases o efectos de gasificación temporal. En estas condiciones, las celdas pueden estar prácticamente “cerradas” debido a que la necesidad de reemplazar el agua se ha reducido hasta el punto de que se puede utilizar la celda durante toda su vida sin necesidad de agregarle más agua. El hecho de que se produzca muy poco gas, e incluso que éste sea solamente hidrógeno (un gas muy difícil de contener), permite que el gas se fugue muy despacio y en forma segura a través de diminutas fisuras en el sellado. Ya que estas baterías pueden, por consiguiente, vivir y funcionar sin ningún mantenimiento durante largo tiempo, su empleo, sobre todo en aplicaciones que requieren poca potencia y en automóviles ha aumentado considerablemente.

Debido a que gran cantidad de aplicaciones de potencia muy pequeña requieren cierto grado de portabilidad (p.ej., herramientas de potencia, etc.), también resulta conveniente tener un electrólito inmóvil. Esto se hace normalmente con la formación de una especie de “gel” en el electrólito con la adición de una gelatina de sílice (SiO_2 finamente dividido al electrólito, que absorbe el electrólito y permite que la batería pueda moverse, e incluso ponerse invertida, sin que haya ninguna reorientación del electrólito. Sin embargo, en los tipos sellados con electrólito inmovilizado, resulta muy deseable que la gelatina no se llegue a romper, lo que ocurriría si existiera una gasificación excesiva. Por lo tanto, estas baterías se deben recargar tal vez con un poco más cuidado que en las que tienen el electrólito libre, aunque las reglas normales se sigan empicando de manera general.

CARGA DE BATERÍAS DE NÍQUEL-CADMIO La capacidad de una batería para recargarse rápidamente (aquí se considera un intervalo de aproximadamente una hora a partir de una descarga completa) también es válida para las baterías selladas. Sin embargo, en éstas, el peligro de una interrupción física de la batería durante el periodo de sobrecarga o cerca de él es mayor que en el tipo con respiradero. La batería sellada de níquel-cadmio se puede fabricar gracias a que el electrodo negativo es capaz de re combinar el oxígeno liberado por el electrodo positivo durante el periodo de sobrecarga, y al mismo tiempo es posible arreglar las capacidades relativas de los electrodos para que la liberación de hidrógeno en el electrodo negativo durante el periodo de sobrecarga se anule.

Además de que las pérdidas por acción local durante el almacenamiento evitan la producción de hidrógeno, ello enriquece todavía más las condiciones que permiten el sellado de este tipo de celdas. De esta forma, mientras que una celda sellada puede ser recargada más rápidamente, se deberán tomar mayores precauciones (por ejemplo, un mayor control eléctrico), con objeto de reducir la rapidez con que las celdas se aproximan a las condiciones de gasificación. De manera general, una celda sellada de níquel-cadmio funcionará en algún punto de la vecindad entre los 20 a 30% de su capacidad más baja disponible comparada con una celda con respiradero de tamaño similar. No obstante, la ventaja de que no existe ningún mantenimiento físico y de que no sea necesaria la limpieza de los componentes externos (es decir, que estén libres de la formación de cubiertas gaseosas y fugas) han hecho muy populares las celdas selladas de níquel-cadmio aplicados a dispositivos de pequeña potencia, en los cuales un ciclo de vida largo es particularmente importante.

Aunque las baterías de níquel-cadmio son muy fuertes, hay una condición eléctrica que puede aniquilar muy fácil y rápidamente a cualquiera de los dos tipos. Esto, que se conoce como “pila muerta”, ocurre cuando la pila está cargada de tal manera que crea un compromiso con el calor generado internamente, lo que puede suceder a causa de una velocidad excesiva de carga o por estar la batería en un ambiente en que el calor de la carga (sobre todo durante el periodo de sobrecarga) no se puede disipar fácilmente. Cuando se eleva la temperatura de la batería, su resistencia interna cae drásticamente. Cuando el proceso de la carga se lleva a cabo mediante un “sistema controlado” de la fuente de poder (es decir, esencialmente a partir de una carga de potencial constante), un pequeño incremento en la corriente dará como resultado una disminución en la corriente de carga. Este incremento de corriente, a su vez, producirá una disminución en la eficiencia de aceptación de la carga, incrementando todavía más la generación de calor y la elevación de la temperatura de la celda, lo que puede llevar rápidamente a una condición en que el calor llegue a ser físicamente disruptivo. Esta condición de aniquilamiento se puede prevenir al suministrar un mejor control eléctrico y adecuada ventilación a las celdas y a los compartimientos donde se localizan.

Una característica importante de las baterías de níquel-cadmio es el llamado “efecto de memoria”, por el que la batería parece “recordar” la manera en que lleva a cabo sus ciclos. El efecto de memoria se muestra solamente cuando se tiene una gran repetición de ciclos y se manifiesta también, al parecer, como una pérdida permanente de su capacidad de reserva. De esta manera, si una batería de 10 Ah tiene ciclos reiterados con una intensidad de sólo 4 Ah, con la intención de conservar los restantes 6 Ah en reserva para alguna emergencia o para tener un ciclo de vida muy largo, la capacidad real disponible de la batería decae a 4 Ah después de un tiempo moderadamente corto de este ciclo. Con objeto de evitar esto, a las baterías en este tipo de servicio se les proporcionan ciclos de acondicionamiento periódicamente en los que la intensidad de la carga y descarga y/o las velocidades con que se realizan la carga y la descarga se varían durante el ciclo. Este tipo de tratamiento evita por completo los efectos de memoria y de hecho puede restablecer la capacidad de una batería afectada de esta forma, aunque esto último puede ser más difícil y tal vez necesite un número mayor de ciclos de acondicionamiento.

CARGA EN LAS BATERÍAS DE PLATA-ZINC Todas las reglas generales para la carga de baterías secundarias se aplican también a los tipos de plata-zinc, aunque solamente más en este caso. Ya que estas baterías se utilizan con más frecuencia en sistemas de alto voltaje, superiores de hecho a 150 — 200 V, la limpieza superior para evitar las corrientes de fuga y corrientes parásitas a tierra llega a ser un aspecto muy importante. El efecto nocivo de una sobrecarga excesiva, y sobre todo la existencia de velocidades altas al fin de la carga, también se incrementan en este tipo de batería. En la gasificación resultante de la sobrecarga, la pérdida del electrólito puede ser bastante alta (a diferencia de las baterías de plomo-ácido, por ejemplo) ya que hay muy poco electrólito libre (es decir, que no pudo ser absorbido por los separadores y los electrodos). Cualquier pérdida de electrólito libre ocasiona cambios drásticos en el nivel del electrólito y su reemplazo es difícil, especialmente si la distribución del electrólito entre los varios componentes electroquímicos se ha perturbado. También, ya que el electrodo de zinc es parcialmente soluble en el electrólito, una pérdida en este último significa asimismo una pérdida real en el material del electrodo.

Un efecto todavía más grave respecto a la sobrecarga puede ocurrir también cuando se permite la

elevación de calor en el interior de la celda, lo cual es muy probable que suceda ya que las baterías de plata-zinc se empaquetan casi siempre en recipientes de plástico, que son malos conductores térmicos. Varias celdas empaquetadas muy estrechamente, cargadas y sobrecargadas a velocidades excesivas, producirán rápidamente temperaturas altas, sobre todo en el centro de la batería. Si se recuerda que las celdas de plata-zinc tienen separadores orgánicos y diafragmas bajo una presión de contacto con un oxidante muy fuerte como el óxido de plata del electrodo positivo (véase la Fig. 2.15), existe muy poca duda de que a altas temperaturas se puedan tener fallas en estos componentes.

Por lo tanto, durante la carga en las baterías secundarias de plata-zinc deberá permitirse un tiempo suficiente entre el fin de la descarga y el principio de la carga para permitir que la batería se enfríe. También sería deseable un descanso similar entre el final de la carga y la descarga subsiguiente. Ya que se genera muy poco calor alrededor de los lados de la batería, es muy práctico ventilar ligeramente las terminales y los conectores que se encuentran entre las celdas. Al ser éstas de plata o de cobre plateado pueden dar como resultado la generación de buena cantidad de calor procedente del interior de la batería hacia donde se pueda disipar adecuadamente.

Mientras se puedan utilizar Sistemas de control actuados por voltaje, en la figura 2.16 se muestra que la elevación hasta el voltaje más grande se lleva a cabo en una celda de plata-zinc cuando la batería se encuentra a sólo alrededor de sus dos terceras partes de carga y que la elevación a plena carga no es muy pronunciada. También, el hecho de que el voltaje no sea un corte claro significa que está por sobrevenir una sobrecarga. Aunque no se muestra en la figura 2.16, el voltaje de la batería al final de la carga no es completamente fijo, pues se incrementa muy lentamente desde un valor aproximado de 1.88V para el caso de una batería nueva hasta un valor tan grande como 2.1 V en el caso de que se encuentre cerca del fin de su vida útil. Por estas razones, la práctica común consiste en recargar las baterías de plata-zinc con una corriente constante durante un lapso fijo que sea suficiente para devolver los 105 — 125 Ah eliminados durante la descarga previa.

Un sistema algo más complejo aprovecha el hecho de que las baterías de plata-zinc aceptarán la carga a velocidades muy bajas al inicio de una carga (después de una descarga pronunciada) y efectivamente lo harán así hasta la primera elevación de voltaje brusca que se lleva a cabo cuando se llegue, más o menos, a las dos terceras partes de la carga completa. Este sistema de carga sólo utiliza un periodo de carga con una corriente constante muy grande con un controlador de tiempo para interrumpir y conectar hacia un nivel de corriente constante más pequeño para completar la carga. Este sistema de carga en dos pasos es muy adecuado y varios fabricantes lo recomiendan ampliamente.

2.4 TIPOS ESPECIALES

Una cantidad considerable de aspectos de investigación y desarrollo se está llevando a cabo hoy respecto a las baterías, asociadas a combinaciones con nuevos electrodos. Ya que desde el punto de vista práctico cualquier reacción redox puede conducirse electrolíticamente en una celda a partir de la cual puede obtenerse energía eléctrica, se ha propuesto gran cantidad de acoplamientos (combinaciones de electrodos). Algunas de éstas se utilizan en aplicaciones específicas. Entre las más importantes se pueden mencionar las siguientes.

1. Celdas secas de magnesio
2. Celdas orgánicas despolarizada.

3. Celdas de cloruro cúprico-magnesio
4. Celdas de cloruro de plata magnesio
5. Celdas de aire despolarizado
6. Celdas de aire-zinc

Las propiedades generales de estas baterías se resumen en la tabla 2.12.

TABLA 2.12. Características de un sistema especial de celdas

Tipo	Voltaje a Cto. abierto, V	V. Prom. de descarga, y	Capacidad, Wh	
			Por lb	Por in ³
Magnesio seco	1.95	1.60	45	3
Despolarizante orgánico (ánodo de magnesio)	1.65	1.20	64	3
Cloruro cúprico-magnesio	1.5	1.15	31	2
Cloruro de plata. magnesio	1.9	1.5	75	8
Aire despolarizado	1.45	1.05	71	2
Aire-zinc	1.45	1.2	52	6

Cada una de estas baterías tiene al menos una propiedad especial, y en algunas ocasiones varias, lo que ha representado un factor fundamental en su crecimiento. Las celdas de magnesio seco son capaces de estar almacenadas en condiciones de temperatura y humedad altas, las celdas secas orgánicas despolarizadas son potencialmente capaces de funcionar a capacidades muy altas con pesos muy ligeros; los tipos de cloruro cúprico-magnesio se activan con mucha rapidez por medio de soluciones salinas diluidas; las celdas de aire despolarizado no requieren casi ningún mantenimiento; las de aire-zinc son capaces de producir una alta energía por unidad de peso, y así sucesivamente. Es importante, por lo tanto considerar estas propiedades con mayor detalle y también en combinación con otras propiedades

2.4.1 BATERÍAS DE MAGNESIO A la cabeza de la lista, desde el punto de vista de la producción para el comercio, se encuentra la celda de magnesio seco, que ya se ha estudiado en la categoría de baterías primarias. Especialmente, esta batería se parece mucho a la celda seca de LeClanche, en la que el magnesio puede sustituirse con facilidad por el zinc. Esto se lleva a cabo teniendo en cuenta varios aspectos, entre los que se incluye la elevación del voltaje de la celda, el incremento de su capacidad de potencia y de su capacidad (como resultado de otras modificaciones en su diseño). Sin embargo, a causa de la naturaleza del ánodo de magnesio, éste forma muy rápidamente una película protectora cuando entra en contacto con el electrólito de la batería, y esto es precisamente lo que le da a la celda seca de magnesio esta propiedad tan importante. Dicha película protege la capa de metal inferior y permite que la batería tenga una vida de almacenamiento extremadamente larga; también ayuda a soportar condiciones completamente adversas de mantenimiento como, por ejemplo, las altas temperaturas y la humedad. Todavía no hay un dato plenamente confiable acerca de la vida de almacenamiento de las baterías secas, pero sí hay indicadores acerca de que pueden almacenarse

durante largo tiempo (entre cinco y siete años) con una pérdida bastante moderada (es decir, entre 10 y 20% de lo que pierden las celdas que se diseñan comúnmente).

En términos de condiciones adversas de almacenamiento, las baterías de magnesio seco pueden almacenarse continuamente durante 30 días (y muchas de ellas durante 60 e incluso 90 días) en condiciones ambientales de 71.11°C de 90 a 95% de humedad con pérdidas de sólo el 10% de su capacidad, aproximadamente; incluso ésta se debe en gran parte a la pérdida de humedad en vez de al deterioro del ánodo. Esta última característica hace que las celdas de magnesio sean muy adecuadas para aplicaciones en las áreas del mundo con climas calurosos y húmedos, y donde la distribución necesita un lapso relativamente largo entre el fabricante y el usuario.

2.4.2 BATERÍAS ORGÁNICAS DESPOLARIZADAS La celda orgánica despolarizada es muy parecida, físicamente, a la celda seca de magnesio; de hecho, puede utilizarse, incluso, el mismo recipiente de ánodo, pero en este caso el material orgánico reducible sustituye el lugar que comúnmente ocupa el despolarizador MnO_2 que se emplea en las celdas secas de magnesio o de LeClanche. Los despolarizadores orgánicos, además de ser materiales producidos sintéticamente (y por ello con un suministro más uniforme y continuo que los despolarizadores convencionales), tienen la importancia característica de absorber gran número de electrones durante el proceso de su reducción, lo que permite fabricar baterías de muy alta capacidad para un espacio y peso determinados.

Sin embargo, debido a que los despolarizadores orgánicos no conducen electricidad la batería deberá tener una estructura de rejilla (por lo general una “cadena” de carbono, como en el caso de otras celdas secas) y esto hace que se pueda reducir su tamaño. Aun así, las celdas de despolarizador orgánico muestran una resistencia interna moderadamente alta, excepto cuando las velocidades de drenado son bajas, como, por ejemplo, en radiorreceptores, que requieren mayor atención.

2.4.3 BATERÍAS DE CLORURO CÚPRICO-MAGNESIO La celda de cloruro cúprico- magnesio (Cu Cl-Mg) es un tipo muy especializado que se utiliza bastante en radiosondas. Ya que se encuentra almacenado en condición seca, la batería de CuCl-Mg se clasifica como si fuera del tipo de reserva, cuya activación se lleva a cabo cuando se sumerge en agua (tanto dulce como salina). Para las radiosondas, la batería de CuCl-Mg utiliza un separador que es muy absorbente, de manera que el electrólito permanece en el interior de la celda después de haber sido retirado del líquido activante.

En estas condiciones, la celda puede enviarse a lugares con altitudes grandes de donde las presiones y temperaturas son extremadamente bajas. Las características especiales de las baterías de cloruro cúprico-magnesio que permiten esto logran que se lleve a cabo tan pronto como la batería inicia la descarga; el cobre se transfiere del cátodo al ánodo y en él cataliza la acción local de las reacciones. La alta velocidad de la acción local resultante produce gran cantidad de calor que mantiene a la batería a una temperatura de operación adecuada, a pesar de que pueda estar operando en ambientes extremadamente fríos.

En la figura 2.18 se muestra una batería usual de cloruro cúprico-magnesio, que suministra potencia a una radiosonda durante observaciones climatológicas tomadas a gran altura. Esta unidad suministra tanto la potencia a A como a B, y en el último caso la proporcionan 78 celdas conectadas en serie en tres apilamientos paralelos. El peculiar arreglo espacial que se proporciona mantiene el equilibrio

entre el calor generado y la pérdida de calor en el exterior, necesario para conservar a la batería con una temperatura de operación adecuada.

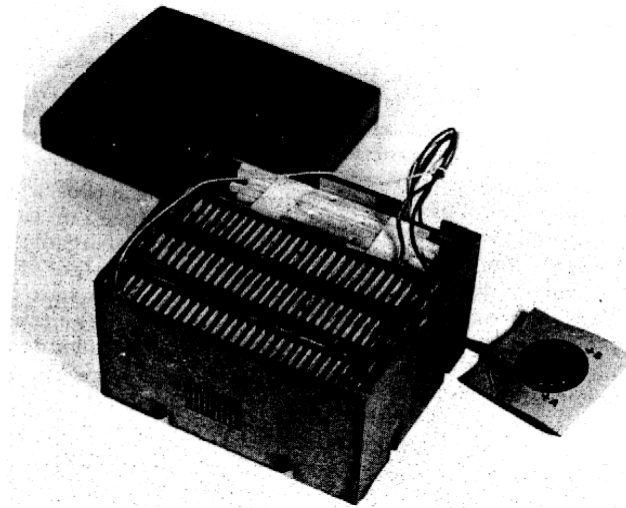


FIGURA 2.18. Batería de radiosonda de cloruro cúprico-magnesio. (Cortesía de Clevite Corp.)

2.4.4 BATERÍAS DE CLORURO DE PLATA-MAGNESIO La batería de cloruro de plata- magnesio es, en términos generales, parecida a la batería de cloruro cúprico-magnesio, y se utiliza en radiosondas, cuyas necesidades de alta potencia son superiores a las cantidades que se pueden proporcionar a partir de la batería de Cu Cl-Mg. Sin embargo, la principal aplicación para las baterías de cloruro de plata-magnesio, es el suministro de potencia a boyas sonoras y torpedos. El sistema Ag Cl-Mg posee una características muy importantes que consiste en que es extremadamente estable durante el tiempo de almacenamiento sin requerir una preparación o cuidado especiales, y las unidades que se han almacenado durante más de diez años han mostrado un comportamiento plenamente satisfactorio en el momento que se activan y se descargan.

En las baterías de boyas sonoras o torpedos, el agua salada del océano forma por sí mismo el electrólito. Ya que este tipo de electrólito (sal diluida) es un conductor bastante malo, los electrodos deberán mantener un espaciamiento muy cercano entre sí y alcanzan de esta manera una baja resistencia interna que hace posible niveles de potencia altos, para los cuales se utilizan normalmente estas baterías. También en este caso la acción local en el ánodo de magnesio produce buena cantidad de calor, de forma que este medio se suele proporcionar .para que se lleve a cabo un flujo abundante de la batería con el agua del mar. Esto no sólo mantiene baja la temperatura del agua interior, sino que también conserva los electrodos libres de lodo e impurezas resultantes de la descarga. La batería de cloruro de plata-magnesio, cuyas características se proporcionan en la figura 2.19, es capaz de proporcionar una gama de velocidades bastante amplia, y su comportamiento es bastante bueno, incluso cuando se consideran niveles muy altos de potencia.

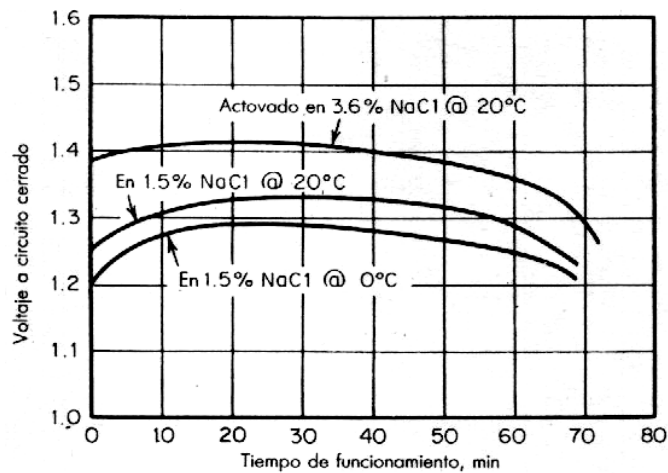


FIGURA 2.19. Características de una celda de cloruro de plata- magnesio (tipo hoya sonora).

2.4.5 BATERÍAS DE AIRE DESPOLARIZADO Debido a que la celda de aire despolarizado puede utilizar realmente oxígeno atmosférico como despolarizante, tiene una capacidad muy alta dentro de los límites de su peso. Sin embargo, no alcanza a tenerla en las gamas muy altas o incluso medianas y aunque se encuentra en el mercado desde hace varios años, sólo ha encontrado un número limitado de aplicaciones en dispositivos de baja potencia localizados en lugares inaccesibles. La celda de aire despolarizado utiliza un bloque de zinc moldeado como su ánodo y un electrodo de carbón poroso expuesto al aire como su cátodo. El electrólito es un hidróxido de potasio y normalmente se encuentra presente en exceso para las necesidades de operación, de manera que elimina prácticamente el control de agua y otros procedimientos de mantenimiento.

2.4.6 BATERÍAS DE AIRE-ZINC Muy recientemente, algunas versiones complejas de celdas de aire despolarizado se han desarrollado intensamente, dando como resultado que este tipo de celdas (rebautizadas como celdas de aire-zinc para diferenciarlas de las versiones anteriores) se están fabricando ahora en una amplia variedad de tamaños y empiezan a utilizarse en el suministro de potencia a radio transceptores. Aun se prevé mayor aplicación en sistemas de potencia motriz (incluso en automóviles), ya que las celdas reciben su material despolarizante a partir del aire a medida que lo van necesitando.

En las celdas modernas de aire-zinc se emplean unos catalizadores de cátodo especiales de bajo costo para alcanzar velocidades de descarga altas bastante altas. Sin embargo, todavía no existen tamaños estandarizados para uso comercial, ya que la mayor parte de las baterías desarrolladas hasta ahora se utilizan en aplicaciones específicas militares altamente especializadas. En términos generales, las celdas de aire-zinc también pueden considerarse como baterías de reserva, pues están empacadas en forma seca y se activan por medio de la adición de agua. Contienen hidróxido de potasio sólido (normalmente en los poros del ánodo) que al combinarse con el agua forma el electrólito de la celda. Después de la activación, la vida de almacenamiento de la batería es bastante escasa y su capacidad se disipará muy rápidamente en cuestión de semanas. Sin embargo, actualmente se está realizando un trabajo considerable tendiente a mejorar esta situación, sobre todo por medio de la amalgamación del zinc con mercurio, un proceso que reduce en gran escala la velocidad a la cual el zinc reaccionará espontáneamente con el electrólito.

Además de la mejoría de la primera versión, el trabajo desarrollado se está dirigiendo también hacia el efecto de recarga de los electrodos de zinc en celdas de aire- zinc de manera más o menos convencional, produciendo de esta forma una batería secundaria. En estos momentos estas baterías no han alcanzado un impacto verdaderamente comercial, pero un desarrollo alterno, el denominado batería mecánicamente recargable, se encuentra ahora en el mercado. En este tipo de batería, ilustrado en la figura 2.20, los ánodos de zinc se diseñan de tal manera que sean fácilmente eliminables de la batería una vez que se completa la descarga, y otros nuevos se ponen en su lugar. Durante este proceso el electrólito también se sustituye, lo que da como resultado una batería virtualmente nueva. El electrodo positivo, o de aire, se ha desarrollado de tal forma que se espera tenga una vida equivalente a cerca de 50 ánodos, haciendo que se tenga una batería funcional bastante económica.

2.5 CELDAS DE COMBUSTIBLE. El estudio de las celdas de aire-zinc, en las cuales uno de los reactantes (el oxígeno) entra a la celda en la medida que se necesita, la sitúa directamente en un grupo de generadores electroquímicos conocidos por lo general como celdas de combustible. A partir de esto, el concepto evolucionó de tal forma que si el agua puede ser separada electroquímicamente en hidrógeno y oxígeno, será posible re combinar el hidrógeno y el oxígeno en una celda electroquímica (es decir, sobre superficies adecuadas del electrodo), con objeto de producir energía eléctrica. En efecto, se ha demostrado que esto es válido, y además que las celdas desarrolladas durante la década de 1920 se llevaron a cabo por medio de las reacciones pertinentes y con eficiencias razonablemente buenas. En muchos aspectos, este tipo de celdas tuvieron las características de la combinación primaria de un transportador-generador debido a que los materiales electroquímicos (como hidrógeno y oxígeno) eran gases y podían ser almacenados en el exterior de la celda para que se introdujeran en ella a medida que se necesitara. Dentro de estos límites se encontró que cuanto mayor fuera la velocidad a la cual se alimentaban los gases, mayor era la potencia eléctrica generada por la celda. Además, esos gases actuaban de manera muy parecida a como si tuvieran un combustible y un oxidante, poniendo en evidencia la razón por la cual se les asignó el popular término de celda de combustible.

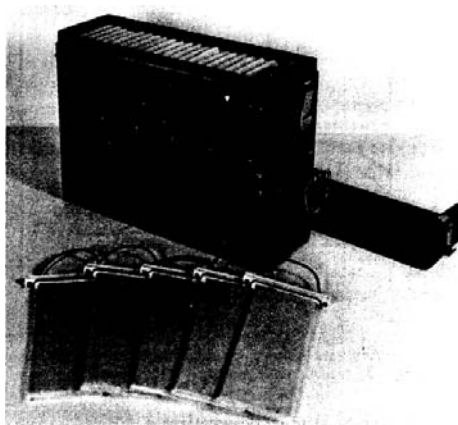


FIGURA 2.20. Batería de aire-zinc con ánodos reemplazables. *(Cortesía de Clevite Corp.)*

En una época más reciente se encontró gran variedad de combustibles que son adecuados, considerando que tienen un número bastante elevado de oxidantes, de manera que ahora existe gran variedad de sistemas con celdas de combustible. También, el concepto ha crecido en forma tal que

abarca Otros combustibles gaseosos y usualmente, además del hidrógeno, algunos materiales como los hidrocarburos, hidracina (N_2H_2), y algunos metales fundidos (como sodio, litio, potasio, cloro, bromo y otros metales reactivos que pueden fusionarse fácilmente) se han venido utilizando. Ciertos oxidantes como aire, cloro, bromo y otros han proporcionado también características importantes de las celdas. De hecho, las diferentes combinaciones en la celda-combustible de oxidantes y reductores que se han investigado han dado como resultado algunos sistemas de celda-combustible con características muy especializadas para aplicaciones muy específicas.

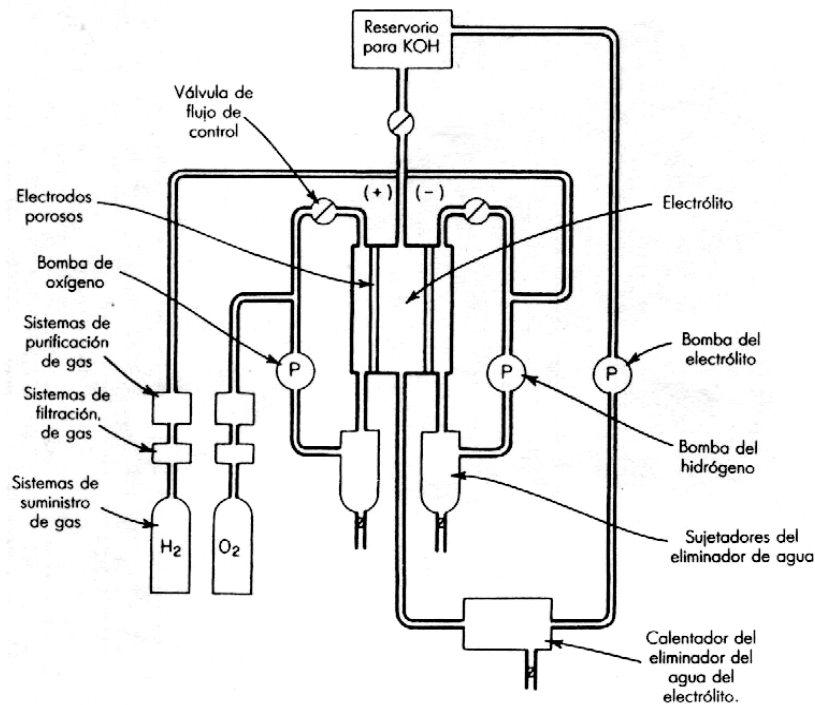


FIGURA 2.21. Diagrama esquemático de un sistema de celda de combustible de hidrógeno-oxígeno.

Sin embargo, básicamente, casi todas las celdas de combustible son variantes del diseño fundamental que se muestra esquemáticamente en la figura 2.21. Esta figura muestra una celda de hidrógeno-oxígeno y el equipo auxiliar necesario; este equipo auxiliar viene a ser extremadamente importante para ampliar el funcionamiento de una celda de combustible. En la celda ilustrada, la reacción completa utiliza la oxidación del hidrógeno en agua; esta última entra en el electrolito y, de esta forma lo diluye. Por lo tanto, deberá proporcionarse algún sistema para eliminar el agua y mantener la concentración del electrolito en un nivel adecuado. Si el hidrógeno o el oxígeno contienen impurezas, éstas entrarán a la celda y llegarán a dañar considerablemente el comportamiento de la celda. Por ello, el combustible y el oxidante deberán tener la mayor pureza antes de su introducción en la celda. Esto hace que el problema de ingeniería sea bastante complicado y se ha obtenido un buen resultado a partir de un cuidadoso desarrollo del equipo auxiliar.

En la figura 2.22 se muestra la fotografía de una celda real correspondiente a un sistema celda-combustible, con las características generales de funcionamiento de varios sistemas de celda-combustible que se detallan en la tabla 2.13.

TABLA 2.13. Características de un sistema usual de celdas de combustible.

Capacidad de potencia, W	Aplicación	Combustible	Oxidante	Vida desatendida, h	Capacidad de potencia	
					Kw/lb	Kw/ft ³
200	Radiocomunicación	Hidrógeno	Oxígeno	1500	0.006	0.4
500	Potencia General	Hidrazina	Aire	1000	0.005	0.2
10 000	Potencia espacial	Alcohol	Aire	2500	0.000	0.3
25	Marina	Hidrocarburo	Aire	7500	0.01	1.3

Las celdas de combustible son, por consiguiente, generadores electroquímicos de potencia, no necesariamente sencillos, en los que el movimiento de combustible y el oxidante en el interior de la celda, así como los productos de oxidación fuera de la celda, han llegado a representar un problema de movimiento de materiales bastante complicado, y se ha encontrado que las celdas de combustible modernas tienen gran cantidad de equipo de bombeo, de filtrado, de válvulas y control asociadas con el propio generador electroquímico. En muchos casos, como para la celda de H₂O₂, ha sido necesario alcanzar presiones y temperaturas demasiado altas (para producir salidas de alta potencia), dificultando aún más la utilización de equipo. En otros casos, como el del sistema de litio-flúor, se requiere una temperatura muy alta para que funcione adecuadamente.

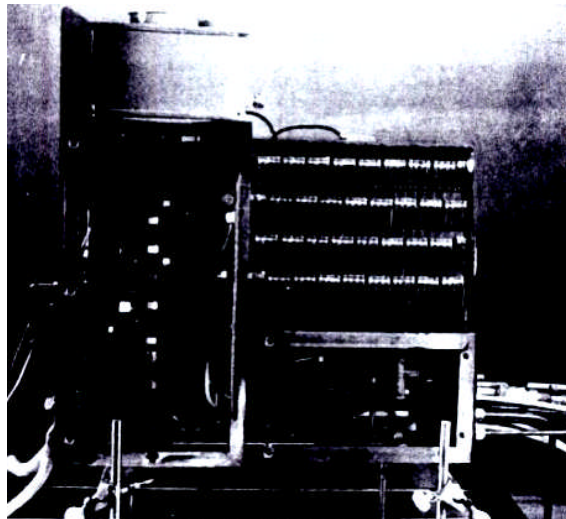


FIGURA 2.22. Sistema de potencia de una celda de combustible de hidrógeno-oxígeno. (Cortesía de Union Carbide Corp.)

Gran cantidad de celdas de combustible existen ahora en el mercado con capacidades de potencia bastante razonables y han encontrado aplicación como fuente de poder para vehículos espaciales tripulados, por ejemplo, en el programa Apolo. Las celdas de combustible que utilizan alcohol se han llegado a producir en pequeños tamaños y se han promovido dentro de las aplicaciones militares. Hasta ahora, los diseños de las celdas de combustible se han desarrollado sin tomar en cuenta su

utilización en propósitos muy específicos y tampoco hay una generalización de tamaños o estandarización de componentes, de manera que la información de esta naturaleza en forma tabulada no se encuentra normalmente disponible. Sin embargo, la gran variedad de propiedades que pueden alcanzarse, junto con la larga vida del catalizador empleado, que incrementa mucho la velocidad de la posible reacción en las superficies del electrodo (y de esta manera aumenta la capacidad de potencia de la celda), se han tomado en consideración causando un interés muy grande en los dispositivos que se muestran. Además, varias tanto gubernamentales como privadas, están apoyando proyectos importantes para aumentar todavía más la eficiencia y la facilidad en el funcionamiento de estas unidades, por lo que es bastante probable que las formas estándar evolucionen en los próximos años.

Hasta ahora, los indicadores muestran que estas normas se dirigirán especialmente hacia aplicaciones de potencia motriz (en pequeños automóviles o algo parecido), en generadores estacionarios (normalmente para servicio de emergencia) y en comunicaciones por radio. Las celdas de combustible han demostrado por sí mismas su capacidad para producir cantidades utilizables bastante adecuadas de energía a partir de fuentes convencionales de combustible y ofrecer una larga vida con un mantenimiento relativamente pequeño. De hecho, ahora resulta posible tener plantas de potencia basadas en celdas de combustible sin atención, en localidades remotas, o utilizar combustibles de desperdicio (como el hidrógeno obtenido a partir de una producción cáustica) con objeto de producir una potencia "conveniente". Sin embargo, en este momento el costo de las celdas de combustible, así como su funcionamiento, son altos; pero existe la posibilidad de que a medida que llegue a ser más utilizadas, se continúe haciendo mejoras y se llegue a alcanzar cierto grado de estandarización, las celdas de combustible ocuparán una posición importante como fuente de energía electroquímica.

CAPITULO 3

"INVERSORES DE POTENCIA"

CAPITULO 3

“INVERSORES DE POTENCIA”

3.1 INVERSORES MODULADOS POR ANCHO DE PULSO

3.1.1 INTRODUCCIÓN.

Los convertidores de CD a CA se llaman inversores. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de CD a un voltaje simétrico de salida de CA, con la magnitud y frecuencia deseadas. El voltaje de salida podría ser fijo o variable, a una frecuencia fija o variable. Un voltaje variable de salida se puede obtener haciendo variar el voltaje de entrada de CD, manteniendo constante la ganancia del inversor. Por otro lado, si el voltaje de CD de entrada es fijo y no es controlable, se puede obtener un voltaje variable de salida haciendo variar la ganancia del inversor, lo que se consigue normalmente con control por modulación por ancho de pulso (PWM, de pulsewidth - modulation) dentro del inversor. La ganancia del inversor se puede definir como la relación entre el voltaje de salida de CA y el voltaje de entrada de CD.

Las formas de onda del voltaje de salida de los inversores ideales deberían ser sinusoidales. Sin embargo, las de los inversores prácticos no son sinusoidales y contienen ciertas armónicas. En aplicaciones de potencia baja e intermedia se pueden aceptar voltajes de onda cuadrada o de onda casi cuadrada, y para aplicaciones con alta potencia se requieren formas de onda sinusoidal con poca distorsión. Con la disponibilidad de los dispositivos semiconductores de potencia de alta velocidad, se pueden minimizar los contenidos de armónicas del voltaje de salida, o al menos reducirlos en forma importante, mediante técnicas de conmutación.

Los inversores se usan mucho en aplicaciones industriales, como por ejemplo impulsores (“variadores”, “reguladores” o “controles”) de motor de CA y velocidad variable, o en calentamiento por inducción, fuentes de alimentación de reserva y fuentes de alimentación ininterrumpibles. La entrada puede ser una batería, una celda de combustible, celda solar u otra fuente de CD. Las salidas normales monofásicas son 1) 120V a 60 Hz, 2) 220V a 50 Hz y 3) 115V a 400 Hz. Para sistemas trifásicos de gran potencia, las salidas normales son 1) de 220 a 380V a 50 Hz, 2) 120 a 208 Va 60 Hz y 3) de 115 a 200 V a 400 Hz.

Los inversores se pueden clasificar en dos tipos:

- 1) inversores monofásicos.
- 2) inversores trifásicos.

Cada uno puede usar de y tipos controlados de encendido y apagado.

BJT: transistores bipolares de unión.

Mosfet: transistores de efecto de campo, de metal oxido semiconductor.

IGBJ: transistores bipolar de compuerta aislada.

GTO: tiristor controlado por compuerta.

Estos inversores usan en general señales de control por modulación por ancho de pulso (PWM) para producir un voltaje de salida de CA. Un inversor se llama (VFI) inversor alimentado por voltaje (voltaje-fed-inverter) si el voltaje de entrada permanece constante; inversor alimentado corriente

(CFI, de current-fed inverter) si la corriente de entrada se mantiene constante, y el convertidor enlazado con CD variable si el voltaje de entrada es controlable. Si se hacen pasar el voltaje o la corriente de salida del inversor por cero, creando un circuito resonante LC, a esta clase de inversor se le llama inversor de pulso resonante, y tiene muchas aplicaciones en la electrónica de potencia.

PRINCIPIO DE OPERACIÓN El principio de los inversores monofásicos se puede explicar con la figura 3.1a. El circuito del inversor consiste en dos pulsadores. Cuando sólo enciende el transistor Q_1 durante el tiempo $T_0/2$, el voltaje instantáneo V_0 a través de la carga es $V_s/2$. Si el transistor Q_2 se enciende durante un tiempo $T_0/2$, aparece $-V_s/2$ a través de la carga. El circuito lógico se debe diseñar de tal modo que Q_1 y Q_2 no estén activos al mismo tiempo. La figura 3.1b muestra las formas de onda del voltaje de salida y las corrientes en el transistor, con una Carga resistiva. Este inversor requiere una fuente de CD de tres hilos, y cuando un transistor esta apagado, su voltaje inverso es V_s en lugar de $V_s/2$. A este inversor se le llama inversor en medio puente.

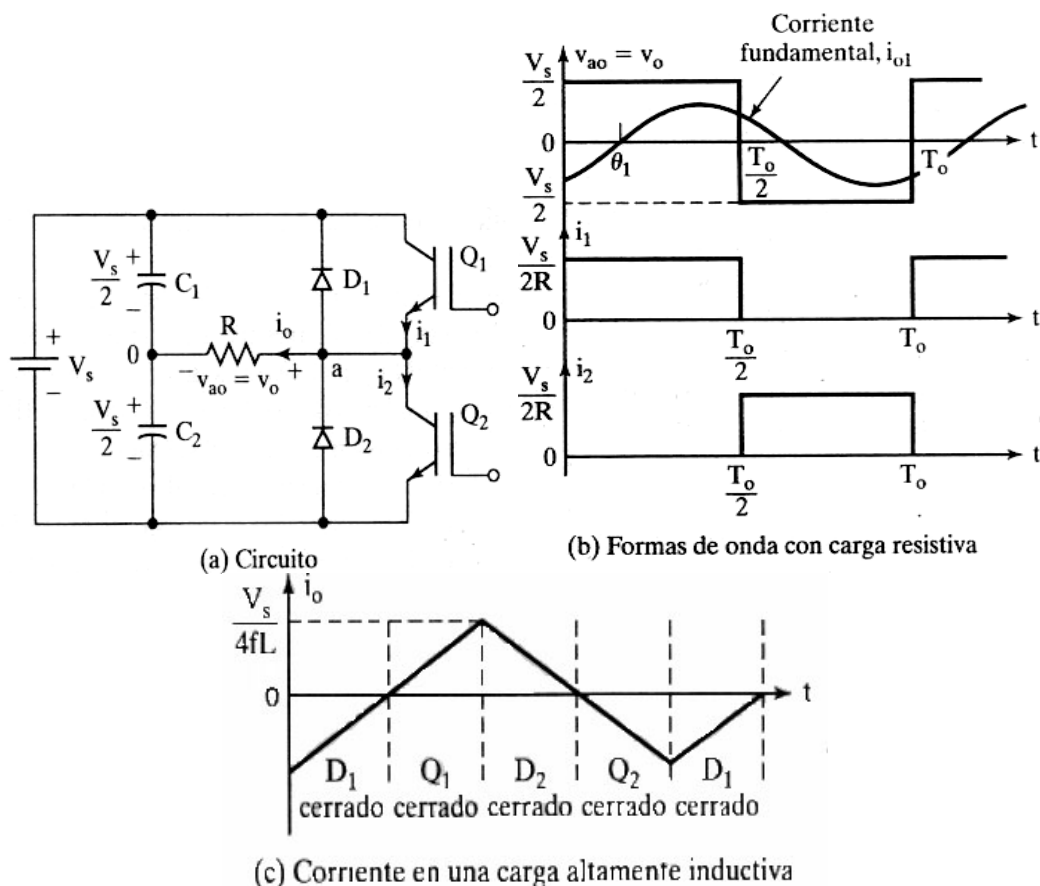


FIGURA 3.1 Inversor monofásico de medio puente.

Para una carga inductiva, su corriente no puede cambiar de inmediato al cambiar el voltaje de salida. Si Q_1 se apaga cuando $t = T_0/2$, la corriente de Carga continuará pasando por D_2 , la Carga y la mitad inferior de la fuente de CD, hasta que llega a cero. De igual modo, cuando se enciende Q_2 en el momento $t = T_0$, la corriente de Carga pasa por D_1 , la Carga y la mitad superior de la fuente de CD. Cuando el diodo D_1 o D_2 conducen, la energía se regresa a la fuente de CD, y a esos diodos se les llama diodos de retroalimentación. La figura 3.1c muestra la corriente de Carga y los intervalos de conducción de los dispositivos, con una Carga puramente inductiva. Se puede ver que en este caso el

transistor sólo conduce durante $T_0/2$ (0 90°). Dependiendo del Angulo de impedancia de la carga, el periodo de conducción de un transistor podría variar de 90° a 180°.

Cualquier dispositivo de conmutación puede sustituir a los transistores. Si t_{off} es el tiempo de apagado de un dispositivo, debe haber un tiempo mínimo de retardo $t_d (=t_{off})$ entre el dispositivo a la salida y el disparo del siguiente dispositivo de entrada. De no ser así, se produciría una condición de corto circuito a través de los dos dispositivos. En consecuencia, el tiempo máximo de conducción de un dispositivo sería $t_{on} = T_0/2 - t_d$. Todos los dispositivos prácticos requieren cierto tiempo de encendido y de apagado. Para que el funcionamiento de los inversores sea adecuado, el circuito lógico los debe de tener en cuenta.

En la mayor parte de las aplicaciones (por ejemplo, los impulsores de motor eléctrico), la potencia de salida debida ala corriente fundamental es, en general, la potencia útil, y la potencia debida a las corrientes armónicas se disipa en forma de calor, y aumenta la temperatura de la carga.

Corriente de alimentación de CD. Suponiendo un inversor sin perdidas, la potencia promedio absorbida por la carga debe ser igual a la potencia promedio suministrada por una fuente de CD. Para una carga inductiva, y una frecuencia de conmutación relativamente alta, la corriente i_o en la carga es casi sinusoidal, y en consecuencia solo el componente fundamental del voltaje de salida de CA suministra potencia a la carga, ya que el voltaje de alimentación de CD permanece constante. Así, la corriente de alimentación de CD, I_s , se puede escribir:

$$I_s = \frac{V_{01}}{V_s} I_0 \cos\theta_1$$

Secuencia de disparo. La secuencia de disparo para el control de los dispositivos de conmutación es la siguiente:

1. Generar una señal de disparo cuadrada V_{g1} , con una frecuencia f_0 y ciclo de trabajo de 50%. La señal de disparo V_{g2} debe ser una inversa lógica de V_{g1} .
2. La señal V_{g1} controla al interruptor Q_1 a través de un circuito aislador de compuerta, y V_{g2} puede controlar Q_2 sin circuito alguno de aislamiento.

Nota:

Se puede obtener un voltaje alterno de salida conectando, alternativamente, las terminales positiva y negativa de la fuente de CD a través de la carga y encendiendo y apagando en forma correspondiente los dispositivos de conmutación. La componente fundamental rms, V_{01} , del voltaje de salida, es $0.45 V_s$.

Se requieren diodos de retroalimentación para regresar a la fuente de CD la energía almacenada en la inductancia de carga.

Parámetros de rendimiento. La salida de los inversores prácticos contiene armónicas, y la calidad de un inversor se suele evaluar en términos de los siguientes parámetros de rendimiento.

Factor armónico de la n-ésima armónica (HF_n). El factor armónico (de la n-ésima armónica), que es una medida de la contribución individual de esa armónica, se define como: $HF_n = (V_{on}/V_{01})$ para $n > 1$

Donde V_1 es el valor rms de la componente fundamental, y V_{on} es el valor rms de la n-ésima componente armónica.

Distorsión armónica total (THD). La distorsión armónica total, que es una medida de la coincidencia de formas entre una onda y su componente fundamental, se define como: $THD = 1/V_{01} (\sum_{n=2,3}^{\infty} V_{on}^2)^{1/2}$

Factor de distorsión (DF). La THD expresa el contenido total de armónicas, pero no indica el nivel de cada componente armónico. Si se usa un filtro a la salida de los inversores, las armónicas de orden mayor se atenúan con más eficacia. Por consiguiente, es importante conocer tanto la frecuencia como la magnitud de cada armónica. El DF indica la cantidad de distorsión armónica que queda en determinada forma de onda después de someter a las armónicas de esa onda a una atenuación de segundo orden, es decir, dividir las entre n^2 . Así, el factor de distorsión es una medida de la eficacia de reducción de armónicas no deseadas, sin tener que especificar los valores de un filtro de carga de segundo orden, y se define como:

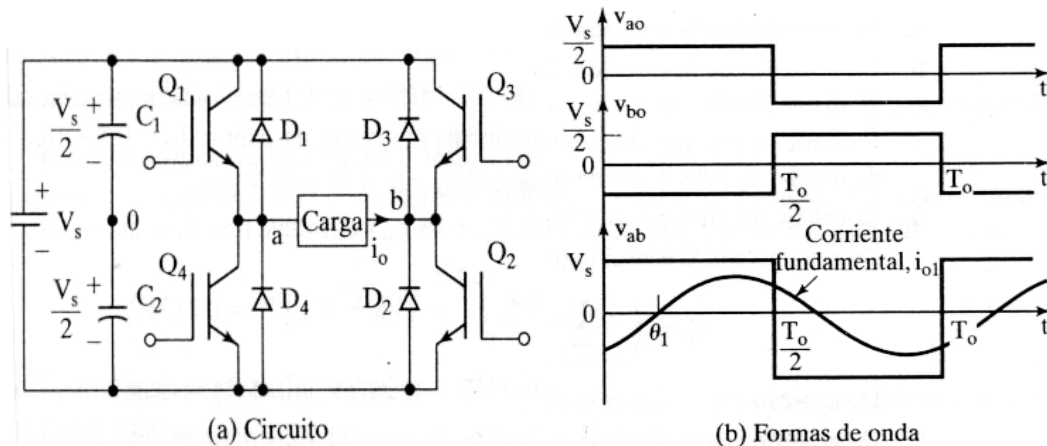
$$DF_n = V_{on}/V_{01} (\sum_{n=2,3}^{\infty} (V_{on}^2/n^2))^{1/2}$$

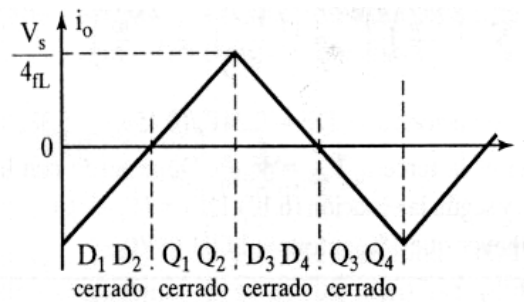
El DF de un componente armónico individual (o el n-ésimo) se define como:

$$DF_n = V_{on}/V_{01}n^2 \text{ para } n > 1$$

Armónica de orden más bajo (LOH). La LOH es aquel componente armónico cuya frecuencia se acerca más a la de la fundamental, y su amplitud es mayor o igual al 3% de la componente fundamental.

Puentes inversores monofásicos. En la figura 3.2 se muestra un puente inversor (VSI, de voltage source inverter, inversor de fuente de voltaje) monofásico para fuente de voltaje. Consiste en cuatro interruptores periódicos. Cuando los transistores Q_1 y Q_2 encienden en forma simultánea, el voltaje de alimentación V_s aparece a través de la carga. Si los transistores Q_3 y Q_4 se encienden al mismo tiempo, se invierte el voltaje a través de la carga y es $-V_s$. La forma de onda del voltaje de salida se ve en la figura 3.2b. La tabla 3.1 muestra los cinco estados de conmutación. Los transistores Q_1 y Q_4 de la figura 3.2a funcionan como dispositivos de conmutación S_1 y S_4 , respectivamente. Si al mismo tiempo conducen dos interruptores: uno superior y uno inferior, de tal modo que el voltaje de salida es $\pm V_s$, el estado de conmutación es 1, mientras que si están apagados al mismo tiempo, el estado de conmutación es 0.





(c) Corriente en una carga altamente inductiva

FIGURA 3.2. Puente inversor monofásico completo.

TABLA 3.1. Estados de interruptores para un puente inversor de fuente de voltaje monofásico completo (VSI).

ESTADO	EDO No.	INT.*	V _{ao}	V _{bo}	V _o	COMPONENTES QUE CONDUCEN
S ₁ y S ₂ están cerrados, S ₄ y S ₃ están abiertos	1	10	V _s /2	-V _s /2	V _s	S ₁ y S ₂ , si i _o > 0, D ₁ y D ₂ i _o < 0
S ₄ y S ₃ están cerrados, S ₁ y S ₂ están abiertos	2	01	-V _s /2	V _s /2	-V _s	D ₄ y D ₃ , si i _o > 0, S ₄ y S ₃ i _o < 0
S ₁ y S ₃ están cerrados, S ₂ y S ₄ están abiertos	3	11	V _s /2	V _s /2	0	S ₁ y D ₃ , si i _o > 0, D ₁ y D ₃ i _o < 0
S ₄ y S ₂ están cerrados, S ₁ y S ₃ están abiertos	4	00	-V _s /2	-V _s /2	0	D ₄ y S ₂ , si i _o > 0, S ₄ y D ₂ i _o < 0
S ₁ , S ₂ , S ₃ y S ₄ están todos abiertos	5	off	V _s /2	-V _s /2	V _s	D ₄ y D ₃ , si i _o > 0, D ₄ y D ₂ i _o < 0

* 1, Si un interruptor está cerrado y 0, si un interruptor está abierto.

Cuando conducen los diodos D₁ y D₂, la energía se regresa a la fuente de CD, y por consiguiente se les llama diodos de retroalimentación. La figura 3.2c muestra la forma de onda de la corriente de carga, cuando la carga es inductiva.

Corriente de alimentación de CD. Sin tener en cuenta las pérdidas, el balance instantáneo de potencia es V_s(t) i_s(t) = V_o(t) i_o(t). Para una carga inductiva, y para frecuencias de conmutación relativamente altas, se puede suponer que la corriente i_o de carga y el voltaje de salida son sinusoidales. Ya que el voltaje de alimentación de CD permanece constante. Así el diseño debe de considerar que de este modo se garantiza un voltaje de CD de enlace casi constante. Se conecta normalmente un capacitor grande a través del voltaje de Cd de la fuente, y ese capacitor es costoso y ocupa espacio; ambas cosas son indeseables, en especial con fuentes de alimentación y potencia intermedia y alta.

3.1.2 INVERSORES MONOFÁSICOS CONTROLADOS POR VOLTAJE

En muchas aplicaciones industriales, para controlar el voltaje de salida de los inversores, se necesita con frecuencia:

- 1) Hacer frente a las variaciones del voltaje de entrada de CD
- 2) Regular el voltaje de los inversores
- 3) Satisfacer los requisitos de control de voltaje y frecuencia constantes

Hay varias técnicas para variar la ganancia del inversor. El método más eficiente de controlar la ganancia (el voltaje de salida) es incorporar control por modulación por ancho de pulso (PWM) en los inversores. Las técnicas que se usan con frecuencia son:

1. Modulación por ancho de un solo pulso.

2. Modulación por ancho de pulsos múltiples.
3. Modulación por ancho de pulso sinusoidal.
4. Modulación por ancho de pulso sinusoidal modificado.
5. Control por desplazamiento de fase.

Modulación por ancho de pulso único. En el control de modulación por ancho de un solo pulso sólo hay un pulso por cada medio ciclo, y se hace variar su ancho para controlar el voltaje de salida del inversor. La figura 3.3 muestra la generación de señales de control y el voltaje de salida de los puentes inversores monofásicos completos. Las señales de disparo se generan comparando una señal de referencia rectangular, de amplitud A_r , con una onda portadora triangular de amplitud A_c . La frecuencia de la señal de referencia determina la frecuencia fundamental del voltaje de salida. El voltaje instantáneo de salida es $V_o = V_s (g_1 - g_4)$. La relación de A_r entre A_c es la variable de control, y se define como el índice de modulación de amplitud, o simplemente índice de modulación; es $M = A_r/A_c$.

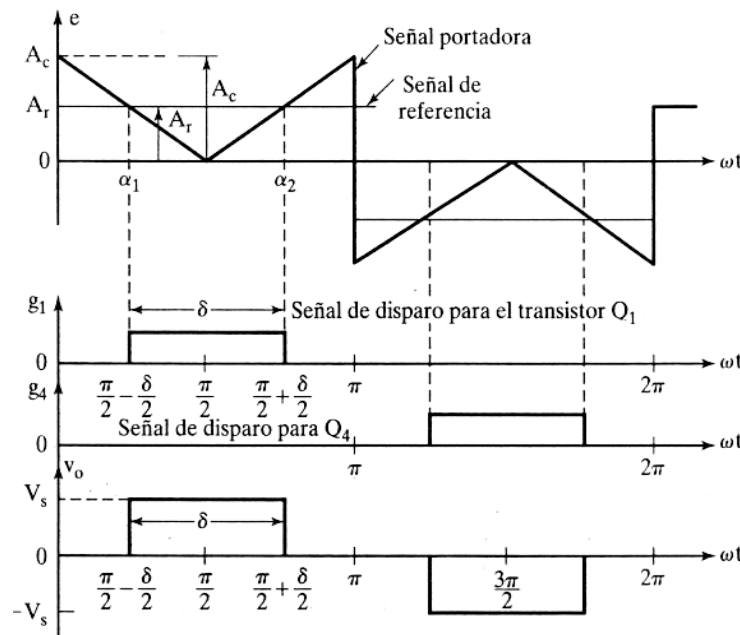


FIGURA 3.3. Modulación por ancho de un pulso.

Modulación por ancho de pulso múltiple. Se puede reducir el contenido de armónicas usando varios pulsos en cada medio ciclo del voltaje de salida. La generación de señales de disparo (en la figura 3.4b) para encender y apagar los transistores se ve en la figura 3.4a, comparando una señal de referencia contra una onda portadora triangular. Las señales de disparo se ven en la figura 3.4b. La frecuencia de la señal de referencia establece la frecuencia de salida f_o , y la frecuencia de la portadora f_c determina la cantidad de pulsos p por cada medio ciclo. El índice de modulación controla el voltaje de salida. A esta clase de modulación se le llama modulación por ancho de pulso uniforme (UPWM, de uniform pulse – width modulation). El voltaje de salida para los puentes inversores completos se ve en la figura 3.4, para UPWM.

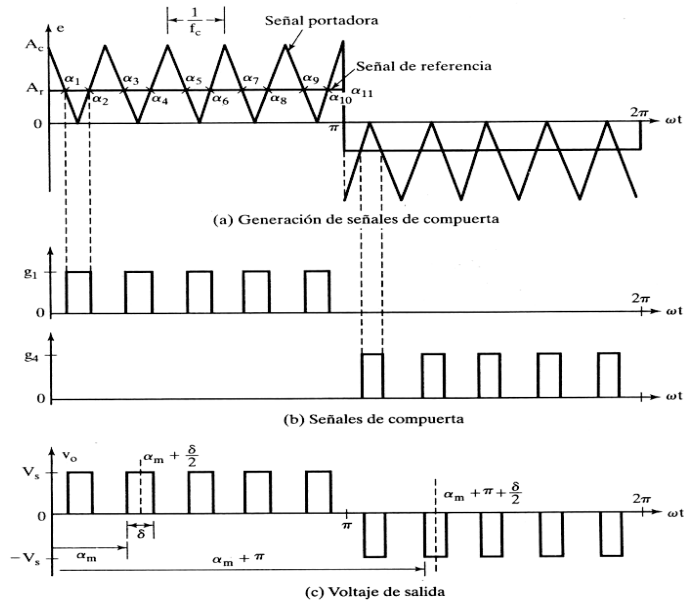


FIGURA 3.4. Modulación por ancho de varios pulsos.

Modulación por ancho de pulso sinusoidal. En lugar de mantener igual el ancho de todos los pulsos, como en el caso de la modulación de varios pulsos, se hace variar el ancho de cada pulso en proporción con la amplitud de una onda sinusoidal evaluada en el centro del mismo pulso. El DF y la LOH se reducen en forma apreciable. Las señales de control, como se ven en la figura 3.5a, se generan comparando a una señal sinusoidal de referencia con una onda portadora triangular de frecuencia f_c . Esta modulación por ancho de pulso sinusoidal (SPWM) es la que se suele usar en las aplicaciones industriales. La frecuencia de la señal de referencia determina la frecuencia de salida del inversor, y su amplitud pico controla el índice de modulación, y en consecuencia el voltaje rms de salida. Al comparar la señal portadora bidireccional con dos señales de referencia como se ve en la figura 3.5b. El voltaje de salida es $V_o = V_s (g_1 - g_4)$.

Sin embargo, g_1 y g_4 , no se pueden liberar al mismo tiempo. La cantidad de pulsos por medio ciclo depende de la frecuencia de la portadora. Dentro de la restricción de que dos transistores de la misma rama (Q_1 y Q_4) no pueden conducir al mismo tiempo, el voltaje instantáneo de salida se ve en la figura 3.5c. Se pueden generar las mismas señales de disparo con onda portadora triangular unidireccional como se ve en la figura 3.5 d.

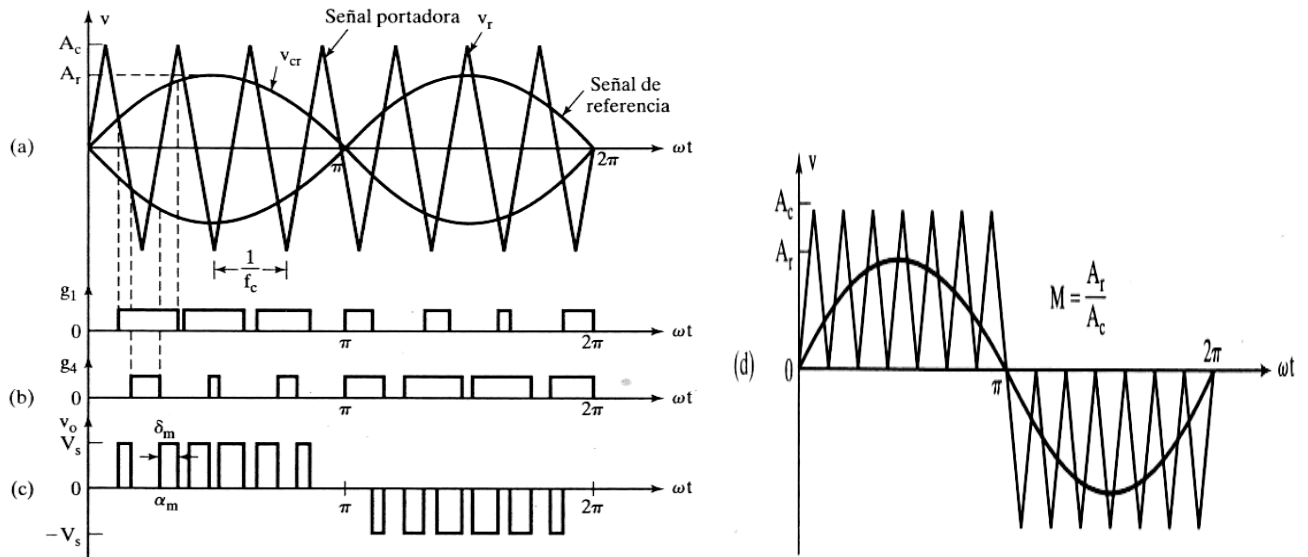


FIGURA 3.5. Modulación por ancho de pulso sinusoidal.

Modulación por ancho de pulso sinusoidal modificada.

La figura 3.5c indica que los anchos de los pulsos mas cercanos al pico de la onda sinusoidal no cambian mucho al variar el índice de modulación. Esto se debe a las características de una onda sinusoidal, y la técnica de SPWM se puede modificar ara que se aplique la onda portadora durante los primeros y últimos intervalos de 60° por medio ciclo (es decir, de 0° a 60° y de 120° a 180°). Esta modulación por ancho de pulso sinusoidal modificada (MSPWM, de modified sinusoidal pulse – width modulation) se ve en la figura 3.6. Aumenta la componente fundamental, y mejora sus características de armónicas. Reduce la cantidad de conmutación de los dispositivos de potencia, y también reduce las pérdidas por conmutación.

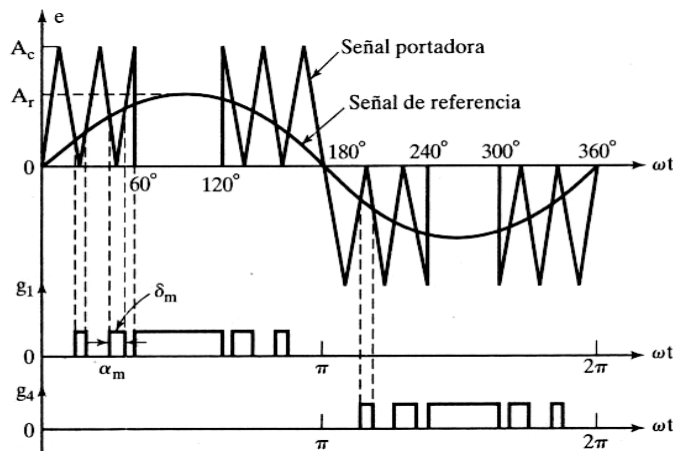


FIGURA 3.6. Modulación por ancho de pulso sinusoidal modificado.

Control por desplazamiento de fase.

Se puede tener el control de voltaje usando varios inversores y sumando los voltajes de salida de los inversores individuales. Se puede concebir que un puente inversor monofásico completo, como el de la figura 3.2a, sea la suma de dos puentes inversores en medios como el de la figura 3.1a. Un desplazamiento de fase de 180° produce un voltaje de salida como el que se ve en la figura 3.7c,

mientras que un ángulo de retardo (o desplazamiento) que produce una salida como la de la figura 3.7e.

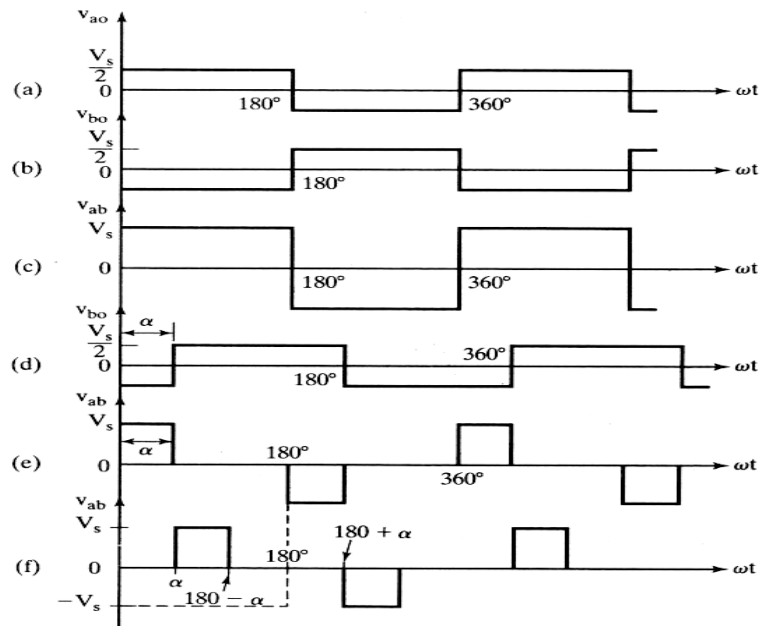


FIGURA 3.7. Control por desplazamiento de fase.

Técnicas avanzadas de modulación.

La modulación por ancho de pulso sinusoidal (SPWM), que es la que más se usa, padece de inconvenientes, como por ejemplo el bajo voltaje fundamental de salida. Otras técnicas que permiten un mejor funcionamiento son:

- ✘ Modulación trapezoidal.
- ✘ Modulación por escalera.
- ✘ Modulación por pasos.
- ✘ Modulación por inyección de armónica.
- ✘ Modulación delta.

Modulación trapezoidal. Las señales de compuerta se generan comparando una onda portadora triangular con una onda moduladora trapezoidal como se ve en la figura 3.8. La onda trapezoidal se puede obtener con una onda triangular, limitando su magnitud a $\pm Ar$ que se relaciona con el valor pico.

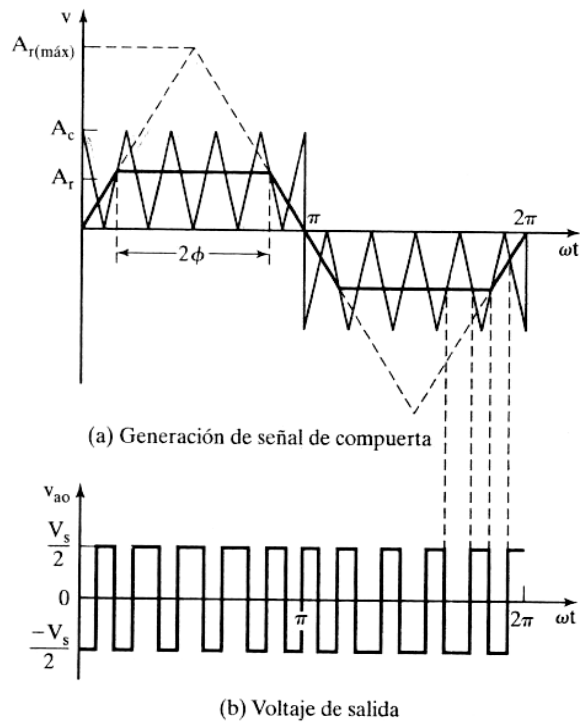


FIGURA 3.8. Modulación trapezoidal.

Modulación por escalera. La señal de modulación es una onda escalonada como se ve en la figura 3.9. La escalera no es una aproximación muestreada de una onda sinusoidal. Los niveles de los escalones se calculan para eliminar las armónicas específicas. La relación de frecuencias de modulación y la cantidad de escalones, se seleccionan para obtener la calidad deseada del voltaje de salida. Es una PWM optimizada y no se recomienda con menos de 15 pulsos en un ciclo. Se ha demostrado que para alto voltaje fundamental de salida y bajo DF, la cantidad óptima de pulsos en un ciclo es de 15, para dos niveles, 21 para tres niveles y 27 para cuatro niveles. Esta clase de control suministra un voltaje de salida de alta calidad.

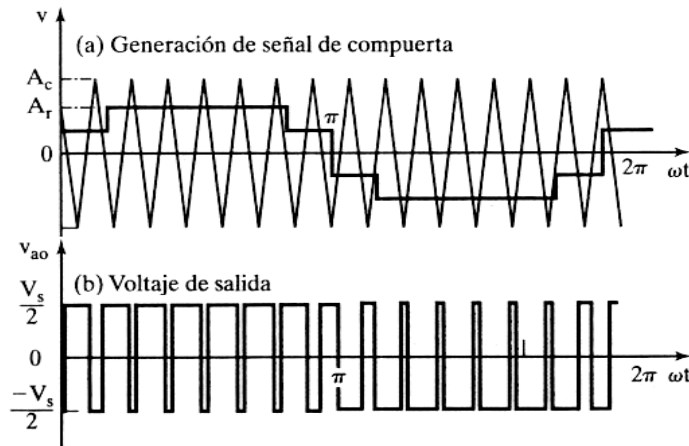


FIGURA 3.9. Modulación por escalera.

Modulación por pasos. La señal moduladora es una onda en escalera, como se ve en la figura 3.10 esta onda no es una aproximación muestreada de la onda sinusoidal. Se divide en intervalos especificados por ejemplo de 20°, y cada intervalo es controlado en forma individual para controlar a

su vez la magnitud de la componente fundamental y eliminar las armónicas específicas. Esta clase de control produce poca distorsión, y una mayor amplitud de la fundamental, en comparación con la del control PWM normal.

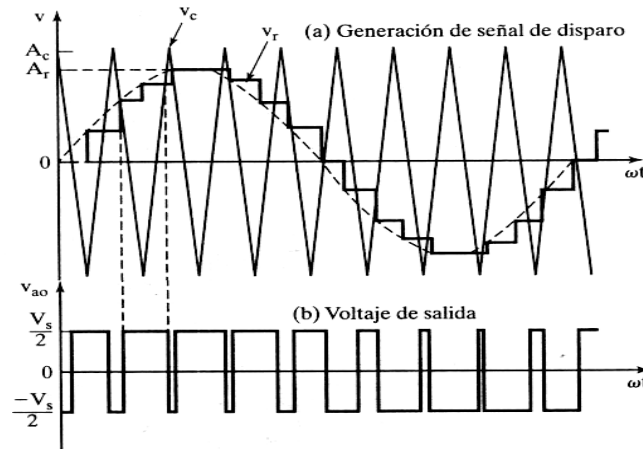


FIGURA 3.10. Modulación por pasos

Modulación por inyección de armónica. La señal moduladora se genera inyectando, a la onda sinusoidal, armónicas seleccionadas. Da como resultado una forma de onda con una cresta plana, y reduce la cantidad de sobremodulación. Produce una amplitud mayor de la fundamental y baja distorsión del voltaje de salida. La señal moduladora con inyecciones de tercera y novena armónicas se ve en la figura 3.11. Se debe notar que la inyección de las $3n$ -ésimas armónicas no afecta la calidad del voltaje de salida, porque la salida de un inversor trifásico no contiene armónicas triples.

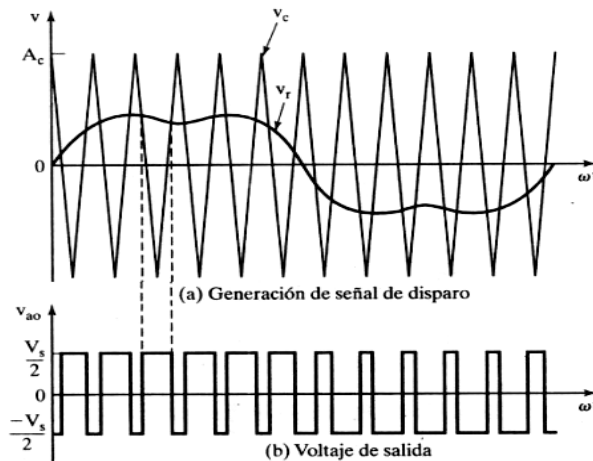


FIGURA 3.11. Modulación por inyección de armónica seleccionada.

Modulación delta. En la modulación delta se deja oscilar una onda triangular dentro de una ventana definida, arriba y debajo de la onda sinusoidal de referencia. La función de conmutación del inversor, que es idéntica al voltaje de salida, se genera desde los vértices de la onda triangular, como se ve en la figura 3.12. También se llama modulación por histéresis. Si cambia la frecuencia de la onda moduladora, manteniendo constante la pendiente de la onda triangular, cambia la cantidad de pulsos y de anchos de pulso de la onda modulada. El voltaje fundamental de salida depende de la amplitud

pico y de la frecuencia del voltaje de referencia. La modulación delta puede controlar la relación de voltaje a frecuencia, lo que es una característica deseable, en especial para controlar motores.

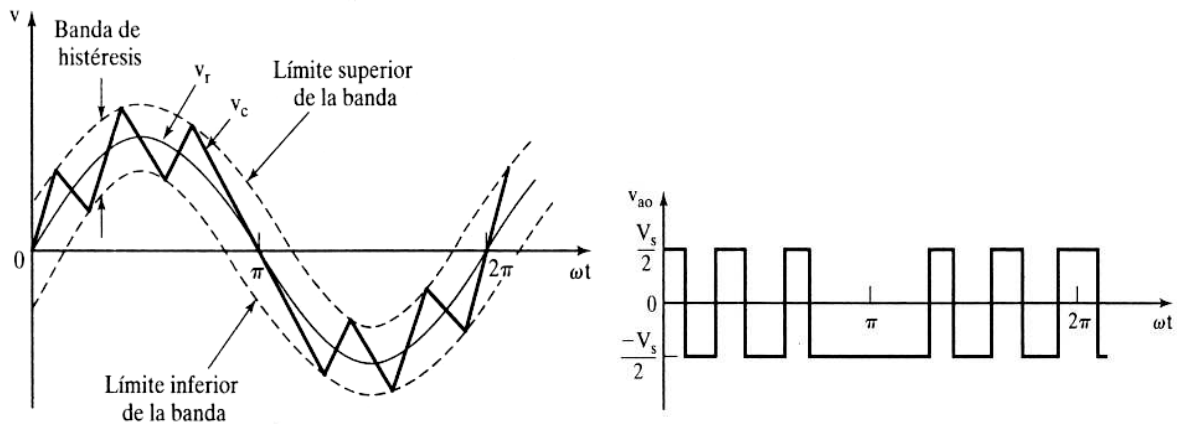


FIGURA 3.12. Modulación delta.

3.1.3 INVERSORES CON FUENTE DE CORRIENTE.

En el punto 3.1.2 los inversores se alimentan de una fuente de voltaje, y la corriente en la carga es obligada a fluctuar de positiva a negativa y viceversa. Para las cargas inductivas, se requieren los interruptores de potencia con diodos de corrida libre, mientras que en un inversor con fuente de corriente (CSI, de current-source inverter) la entrada se comporta como fuente de corriente. La corriente de salida se mantiene constante, independientemente de la carga en el inversor, y se obliga a cambiar el voltaje de salida. El diagrama eléctrico de un inversor monofásico transistorizado se ve en la figura 3.13a. Como debe haber un flujo continuo de corriente desde la fuente, siempre deben conducir dos interruptores, uno del interruptor superior y uno del inferior. La secuencia de la conducción es 12, 23, 34, y 41, como se ve en la figura 3.13b. Los estados de los interruptores se ven en la tabla 3.2. Los transistores Q1, Q4 en la figura 3.13 funcionan como los dispositivos de conmutación S1 y S4 respectivamente. Si dos interruptores, uno superior y uno inferior, conducen al mismo tiempo, de tal modo que la corriente de salida es $\pm I_L$, el estado de conmutación es 1, mientras que si esos interruptores están abiertos al mismo tiempo, el estado de conmutación es 0. La forma de la corriente de salida se ve en la figura 3.13c. Se necesitan los diodos en serie con los transistores para bloquear los voltajes risis en estos últimos.

TABLA 3.2. Estados de interruptores para un puente inversor monofásico con fuente de corriente completo (CSI).

Estado	No	Interruptores S1S2S3S4	i_o	Componentes que conducen
S1 y S2 cerrados, S3 y S4 abiertos	1	1100	I_L	S1 y S2, D1 y D2
S3 y S4 cerrados, S1 y S2 abiertos	2	0011	$-I_L$	S3 y S4, D3 y D4
S1 y S4 cerrados, S3 y S2 abiertos	3	1001	0	S1 y S4, D1 y D4
S3 y S2 cerrados, S1 y S4 abiertos	4	0110	0	S3 y S2, D3 y D2

Cuando hay dos dispositivos en distintos ramales que conducen, la corriente de la fuente I_L pasa por la carga. Cuando conducen dos dispositivos en la misma rama, la corriente de la fuente se desvía de la carga.

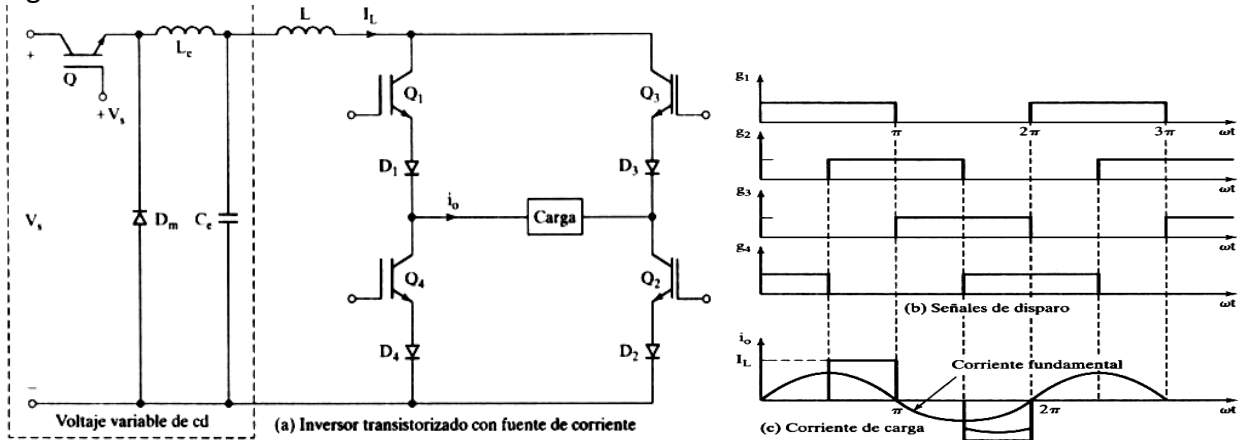


FIGURA 3.13. Fuente de corriente monofásica.

La figura 3.14a muestra el diagrama de un inversor trifásico con fuente de corriente. Las formas de onda para las señales de compuerta y las de corriente de línea, para una carga conectada y en estrella (Y), se ven en la figura 3.14b. En cualquier momento sólo hay dos tiristores conduciendo y cada dispositivo conduce durante 120° .

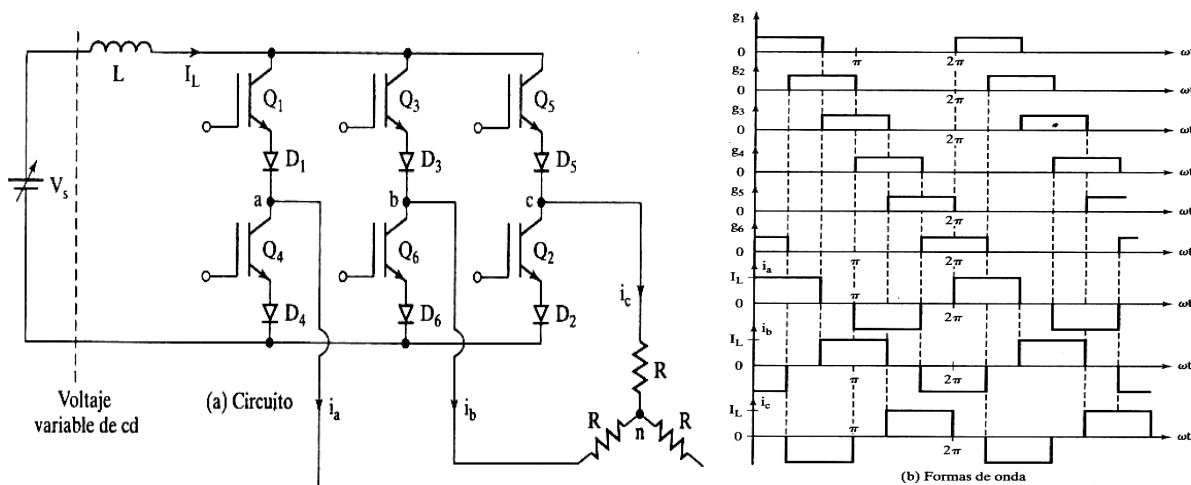


FIGURA 3.14. Inversor transistorizado con fuente de corriente trifásica.

Para variar la corriente en la carga y mejorar la calidad de la forma de onda, se puede aplicar las técnicas PWM, SPWM, MSPWM, o SUM.

En la figura 3.15 se ve un inversor con fuente de corriente que usa capacitores para abrir dispositivos de conmutación como tiristores. Supongamos que T_1 y T_2 están conduciendo, y que los capacitores C_1 y C_2 están cargados con la polaridad que se muestra. Al disparar los tiristores T_3 y T_4 se polarizan en sentido inverso los tiristores T_1 y T_2 . Estos últimos se apagan por conmutación de pulso. Ahora la corriente pasa por $T_3C_1D_1$, por cada carga y por $D_2C_2T_4$. Los capacitores C_1 y C_2 se descargan y recargan con velocidad constante determinada por la corriente de carga. Cuando se cargan C_1 y C_2 hasta el

voltaje de carga y sus corrientes bajan a cero, la corriente de carga se transfiere del diodo D_1 al diodo D_3 y de D_2 a D_4 . Los diodos D_1 y D_2 se abren cuando la corriente de carga se invierte totalmente. Ahora el capacitor esta listo para abrir T_3 y T_4 , si los tiristores T_1 y T_2 se disparan en el siguiente medio ciclo. El tiempo de conmutación depende de la magnitud de la corriente y del voltaje en la carga. Los diodos de la figura 3.15 aíslan los capacitores del voltaje de carga.

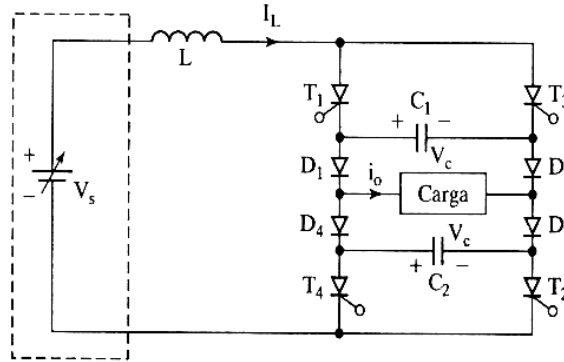


FIGURA 3.15. Inversor con fuente de corriente monofásico, con tiristor.

El inversor con fuente de corriente (CSI) es un dual de un inversor de fuente de voltaje (VSI). El voltaje de línea a línea de un VSI tiene forma parecida a la corriente de línea de un CSI. Las ventajas del CSI son:

1. Como la corriente CD de entrada está controlada y limitada, no causaría graves problemas el mal disparo de los dispositivos de conmutación, o un corto circuito
2. La corriente pico de los dispositivos de potencia es limitada
3. Los circuitos de conmutación para los tiristores son más sencillos.
4. Tiene capacidad de manejar carga reactiva o regenerativa sin diodos de corrida libre.

Un CSI requiere un reactor relativamente grande, para tener características de fuente de corriente, y una etapa adicional de convertidor para controlar la corriente. La respuesta dinámica es más lenta. Debido a la transferencia de corriente de un par de interruptores a otro, se requiere un filtro de salida para suprimir los picos de voltaje en la salida.

El voltaje de salida de un inversor se puede controlar variando el índice de modulación (o los anchos de pulso) y manteniendo constante el voltaje de entrada de CD; sin embargo, en esta clase de control podría estar presente un intervalo de armónicas en el voltaje de salida. Se pueden mantener fijos los anchos de pulso, para eliminar o reducir ciertas armónicas, y el voltaje de salida se puede controlar variando el valor del voltaje de entrada de CD. Este arreglo que se ve en la figura 3.16, se llama inversor de enlace de CD variable. En este arreglo se requiere una etapa adicional de convertidor, y si es un convertidor, la potencia no se puede retroalimentar a la fuente de CD. Para obtener la calidad y las armónicas deseadas en el voltaje de salida, se puede predeterminedar su forma de onda, como se ve en la figura 3.2 o en la figura 3.14. La fuente de CD se varía, para obtener una salida variable de CA.

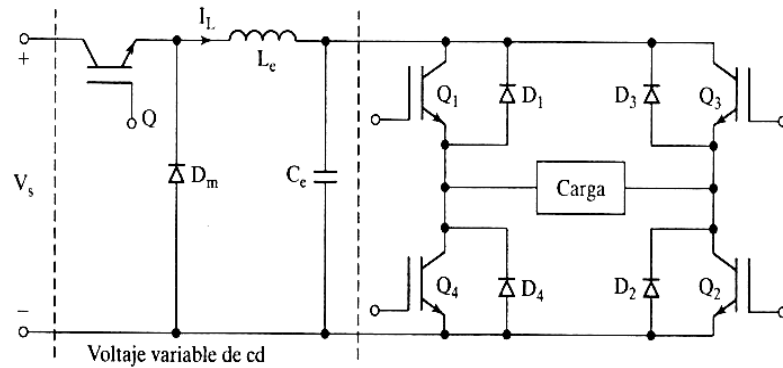


FIGURA 3.16. Inversor de enlace variable de CD.

3.1.4 INVERSOR ELEVADOR

El inversor VSI monofásico de la figura 3.2a usa la topología elevadora (o de subida), que tiene la característica que el voltaje promedio de salida siempre es menor que el voltaje de CD de entrada. Así, si se necesita un voltaje de salida mayor que el de entrada, se debe usar un convertidor elevador de CD – CD entre la fuente de Cd y el inversor. Dependiendo de los valores de potencia y voltaje, el resultado puede ser un gran volumen, gran peso, gran costo y menor eficiencia. Sin embargo, la topología en puente completo se puede usar como inversor elevador que puede generar un voltaje de salida de CA mayor que el voltaje de entrada de CD.

Principio Básico. Imaginando dos convertidores de CD – CD alimentando a una carga resistiva R como se ve en la figura 3.17a. Los dos convertidores producen una onda sinusoidal de CD polarizada de tal modo que cada fuente sólo produce un voltaje unipolar, como se ve en la figura 3.17b. La modulación de cada convertidor está desfasada 180° respecto a la del otro, por lo que se maximiza la desviación del voltaje hacia la carga.

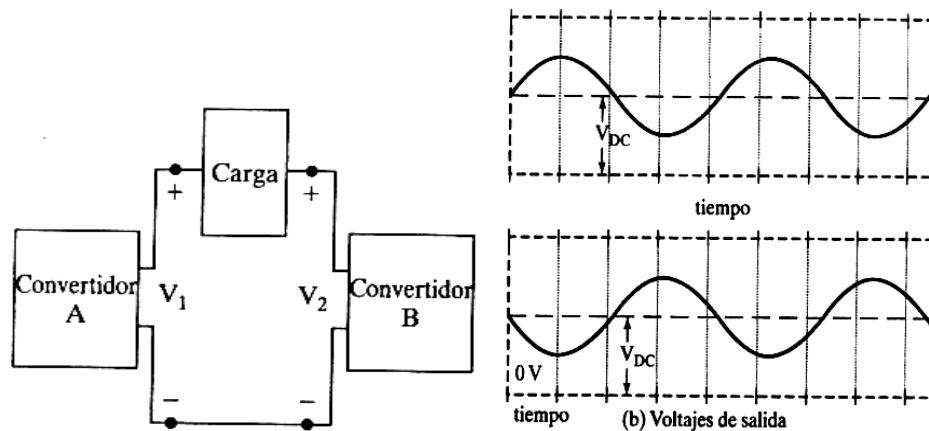


FIGURA 3.17. Principio del inversor elevador.

Por consiguiente, aparece un voltaje de polarización de CD en cada extremo de la carga, respecto a tierra, pero la diferencia de voltaje a través de la carga es cero.

Circuito inversor elevador. Cada convertidor es elevador bidireccional de corriente, como se ve en la figura 3.18a. El inversor consiste en dos convertidores elevadores. Se puede controlar la salida del inversor con uno de los dos métodos siguientes

- 1) Usar un ciclo de trabajo k para el convertido A y un ciclo de trabajo $(1 - K)$ para el convertidor B.
- 2) Usar un ciclo de trabajo diferente para cada convertidor, de tal modo que cada uno produzca una salida de onda sinusoidal polarizada de CD. Se prefiere el segundo método, y usa los controladores A y B para hacer que los voltajes del capacitor sigan un voltaje de referencia sinusoidal.

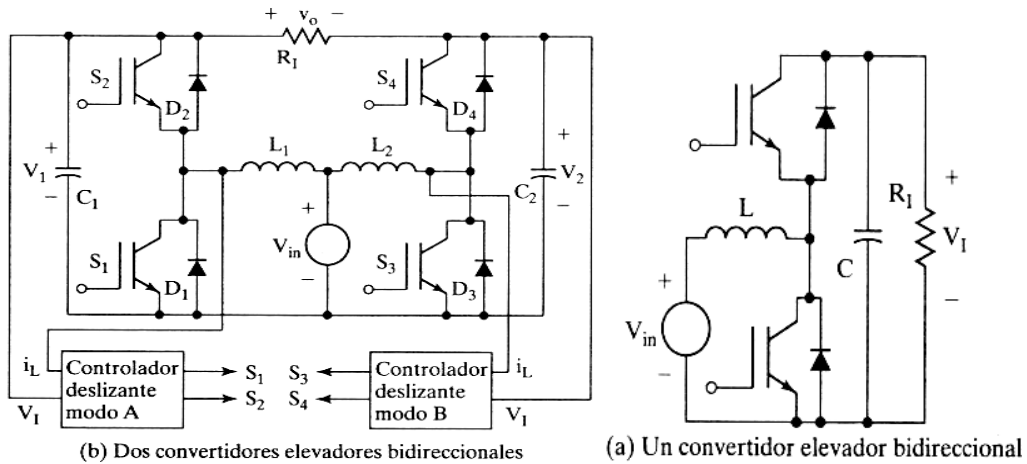


FIGURA 3.18. Inversor elevador formado por dos convertidores elevadores

Operación del circuito. Se puede explicar el funcionamiento del inversor considerando sólo un inversor A, como se ve en la figura 3.18b. Hay dos modos de operación: modo 1 y modo 2.

Modo 1) Cuando el interruptor S_1 está cerrado y S_2 está abierto, como se ve en la figura 3.19a, la corriente en el inductor, aumenta en forma bastante lineal, el diodo D_2 tiene polarización inversa, el capacitor C_1 suministra energía a la carga y el voltaje disminuye.

Modo 2) Cuando el interruptor S_1 está abierto y S_2 está cerrado, la corriente del inductor pasa por el capacitor C_1 y la carga. La corriente disminuye mientras el capacitor C_1 se carga.

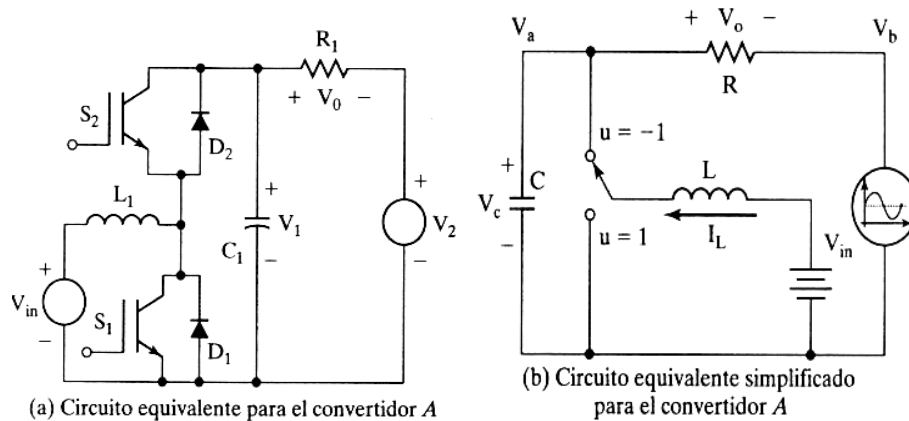


FIGURA 3.19. Circuito equivalente para el convertidor A.

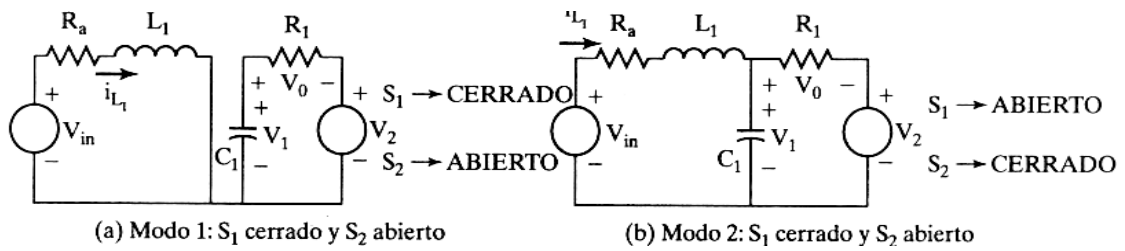


FIGURA 3.20. Circuitos equivalentes durante los modos de operación.

El voltaje de salida del convertidor A funciona bajo el modo de elevación y el voltaje de salida del convertidor B funciona con el modo reductor donde k es el ciclo de trabajo. Si se varía el ciclo de trabajo respecto a un punto de reposo de 50% de trabajo, hay un voltaje de CA a través de la carga. Como el voltaje de salida es doble que el de la componente sinusoidal del convertidor A. Ya que un convertidor elevador no puede producir un voltaje de salida menor que el voltaje de entrada implica que hay muchos valores posibles de voltaje de CD.

El esfuerzo dieléctrico del inversor elevador depende de la ganancia en corriente alterna del voltaje pico de salida y de la corriente de carga.

Inversor reductor y elevador. También, la topología en puente completo se puede operar como inversor reductor y elevador como se ve en la figura 3.21. Tiene casi la misma característica que el inversor elevador y puede generar un voltaje de CA menor o mayor que el voltaje de entrada de CD. El análisis del convertidor en estado permanente tiene las mismas condiciones que el inversor elevador.

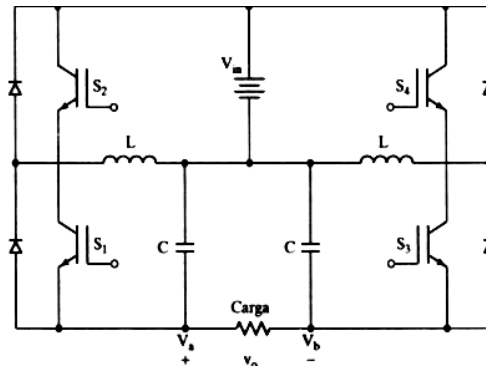


FIGURA 3.21. Inversor reductor y elevador.

Diseño de circuitos de inversor. La determinación de las capacidades de voltaje y corriente de los dispositivos de potencia en circuitos inversores depende de las clases de inversores, de la carga y de los métodos de control de voltaje y corriente. El diseño requiere de: deducir ecuaciones de la corriente instantánea de carga y graficar las formas de onda de corriente para cada dispositivo y componente. Una vez conocida la forma de onda de corriente, se pueden determinar las capacidades de los dispositivos de potencia. La evaluación de las capacidades de voltaje establecer los voltajes inversos de cada dispositivo.

Para reducir las armónicas de salida, son necesarios filtros de salida, en la figura 3.22 muestra los filtros de salida que mas se usan. Un filtro C es muy sencillo, pero consume más potencia reactiva. Un filtro LC sintonizado, como el de la figura 3.22b, puede eliminar sólo una frecuencia. Un filtro

CLC bien diseñado, como el de la figura 3.22c, es mas efectivo para reducir las armónicas de banda ancha y consume menos potencia reactiva.

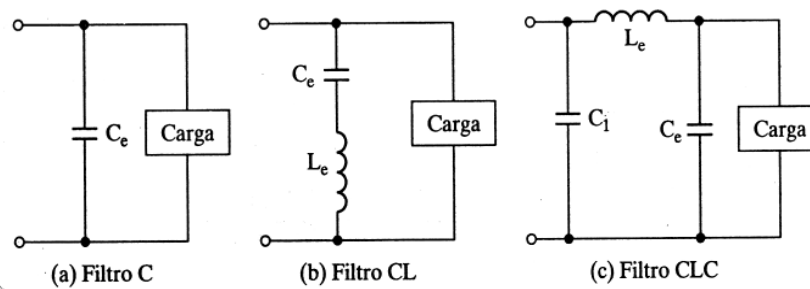


FIGURA 3.22 Filtros de Salida

3.2 INVERSORES DE PULSO RESONANTE

INTRODUCCION. Los dispositivos de conmutación en convertidores controlados con modulación por ancho de pulso (PWM) se pueden activar para sintetizar la forma deseada del voltaje o la corriente de salida. Sin embargo, los dispositivos se activan y desactivan cuando la corriente en la carga tiene un alto valor. Los interruptores se someten a un alto esfuerzo dieléctrico, y la pérdida de potencia por conmutación de un dispositivo aumenta en forma lineal con la frecuencia de conmutación. La pérdida por activación y desactivación podría ser una parte importante de la pérdida total de potencia. También se produce interferencia electromagnética cuando hay una alta tasa en las formas de onda del convertidor.

Se pueden eliminar o minimizar las desventajas del control PWM si los dispositivos de conmutación se encienden y apagan cuando el voltaje a través de un dispositivo o su corriente, es cero. El voltaje y la corriente son forzados a pasar por cero cuando se crea un circuito LC resonante, y por ello el dispositivo se llama convertidor de pulso resonante o convertidor resonante. Los convertidores resonantes se pueden clasificar en forma amplia, en ocho tipos:

- Inversores resonantes serie.
- Inversores resonantes paralelo.
- Convertidor resonante en clase E.
- Rectificador resonante en clase E.
- Convertidor resonantes por conmutación a voltaje cero (ZVS, de zero – voltaje switching).
- Convertidor resonantes por conmutación a corriente cero (ZCS, de zero – current switching).
- Convertidor resonantes ZVS de dos cuadrantes.
- Inversores de enlace resonante de CD.

3.2.1 INVERSORES RESONANTES SERIE.

Los inversores resonantes serie se basan en la oscilación resonante de la corriente. Los componentes resonantes y el dispositivo de conmutación se instalan en serie con la carga, para formar un circuito subamortiguado. La corriente por los dispositivos de conmutación baja a cero debido a las características naturales del circuito. Si el elemento de conmutación es un tiristor, se dice que es auto

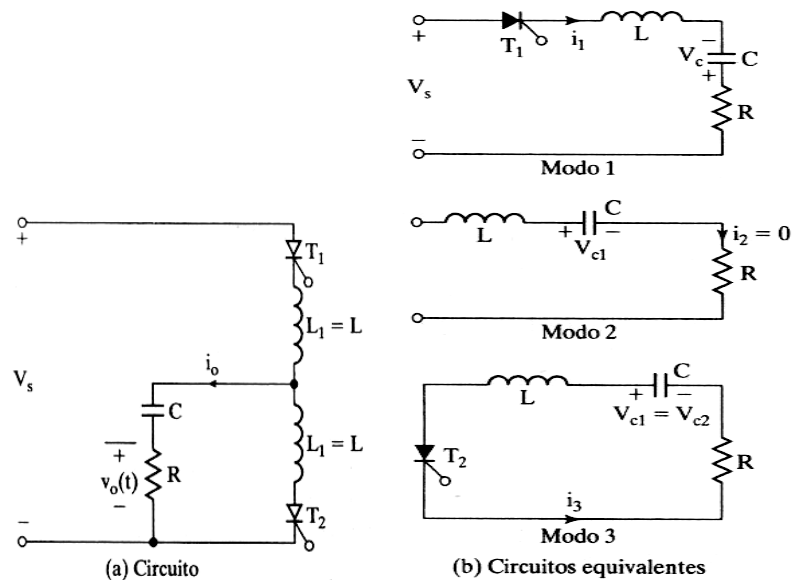
conmutado. Esta clase de inversores produce una forma de onda aproximadamente sinusoidal a una alta frecuencia de salida, que va de 200 a 100KHZ, y se usa con frecuencia en aplicaciones con salida relativamente fija, como calentamiento por inducción, transmisores de sonar, alumbrado fluorescente o generadores ultrasónicos. Debido a la alta frecuencia de conmutación, el tamaño de los componentes en resonancia es pequeño.

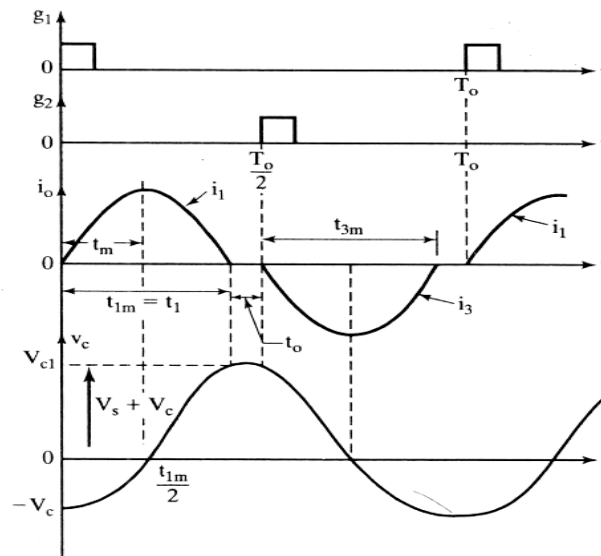
Hay varias configuraciones de inversores resonantes serie, que dependen de las conexiones de los dispositivos de conmutación y la carga. Los inversores serie se pueden clasificar en dos categorías:

1. Inversores resonantes serie con interruptores unidireccionales
2. Inversores resonantes serie con interruptores bidireccionales

3.2.1.1 Inversores resonantes serie con interruptores unidireccionales.

En la figura 3.23a muestra el diagrama eléctrico de un inversor serie sencillo, que usa dos interruptores de tiristor. Cuando se dispara el tiristor T1, por la carga pasa un pulso resonante de corriente, y la corriente baja a cero cuando $t = t_{1m}$ y T1 es auto-conmutado. El disparo del tiristor T2 causa una corriente resonante en sentido inverso a través de la carga y T2 también es auto-conmutado. La operación del circuito se puede dividir en tres modos, y los circuitos equivalentes se ven en la figura 3.23b. Las señales de activación de compuerta para los tiristores, la corriente en la carga y el voltaje del capacitor se ven en la figura 3.23c. El circuito resonante que forman LC y la carga (se supone resistiva) en serie debe ser subamortiguado.





(c) Formas de onda

FIGURA 3.23 Inversor resonante serie básico.

- Modo 1) Este modo comienza al disparar T_1 y pasa un pulso resonante de corriente por T_1 y la carga
- Modo 2) Durante este modo, los tiristores T_1 y T_2 están desactivados.
- Modo 3) Este modo comienza cuando T_2 se activa y pasa una corriente resonante en sentido inverso por la carga.

Esto indica que bajo condiciones de estado permanente, los valores pico de la corriente positiva y de la corriente negativa que pasan por la carga, son iguales. La corriente en la carga debe ser cero, y T_1 debe desactivarse antes de disparar T_2 . De no ser así se produce una condición de cortocircuito a través de los tiristores y el suministro de CD. Por consiguiente, el tiempo desactivado disponible, llamado zona muerta, debe ser mayor que el tiempo de encendido de los tiristores.

El circuito inversor resonante en la figura 3.2a es muy sencillo. Sin embargo, comunica el concepto básico y describe las ecuaciones características, que se pueden aplicar a otros tipos de inversores resonantes. La corriente de la fuente de CD es discontinua. Esta corriente tiene un pico alto y contendría armónicas. Una mejora del inversor básico de la figura 3.23a se puede conseguir si los inductores están acoplados estrechamente, como se ve en la figura 3.24. Cuando se dispara T_1 y la corriente comienza a subir, el voltaje a través de L_1 es positivo y la polaridad es la que se indica. El voltaje inducido en L_2 se suma entonces al voltaje de C para polarizar a T_2 en sentido inverso; y se puede desactivar T_2 . El resultado es que el disparo de un tiristor desactiva al otro, aun antes de que la corriente en la carga llegue a cero.

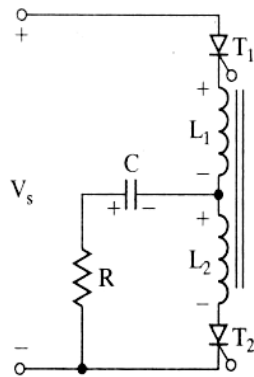


FIGURA 3.24. Inversor resonante serie con inductores acoplados

El inconveniente de la alta corriente pulsante del suministro de CD se puede superar en una configuración de medio puente como se ve en la figura 3.25. La potencia se toma de la fuente de CD durante los dos medios ciclos del voltaje de salida. La mitad de la corriente de carga es suministrada por el capacitor, y la otra mitad es suministrada por la fuente de CD.

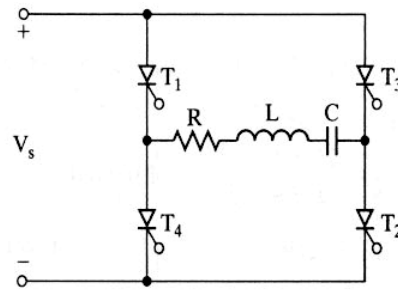
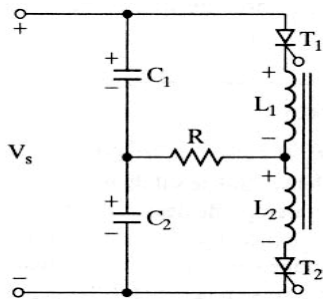


FIGURA 3.25. Inversor resonante serie de medio puente. **FIGURA 3.26.** Inversor resonante serie de puente completo.

En la figura 3.26 se muestra un inversor en puente completo, que permite tener mayor potencia de salida. Cuando se disparan T_1 y T_2 , una corriente resonante positiva pasa a través de la carga, y cuando se disparan T_3 y T_4 , pasa una corriente negativa. La corriente del suministro es continua, pero pulsante. La frecuencia de resonancia y la zona muerta disponible dependen de la carga, y por esta razón los inversores resonantes son más adecuados para aplicaciones con carga fija. La carga del inversor (o resistor R) también se podría conectar en paralelo con el capacitor.

Los tiristores se pueden reemplazar con transistores bipolares de unión (BJT), transistores de efecto de campo de metal óxido semiconductor (MOSFET), transistores bipolares de compuerta aislada (IGBJ) o tiristores de desactivación en compuerta (GTO). Sin embargo, la elección del dispositivo depende de los requisitos de potencia y frecuencia en la salida. En general los tiristores tienen mayores especificaciones de voltaje y corriente que los transistores, que sin embargo pueden funcionar con mayores frecuencias que los tiristores. Los tiristores sólo requieren una señal de impulso en la compuerta para activarlos, y son desactivados en forma natural al final del medio ciclo de oscilación. Así el tiristor T_1 de la figura 3.23a es disparado cuando $t=0$, el tiristor T_2 es disparado cuando $t = T_0/2$. Sin embargo, los transistores requieren un pulso continuo en la compuerta. El ancho de pulso, del primer transistor Q_1 , debe satisfacer la condición, para que la oscilación en resonancia

pueda completar su medio ciclo, antes de que se active el siguiente transistor Q_2 . Para la misma potencia de salida y la misma frecuencia de resonancia, las capacitancias de C_1 y C_2 en la figura 3.25 debería ser la mitad que las de las figuras 3.23 y 3.24. La corriente pico de alimentación baja a la mitad. El análisis de los inversores serie en puente completo es parecido al del inversor serie básico en la figura 3.23a.

3.2.1.2 Inversores resonantes serie con interruptores bidireccionales

Para los inversores resonantes con interruptores unidireccionales, los dispositivos de potencia deben activarse cada medio ciclo del voltaje de salida. Esto limita la frecuencia del inversor, la cantidad de transferencia de energía de la fuente a la carga. Además, los dispositivos se someten a un alto voltaje pico en sentido inverso. El rendimiento de los inversores serie se puede mejorar en forma apreciable conectando un diodo en antiparalelo con el dispositivo, como se ve en la figura 3.27a. Cuando se dispara el dispositivo Q_1 , pasa un pulso resonante de corriente, y Q_2 se auto-conmuta cuando $t = t_1$. Sin embargo, la oscilación resonante continúa a través del diodo D_1 hasta que la corriente baja de nuevo a cero, al final de un ciclo. La forma de onda de la corriente en la carga y los intervalos de conducción de los dispositivos de potencia, se ven en la figura 3.27b.

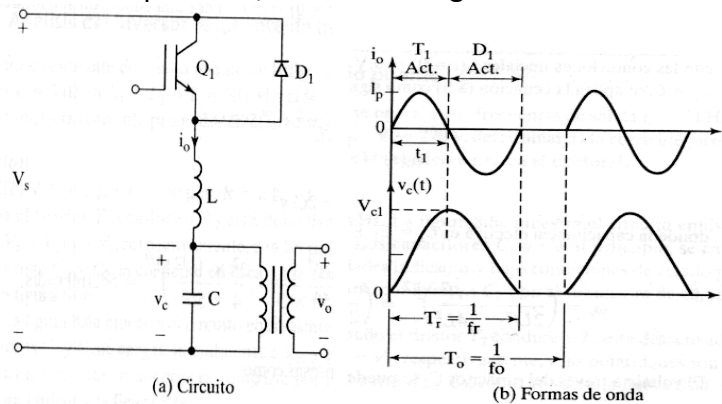


FIGURA 3.27. Inversor resonante serie con interruptores bidireccionales

Si el tiempo de conducción del diodo es mayor que el de desactivación del dispositivo, no hay necesidad de una zona muerta, y la frecuencia de salida es la misma que la frecuencia de resonancia. El tiempo mínimo de conmutación del dispositivo consiste en el tiempo de retardo, tiempo de subida, tiempo de bajada y tiempo de almacenamiento. El diodo D_1 se debe conectar lo más cerca posible al tiristor, y las terminales de conexión deben ser mínimas, para reducir toda inductancia parásita en el lazo formado por T_1 y D_1 . Debido a que el voltaje en sentido inverso durante el tiempo de recuperación del tiristor T_1 ya es bajo, de 1 V en forma típica, toda inductancia en el paso por el diodo debe reducir el voltaje neto en sentido inverso entre las terminales de T_1 y el tiristor T_1 puede no desactivarse. Para superar este problema se usa, en el caso normal, un tiristor conductor en sentido inverso (RCT, de reverse conducting Thyristor). Un RCT se forma integrando un tiristor asimétrico con un diodo de recuperación rápida en una sola oblea de silicio, y los RCT son ideales para los inversores resonantes serie.

El diagrama de circuito para la versión de medio puente se ve en la figura 3.28a, y la forma de onda de la corriente de carga y los intervalos de conducción de los dispositivos de potencia se ven en la figura 3.28b. La configuración de puente completo se ve en la figura 3.29a. Los inversores se pueden operar en dos modos distintos: no superpuestos y superpuestos o traslapados. En un modo no superpuesto,

el disparo de un dispositivo transistor se retarda hasta que ha terminado la última oscilación de corriente a través de un diodo, como en la figura 3.28. En un modo superpuesto, se dispara un dispositivo mientras que el diodo de la otra parte todavía esta conduciendo corriente, como se ve en la figura 3.29b. Aunque la operación traslapada aumenta la frecuencia de salida, aumenta la potencia producida.

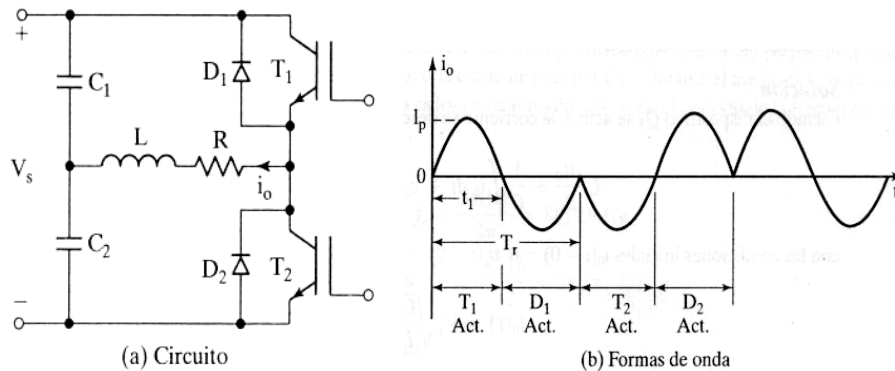


FIGURA 3.28. Inversores serie de medio puente con interruptores bidireccionales

La frecuencia máxima de los inversores con tiristor está limitada debido a los requisitos de desactivación o de conmutación de los tiristores, de 12 a 20 μ s en forma típica, mientras que los transistores sólo requieren un microsegundo o menos. El inversor transistorizado puede operar en la frecuencia de resonancia. En la figura 3.30 se ve in inversor transistorizado de medio puente, con una carga conectada a través del transformador. El transistor Q2 se puede activar casi en forma instantánea después que se ha desactivado el transistor Q.

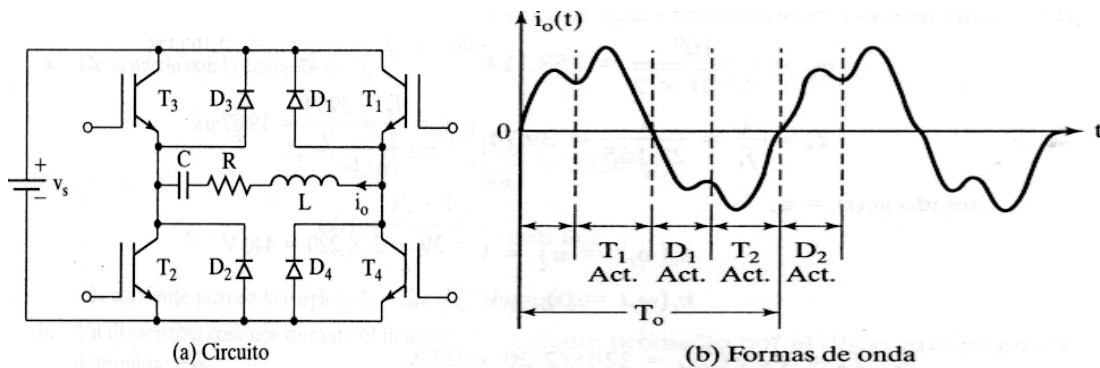


FIGURA 3.29. Inversores serie puente completo con interruptores bidireccionales.

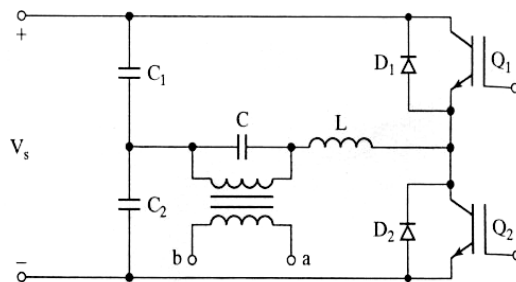


FIGURA 3.30. Inversor resonante transistorizado de medio puente.

Con interruptores bidireccionales, se reducen las especificaciones de corriente de los dispositivos. Para la misma potencia en la salida, la corriente promedio en el dispositivo es la mitad, y la corriente rms es $1/\sqrt{2}$ de la de un inversor con interruptores unidireccionales.

*Para los mismos parámetros de circuito, la potencia de salida de un inversor de medio puente es cuatro veces, y las corrientes por el dispositivo son dos veces que las de un inversor de medio puente. Para la misma potencia de salida, la corriente promedio por el dispositivo de un inversor con interruptores bidireccionales es la mitad en comparación con la de un inversor con interruptores unidireccionales. Por lo anterior, se usan en general los inversores de medio puente y de puente completo con interruptores bidireccionales.

3.2.2 INVERSORES RESONANTES PARALELO.

Un inversor resonante paralelo es el dual de un inversor resonante serie. Se abastece con una fuente de corriente para que el circuito ofrezca una alta impedancia a la corriente de conmutación. En la figura 3.31 se muestra un circuito resonante paralelo. Como la corriente se controla en forma continua, este inversor produce una mejor protección contra cortocircuito bajo condiciones de falla.

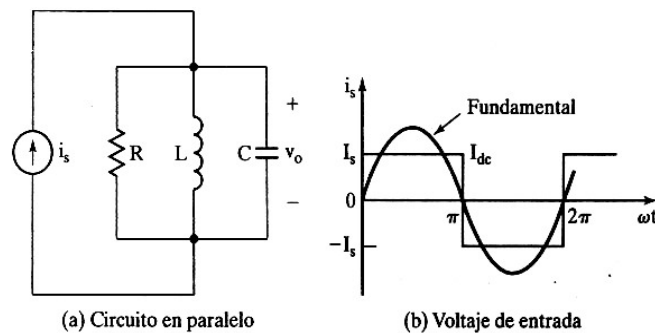


FIGURA 3.31. Circuito resonante paralelo.

En la figura 3.32a se ve un inversor resonante paralelo. El inductor funciona como fuente de corriente, y el capacitor es el elemento de resonancia. La inductancia mutua del transformador funciona como inductor en resonancia. Una corriente constante se conmuta en forma alternativa al circuito resonante mediante los transistores Q1 y Q2. Las señales de la compuerta se ven en la figura 3.32c. Si se refiere la resistencia de la carga al lado primario, y si se desprecian las inductancias de fuga del transformador, el circuito equivalente queda como el de la figura 3.32b. En la figura 3.33 se muestra un inversor resonante práctico que alimenta a una lámpara fluorescente.

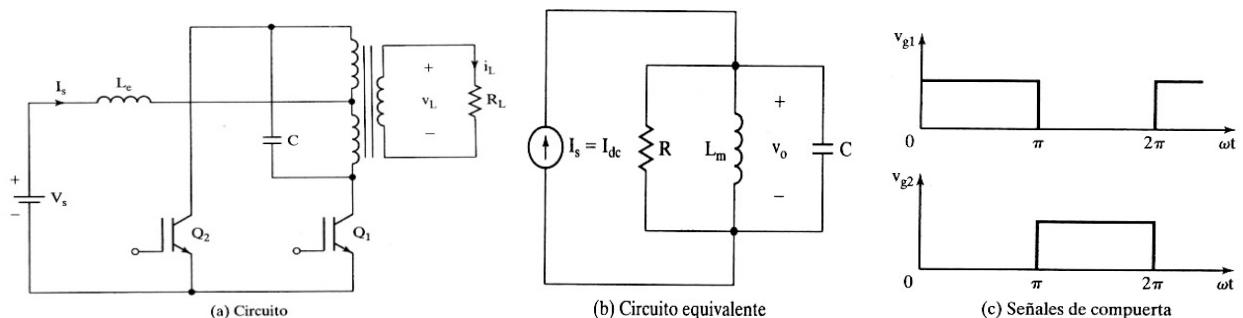


FIGURA 3.32 Inversor resonante paralelo

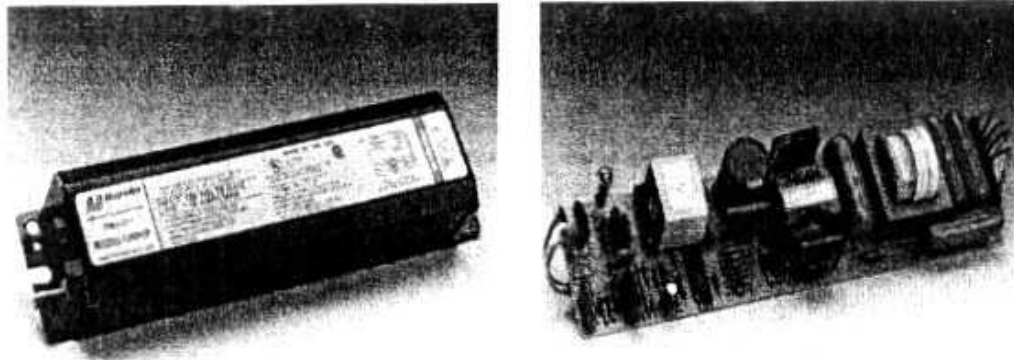


FIGURA 3.33 Inversor resonante práctico (Cortesía de Magnetek, Inc.).

Control de voltajes en inversores resonantes. Los inversores casi – resonantes (QRI, de quasi-resonant inverter) se usan para controlar voltaje de salida, en el caso normal. Se pueden considerar como híbridos de convertidores resonantes y PWM. El principio es sustituir el interruptor de potencia en los convertidores PWM como el interruptor resonante. Las formas de onda de corriente o voltaje de conmutación son forzadas a oscilar en forma casi sinusoidal. Una gran familia de circuitos convertidores convencionales se puede transformar en sus convertidores resonantes contrapartes.

Se puede aplicar una topología de puente, como la de la figura 3.34a, para lograr el control del voltaje de salida. La frecuencia de conmutación se mantiene constante e igual a la frecuencia de resonancia. Al conmutar dos dispositivos en forma simultanea, se puede obtener una onda casi cuadrada, como en la figura 3.34b. Con la topología puente que se ve en la figura 3.35a se puede controlar el voltaje de salida. Se mantiene constante la frecuencia de conmutación en la frecuencia de resonancia. Al conmutar los dispositivos en forma simultanea, se puede obtener una onda casi cuadrada, como la de la figura 3.35b.

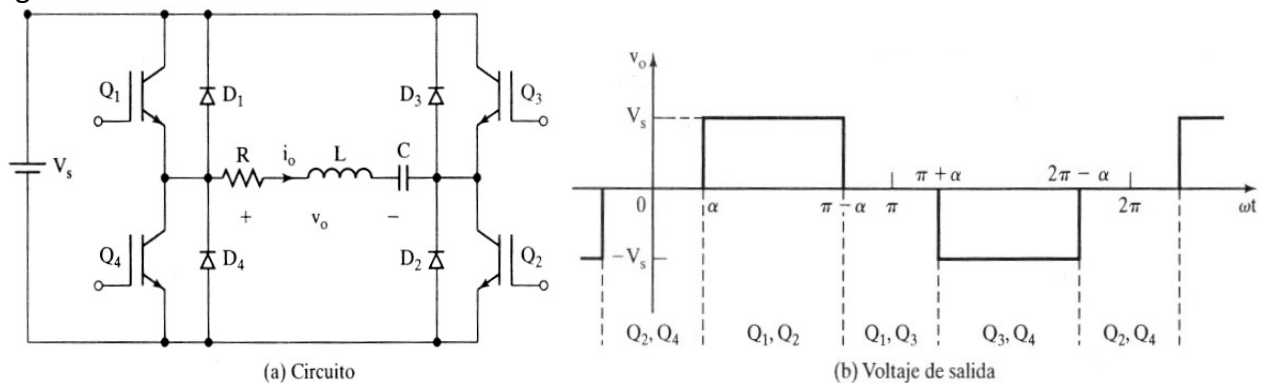


FIGURA 3.34 Control de voltaje casi cuadrado para un inversor resonante serie.

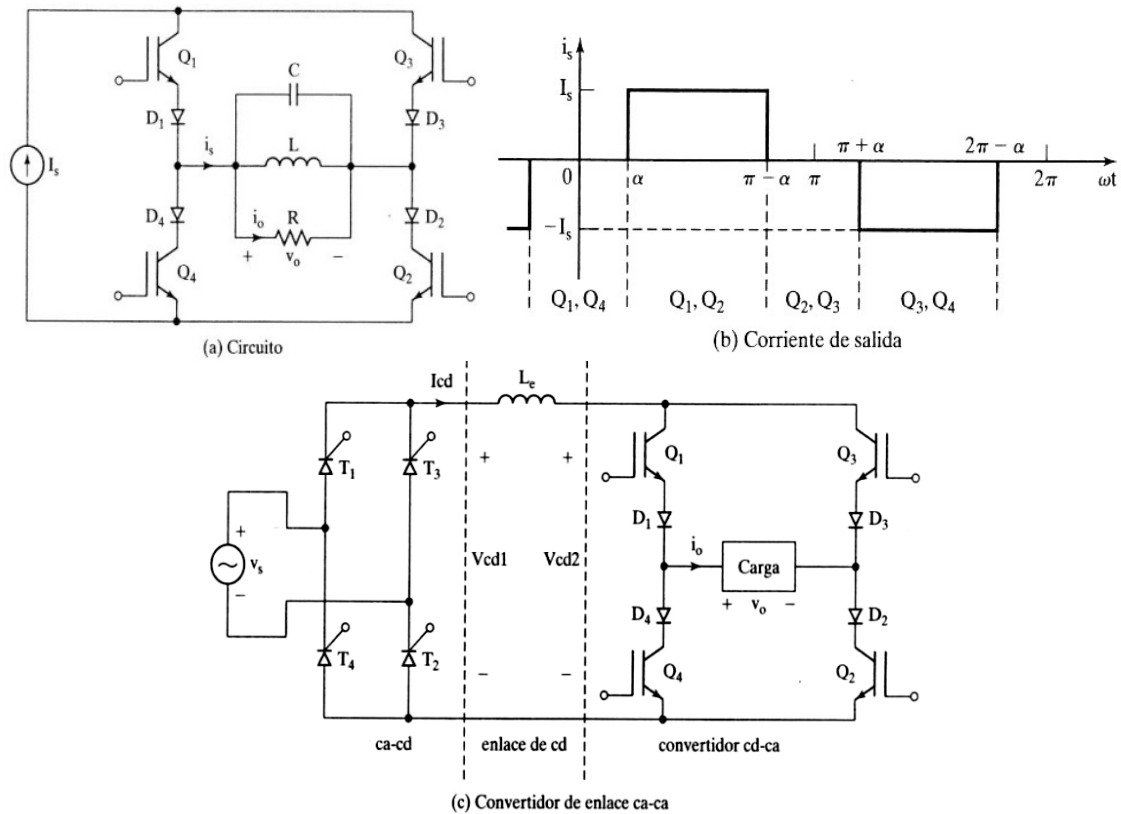


FIGURA 3.35 Control de corriente casi cuadrado para un inversor resonante paralelo.

Este concepto se puede extender a aplicaciones de CD de alto voltaje (HVCD) en las que el voltaje de CA se convierte en voltaje de CD, y después se vuelve a convertir en CA. En el caso normal se hace la transmisión a corriente de CD constante. En la figura 3.35 se ve una versión monofásica. La etapa de salida podría ser un inversor de fuente de corriente, o un rectificador controlado por tiristor.

3.2.3 INVERSOR RESONANTE CLASE E

Un inversor resonante clase E sólo usa un transistor y tiene bajas pérdidas por conmutación, produciendo una alta eficiencia, mayor que 95%. El circuito se muestra en la figura 3.36a. En el caso normal se usa en aplicaciones con baja potencia, donde se requieren menos de 100w, en especial en balastros electrónicos de alta frecuencia para lámparas. El dispositivo de conmutación debe resistir un alto voltaje, este inversor se usa normalmente para tener un voltaje fijo de salida. Sin embargo, este voltaje puede diferir, variando la frecuencia de conmutación. El funcionamiento del circuito se puede dividir en dos modos:

Modo 1) Durante este modo se activa el transistor Q1. El circuito equivalente se ve en la figura 3.36b. La corriente en el interruptor, consiste en la corriente de la fuente y la corriente en la carga. Para obtener una corriente de salida casi sinusoidal, se escogen los valores de inductancia y capacitancia para obtener un alto factor de calidad y baja razón de amortiguamiento. El interruptor se abre, desactiva, en voltaje cero. Al abrir, su corriente se desvía de inmediato a través del capacitor.

Modo 2) Durante este modo el transistor Q1 se apaga, desactiva. El circuito equivalente se ve en la figura 3.36b. La corriente en el capacitor es la suma de las corrientes. El voltaje de conmutación aumenta de cero a un valor máximo y regresa a cero. Cuando el voltaje de

conmutación baja a cero la corriente del capacitor es negativa, normalmente. Así, el voltaje de conmutación tiende a ser negativo. Para limitar este voltaje negativo se conecta un diodo en antiparalelo, que se indica en la figura 3.36a con líneas interrumpidas. Si el interruptor es un MOSFET, su voltaje negativo queda limitado a la caída a través de su diodo incorporado.

Modo 3) El modo 3 sólo existe si el voltaje de conmutación baja a cero con una pendiente negativa finita. El circuito equivalente es parecido al del modo 1, excepto por las condiciones iniciales. La corriente en la carga baja a cero al final del modo 3. Sin embargo, los parámetros de circuito son tales que el voltaje de conmutación llega a cero con pendiente cero, y no hay necesidad de diodo, y este modo no existiría.

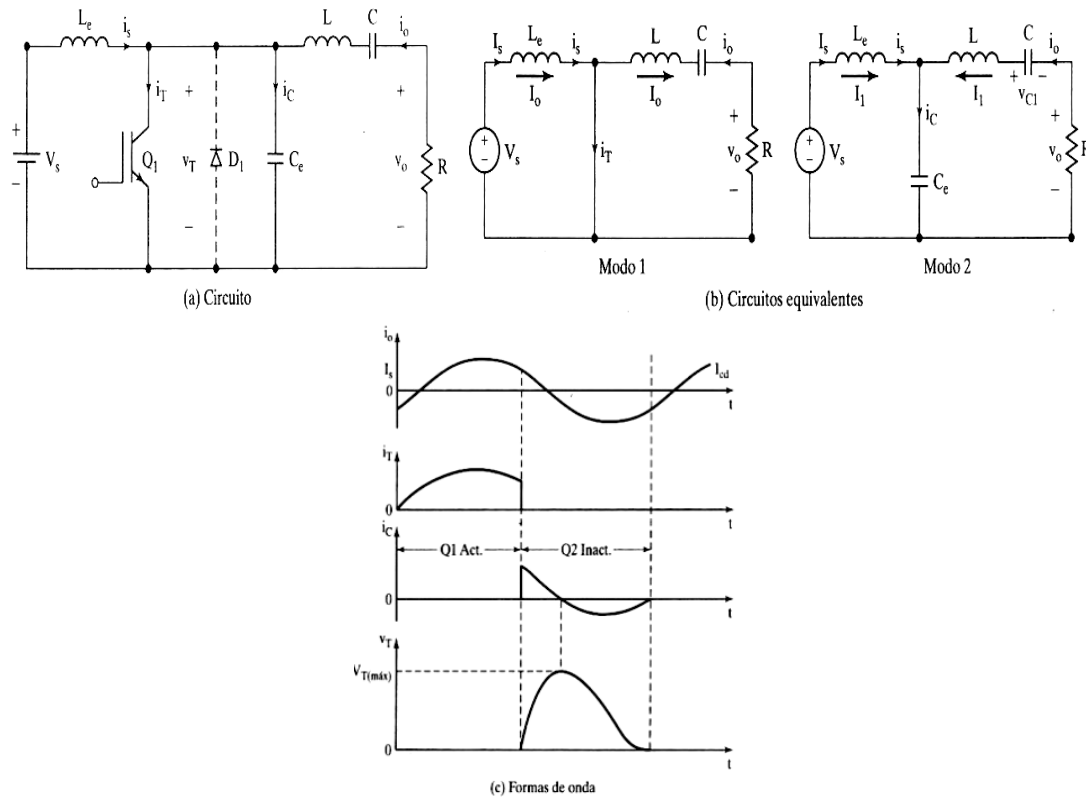


FIGURA 3.36 Inversor resonante clase E.

En la figura 3.36c se muestran las formas de onda de la corriente de salida, corriente en el interruptor y del voltaje de conmutación. Un inversor clase E que sólo requiere un dispositivo de conmutación es adecuado para aplicaciones en baja potencia donde se requiera menos de 100w. En el caso normal se usa para suministrar un voltaje fijo de salida

3.2.4 RECTIFICADOR RESONANTE CLASE E

Ya que en general los convertidores CD-CD consisten en un inversor CD-CA y un rectificador CD-CA, un diodo rectificador de alta frecuencia tiene desventajas como pérdidas por conducción y conmutación, oscilaciones parásitas y alto contenido de armónicas de la corriente de entrada. Un rectificador resonante clase E, como el que se ve en la figura 3.37a, supera estas limitaciones. Emplea el principio de conmutación del diodo voltaje a cero. Esto es, el diodo se desactiva, apaga, cuando el voltaje es cero. La capacitancia de la unión del diodo se incluye en la capacitancia de resonancia, por lo que no afecta en forma adversa la operación del circuito, esta operación se puede dividir en dos modos.

Modo 1) Durante este modo, el diodo está desactivado. El circuito equivalente se ve en la figura 3.37b.

Modo 2) Durante este modo, el diodo está activado. El circuito equivalente se ve en la figura 3.37b. cuando la corriente en el diodo que es la misma que en el inductor llega a cero, el diodo se desactiva. En consecuencia, el voltaje del diodo es cero cuando se desactiva, y con ello se reducen las pérdidas por conmutación.

La corriente de entrada tiene un componente de CD y un retardo de fase como se ve en la figura 3.37c. Para mejorar el factor de potencia en la entrada, en el caso normal se conecta un capacitor en la entrada, como se indica en la figura 3.37a con líneas interrumpidas.

Un rectificador clase E sólo usa un diodo, que se desactiva en voltaje a cero. Se reduce la pérdida por conducción en el diodo, y las armónicas en la corriente de entrada son bajas.

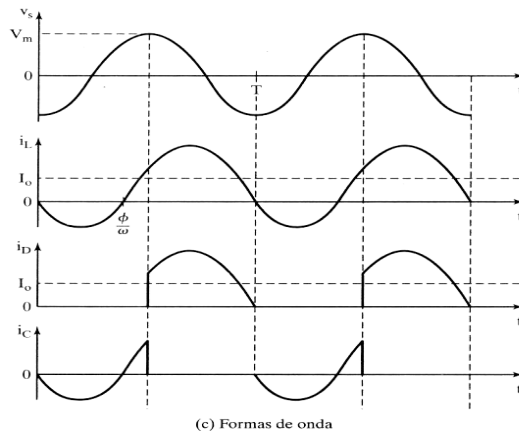
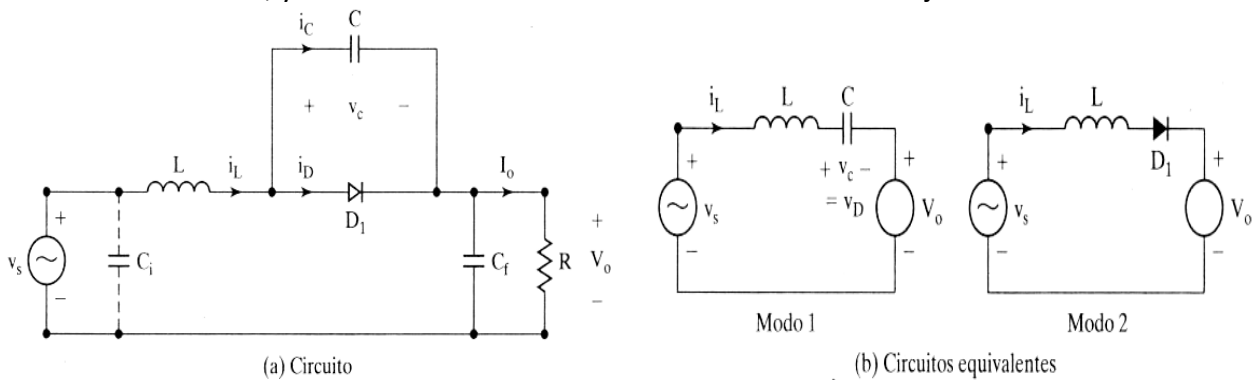


FIGURA 3.37 Rectificador resonante clase E.

3.2.5 CONVERTIDOR RESONANTE POR CONMUTACION A CORRIENTE CERO.

Los conmutadores de un convertidor resonante por conmutación a corriente cero (ZCS, de zero-current-switching) se activan y desactivan a corriente cero. En la figura 3.38a se muestra el circuito resonante que consiste en el interruptor S1 y el inductor L y el capacitor C. El inductor se conecta en serie con un interruptor de potencia para lograr la ZCS. Se clasifica, según en dos tipos: Tipo L y Tipo M. en ambos tipos el inductor L limita la tasa de la corriente en el interruptor, y L y C constituyen un circuito resonante serie. Cuando la corriente en el interruptor es cero, hay una corriente que pasa por la capacitancia interna debido a una pendiente finita del voltaje en el interruptor cuando se desactiva.

Este flujo de corriente causa disipación de potencia en el interruptor y limita la conmutación en alta frecuencia.

El interruptor se puede implementar ya sea en una configuración de media onda, como se ve en la figura 3.38b, donde el diodo D1 permite el paso unidireccional de corriente, o bien, en una configuración de onda completa como se ve en la figura 3.38c, en la que la corriente en el interruptor puede pasar en forma bidireccional. Los dispositivos prácticos no se desactivan a corriente cero, debido a sus tiempos de recuperación. En consecuencia puede quedar atrapada una cantidad de energía en el inductor de la configuración tipo M, y aparecen voltajes transitorios a través del interruptor. Esto puede ser una ventaja de la configuración tipo L sobre la del tipo M.

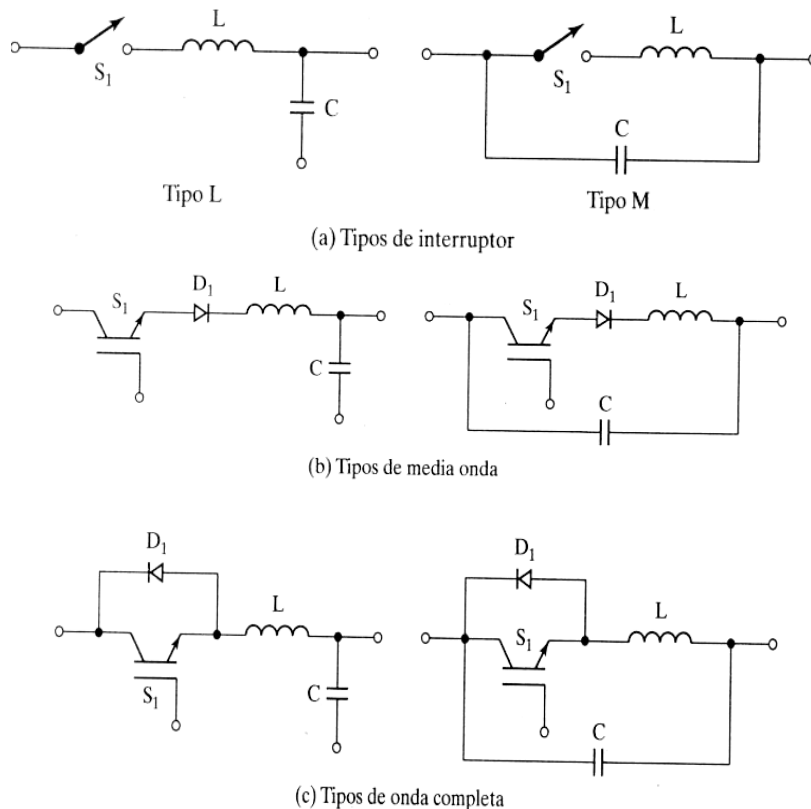


FIGURA 3.38 Rectificador resonante clase E.

1.2.5.1 Convertidor resonante ZCS tipo L

En la figura 3.39a se muestra un convertidor ZCS tipo L. La operación del circuito se puede dividir en cinco modos cuyos circuitos equivalentes se muestran en la figura 3.39b. Se redefinirá el origen del tiempo como $t=0$, al principio de cada modo.

- Modo 1. Este modo es valido cuando $0 \leq t \leq t_1$. El interruptor S_1 se activa y el diodo D_m conduce. La corriente en el inductor aumenta en forma lineal.
- Modo 2. Este modo es valido cuando $0 \leq t \leq t_2$. El interruptor S_1 permanece activado y el diodo D_m está desactivado.
- Modo 3. Este modo es valido cuando $0 \leq t \leq t_3$. La corriente en el inductor baja a cero.
- Modo 4. Este modo es valido cuando $0 \leq t \leq t_4$. El capacitor alimenta la corriente.

Modo 5. Este modo es valido cuando $0 \leq t \leq t_5$. El voltaje del capacitor tiende a ser negativo, el diodo D_m conduce. La corriente de la carga pasa por el diodo D_m . Este modo termina cuando el interruptor S_1 se activa de nuevo y el ciclo se repite.

En la figura 3.39c se ven las formas de onda. El voltaje pico de conmutación es igual al voltaje de alimentación de CD. Ya que la corriente en el interruptor es cero en la activación y desactivación, la perdida por conmutación, que es el producto de v por i , se vuelve muy pequeña. La corriente pico de resonancia debe ser mayor que la corriente en la carga, lo que establece un limite al valor mínimo de resistencia de la carga. Sin embargo, conectando un diodo en antiparalelo con el interruptor, se puede hacer que el voltaje de salida sea insensible a las variaciones en la carga.

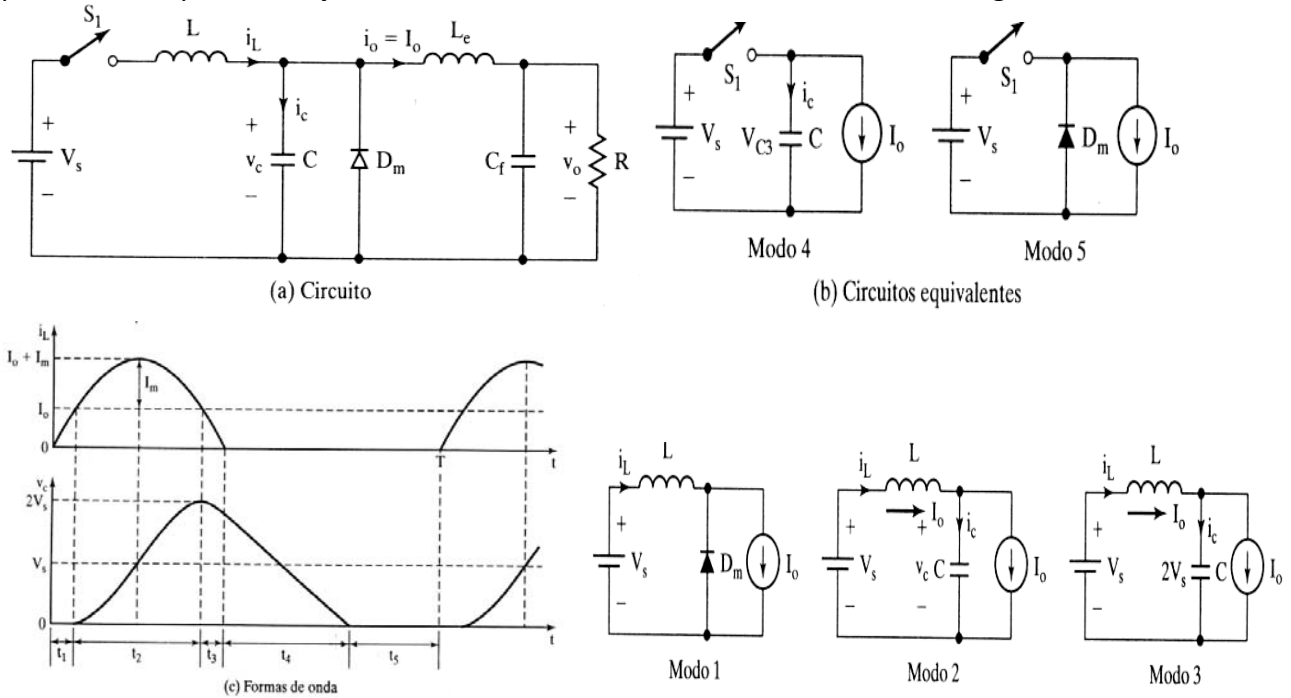
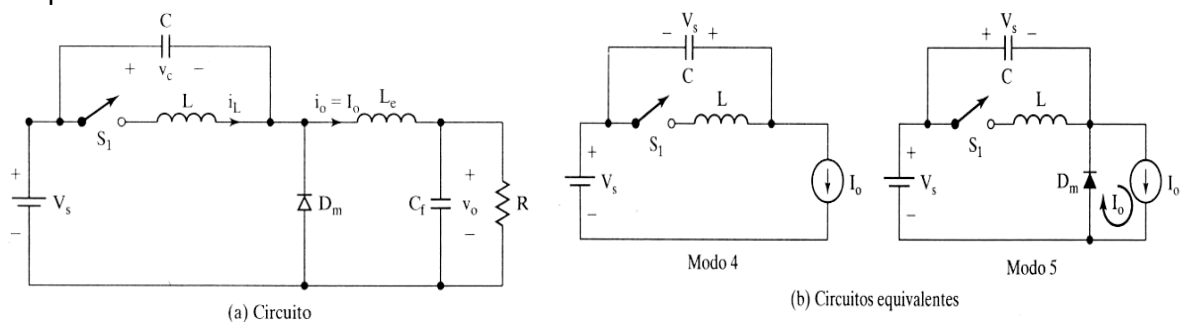


FIGURA 3.39 Convertidor Resonante ZCS tipo L

3.2.5.2 Convertidor resonante ZCS tipo M

En la figura 3.40a se muestra un convertidor resonante ZCS tipo M. La operación del circuito se puede dividir en cinco modos cuyos circuitos equivalentes se muestran en la figura 3.40b. Se redefinirá el origen del tiempo como $t = 0$ al principio de cada modo. Aquí solo hay pequeñas variantes en el modo 2, 3 y 4 donde el voltaje aquí es positivo y en el tipo L es negativo y en el modo 3 es negativo y en el tipo L es positivo.



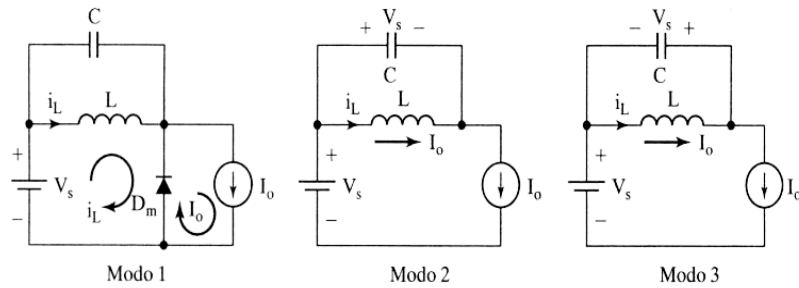
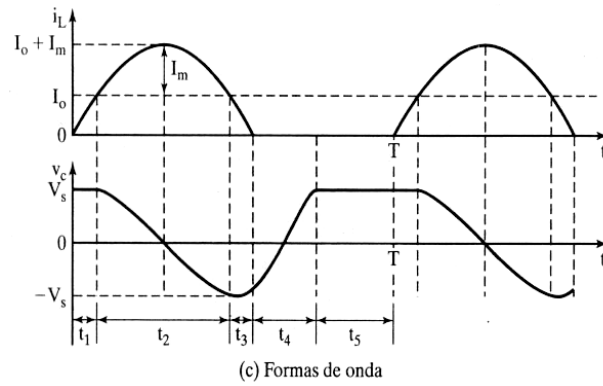


FIGURA 3.40 Rectificador resonante clase E.

Un interruptor a corriente cero (ZC) moldea la forma de onda de la corriente de conmutación durante su tiempo de conducción formando una condición de corriente cero para la desactivación del interruptor.

3.2.6 CONVERTIDORES RESONANTES POR CONMUTACION A VOLTAJE CERO.

Los interruptores de un convertidor resonante ZVS se activan y desactivan a voltaje cero. El circuito resonante se muestra en la figura 3.41a. El capacitor se conecta en paralelo con el interruptor, para lograr la ZVS. La capacitancia interna se suma a la del capacitor y afecta sólo a la frecuencia de resonancia y con ello contribuye a no disipar potencia en el interruptor. Si se forma el interruptor con un transistor y un diodo en antiparalelo como se ve en la figura 3.41b, el voltaje a través del capacitor lo fija el diodo y el interruptor opera en configuración de media onda. Si el diodo se conecta en serie con el transistor como se muestra en la figura 3.41c, el voltaje a través del capacitor puede oscilar libremente, y el interruptor se opera en configuración de onda completa. En la figura 3.42a se muestra un convertidor resonante ZVS. Es el dual de un convertidor resonante ZCS de la figura 3.40a.

Se pueden aplicar las condiciones del convertidor resonante ZCS tipo M si se sustituye la corriente del inductor con el voltaje del capacitor y viceversa, L por C y viceversa y el voltaje de entrada con la corriente de la fuente. La operación del circuito se puede dividir en cinco modos cuyos circuitos equivalentes se ven en la figura 3.42b.

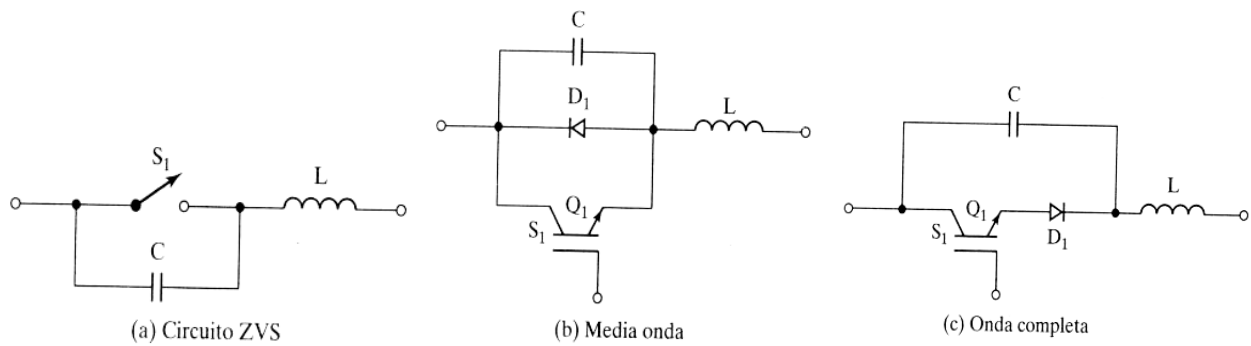


FIGURA 3.41 Convertidor resonante ZVS de dos cuadrantes.

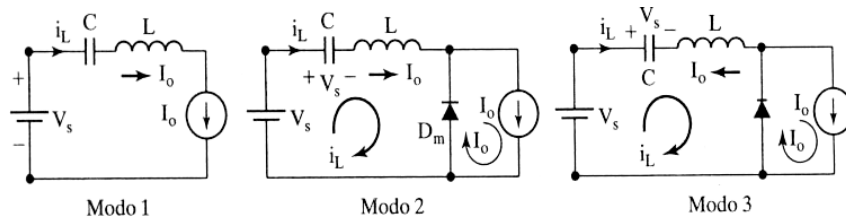
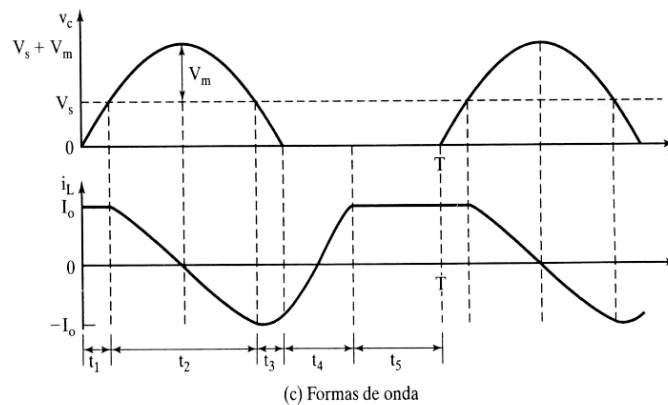
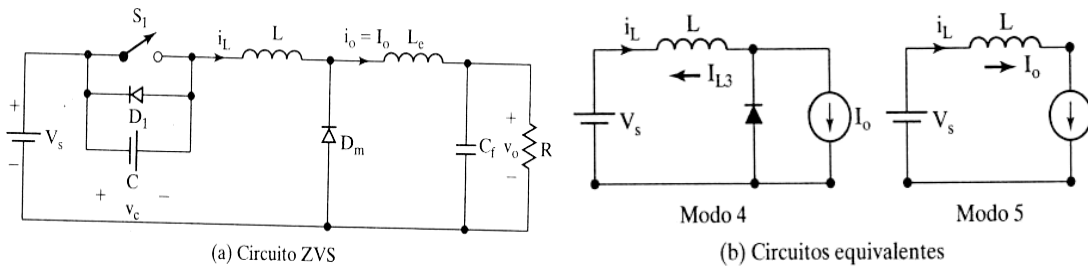


FIGURA 3.42 Convertidor resonante ZVS

En la figura 3.42c se muestran las formas de onda de la corriente del inductor y del voltaje. Esto indica que el voltaje pico de conmutación depende de la corriente de la fuente. Por consiguiente, una gran variación de la corriente en la carga produce una gran variación en el voltaje de conmutación. Por esta razón, los convertidores ZVS sólo se usan en aplicaciones con carga constante. El interruptor debe desactivarse sólo a voltaje cero. De no ser así, la energía almacenada en C puede disiparse en el interruptor. Para evitar este caso, el diodo en antiparalelo debe conducir antes de activar el interruptor. Un ZVS moldea la forma de onda de voltaje de conmutación durante el tiempo de apagado, desactivación, para crear una condición de voltaje cero para que el interruptor se active.

Comparación entre convertidores resonantes ZCS y ZVS

Los convertidores ZCS pueden eliminar las pérdidas por conmutación en la desactivación y reducirlas en activación. Como se conecta en paralelo con el diodo D_m , un capacitor relativamente grande, la operación del inversor se vuelve insensible a la capacitancia de la unión del diodo. Cuando se usan MOSFETs de potencia como ZCS, la energía almacenada en la capacitancia del dispositivo se disipa durante la activación. Esta pérdida capacitiva en la activación es proporcional a la frecuencia de conmutación. Durante la activación puede aparecer una tasa de cambio de voltaje grande en el circuito de activación de la compuerta, a causa del acoplamiento a través del capacitor Miller, aumentando así la pérdida por conmutación y el ruido. Otra limitación es que los interruptores están bajo esfuerzo por alta corriente, y resulta mayor pérdida por conducción. Sin embargo, se debe notar que el ZCS tiene especial eficacia para reducir la pérdida por conmutación en dispositivos de potencia (como los IGBTs) que tienen larga corriente de cola en el proceso de desactivación.

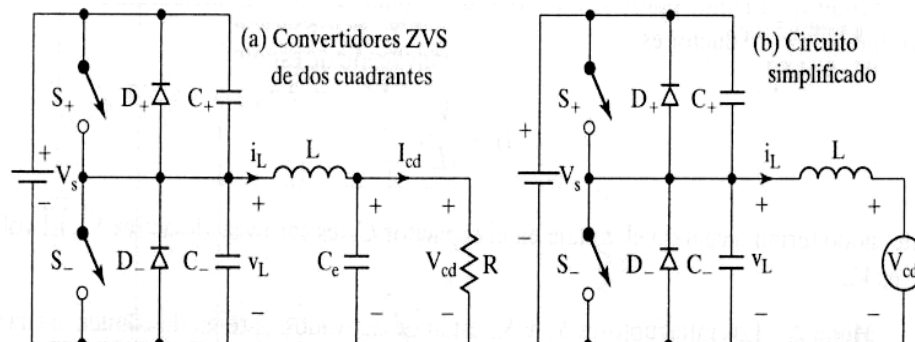
Por la naturaleza del tanque de resonancia y de la ZCS, la corriente pico de conmutación es mucho mayor que en una onda cuadrada. Además, se establece un alto voltaje a través del interruptor en el estado desactivado, después de la oscilación resonante. Cuando el interruptor se vuelve a activar, la energía almacenada en el capacitor de salida se descarga a través del interruptor, causando una importante pérdida de potencia a grandes frecuencias y a altos voltajes. Esa pérdida por conmutación se puede reducir usando ZVS.

Los convertidores ZVS eliminan la pérdida capacitiva por activación. Son adecuados para operación en alta frecuencia. Sin fijadores de voltaje, los interruptores pueden estar sometidos a demasiado esfuerzo dieléctrico, que es proporcional a la carga.

Para ambos convertidores ZVS y ZCS se puede lograr el control de voltaje de salida variando la frecuencia. La conversión ZCS opera con un control de tiempo activo constante, mientras que la conversión ZVS opera con un control de tiempo inactivo constante.

3.2.7 CONVERTIDORES RESONANTES ZVS DE DOS CUADRANTES.

El concepto de la ZVS se puede ampliar a un convertidor de dos cuadrantes, como se ve en la figura 3.43a, donde los capacitores. El inductor L tiene un valor tal que forma un en resonancia. La frecuencia de resonancia es mucho mayor que la frecuencia de conmutación. Suponiendo que la capacitancia del filtro es grande, la carga se sustituye por un voltaje CD , V , como se ve en la figura 3.43b. La operación del circuito se puede dividir en seis modos. Los circuitos equivalentes para varios modos se ven en la figura 3.43d.



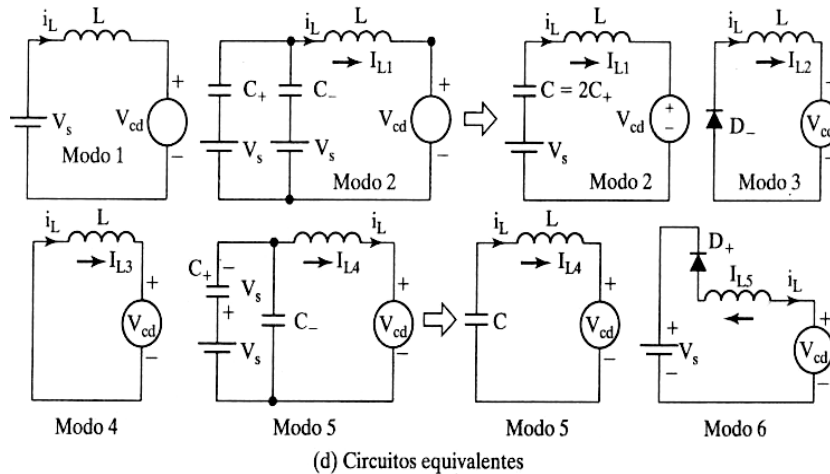
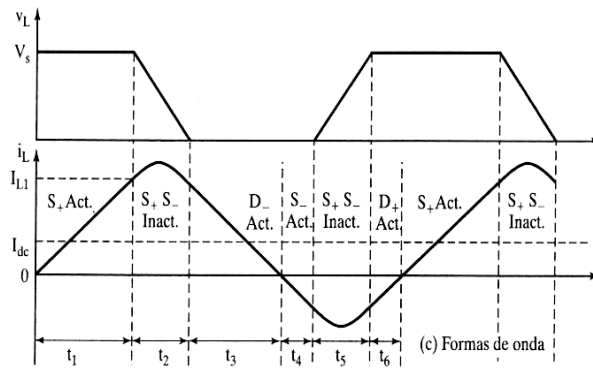


FIGURA 3.43 Convertidor resonante ZVS de dos cuadrantes.

- Modo 1. El interruptor S_+ está activado. Suponiendo que la corriente inicial es la corriente en el inductor i_L . Este modo termina cuando el voltaje en el capacitor es cero y se desactiva.
- Modo 2. Los interruptores S_+ y S_- están desactivados. Este modo comienza cuando el capacitor tiene voltaje cero y el voltaje del capacitor negativo es V_s . El equivalente de este modo se puede simplificar a un circuito resonante de C y L con una corriente inicial en el inductor.
- Modo 3. El diodo D_- se activa. La corriente baja en forma lineal hasta 0.
- Modo 4. El interruptor S_- se activa cuando V_0 y V_0 llegan a cero. La corriente en el inductor continúa bajando, en dirección negativa, hasta que el voltaje en el interruptor llega a cero y se desactiva S_- .
- Modo 5. Los interruptores S_+ y S_- están desactivados. Este modo comienza teniendo voltaje cero y teniendo V_s , y se parece al modo 2. El voltaje V_0 se puede considerar que, aproximadamente, sube en forma lineal desde 0 hasta V_s . Este modo termina cuando V_0 tiende a ser mayor que V_s y el diodo D_+ se activa.
- Modo 6. El diodo D_+ se activa, la corriente del inductor baja en forma lineal hasta cero. Este modo termina cuando la corriente en el inductor es igual a cero. El interruptor S_+ se activa y se repite el ciclo.

Las formas de onda se ven en la figura 3.43c. Para ZVS, la corriente en el inductor debe pasar en ambas direcciones, para que el diodo conduzca antes de que su interruptor se active. El voltaje de salida puede hacerse de forma casi cuadrada haciendo que la frecuencia de resonancia sea mucho

mayor que la frecuencia de conmutación. El voltaje de salida puede regularse por control de frecuencia. El voltaje del interruptor se fija solo hasta V_s .

Sin embargo, los interruptores deben conducir la corriente del inductor, que tiene grandes rizados y mayores picos que la corriente en la carga. El convertidor se puede operar en un modo de corriente regulada, para obtener la forma deseada. El circuito de la figura 3.43a se puede ampliar al del inversor monofásico de medio puente que se ve en la figura 3.44.

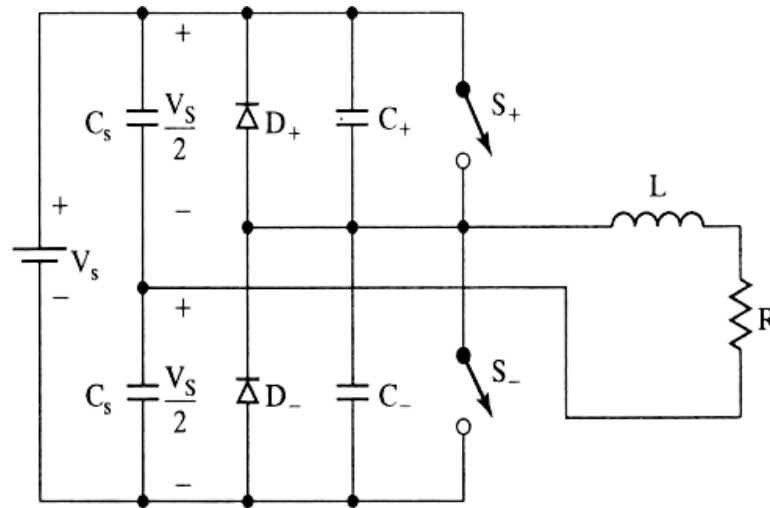


FIGURA 3.44 Inversor resonante ZVS trifásico.

3.2.8 INVERSORES RESONANTES DE ENLACE DE CD.

En los inversores resonantes de enlace de CD, se conecta un circuito resonante entre el voltaje de CD de alimentación y el inversor PWM, de tal modo que el voltaje de alimentación al inversor oscile entre cero y un valor un poco mayor que el doble del voltaje de entrada en CD. El enlace resonante, parecido al inversor clase E de la figura 3.36, se ve en la figura 3.45a, donde I_0 es la corriente que toma el inversor, suponiendo que el circuito no tiene pérdidas que la resistencia es 0.

Bajo condiciones sin pérdidas, la oscilación continúa y no hay necesidad de activar el interruptor S_1 . Sin embargo, en la práctica si hay pérdidas de potencia en la resistencia, la corriente en el inductor es una senoide amortiguada y S_1 se activa para llevar a la corriente a su valor inicial. El valor de la resistencia es pequeño y el circuito es subamortiguado. En la figura 3.45b se ven las formas de onda de voltaje y corriente. El interruptor S_i se activa cuando el voltaje en el capacitor baja a cero y se desactiva cuando la corriente llega al nivel de la corriente inicial.

Se puede ver que el voltaje del capacitor solo depende de la diferencia de las corrientes inicial y en el inductor y no de la corriente en la carga. Así, el circuito se debe monitorear cuando el interruptor conduce, y apagarlo cuando se ha llegado al valor deseado de corriente.

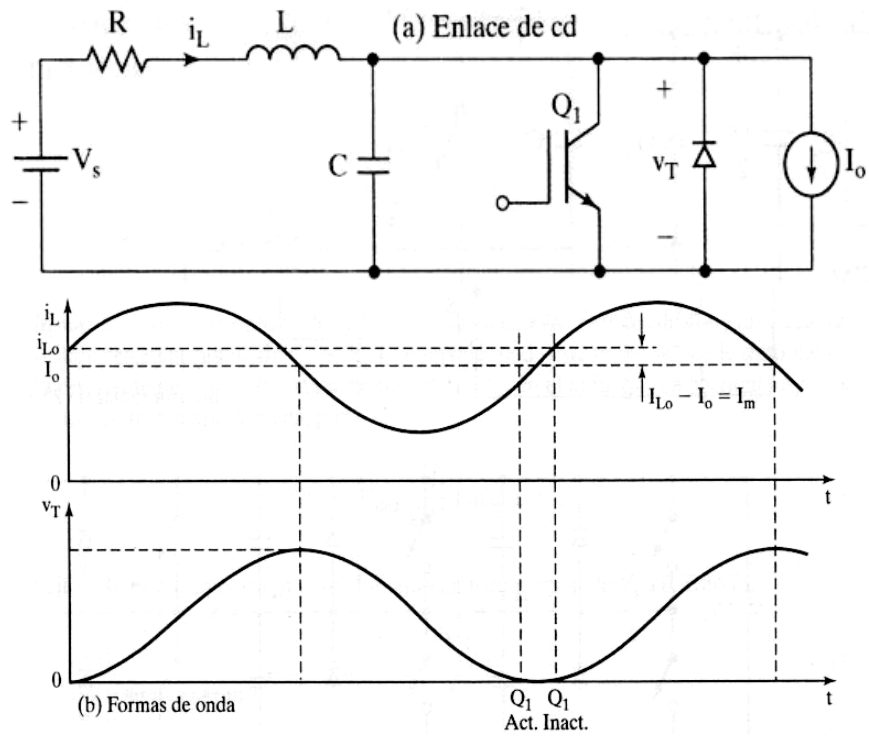


FIGURA 3.45 Enlace resonante de CD.

CAPITULO 4

“PRUEBAS DE

LABORATORIO”

CAPITULO 4

“PRUEBAS DE LABORATORIO”

Para poder dimensionar un UPS con las características adecuadas para los instrumentos utilizados en las prácticas que se realizan en los laboratorios de Electrónica se realizaron pruebas con cada uno de los equipos normalmente ocupados en las prácticas.

Al realizar las siguientes pruebas de laboratorio utilizando cargas resistivas simulando los circuitos utilizados en las prácticas de laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados:

Para el equipo de laboratorio al realizar experimentos contemplando un factor de potencia de 0.8 se obtuvo la siguiente tabla del consumo de los instrumentos.

TABLA 4.1

INSTRUMENTO	ESTADO	CARGA	CONSUMO CA ENTRADA (AMP)
FUENTE	APAGADO	0 A	0
FUENTE	ENCENDIDO	0 A	0.63
OSCILOSCOPIO	APAGADO	0 A	0
OSCILOSCOPIO	ENCENDIDO	0 A	0.28
GENERADOR	APAGADO	0 A	0
GENERADOR	ENCENDIDO	0 A	0.25
OSCILOSCOPIO Y GENERADOR	ENCENDIDO	0 CTO PARALELO	0.5
FUENTE	ENCENDIDO	1 A	0.63
FUENTE Y OSCILOSCOPIO	ENCENDIDO	1 A	0.89
FUENTE Y OSCILOSCOPIO	ENCENDIDO	2 A	1.25
FUENTE Y OSCILOSCOPIO	ENCENDIDO	SALIDA 1 = 5.32V; 0.5 A SALIDA 2 = 5.32V; 0.5 A	0.63
FUENTE Y OSCILOSCOPIO	ENCENDIDO	SALIDA 1 = 14.9V; 1.38 A SALIDA 2 = 0 V; 0 A	0.93
FUENTE Y OSCILOSCOPIO	ENCENDIDO	SALIDA 1 = 14.9V; 1.38 A SALIDA 2 = 6.75V; 1.38 A	1.43
OSCILOSCOPIO Y GENERADOR	ENCENDIDO		0.5

A continuación se presenta la potencia aparente calculada de cada uno de estos instrumentos de medición.

La potencia aparente consumida por la fuente en carga máxima

$$S = 127V \times 1.43A = 181.61 VA$$

La potencia aparente consumida por el osciloscopio en carga máxima

$$S = 127V \times 0.28A = 35.56 VA$$

La potencia aparente consumida por el generador en carga máxima

$$S = 127V \times 0.25A = 31.75 VA$$

Esto nos ayuda a conocer que potencia necesitamos para dimensionar nuestro UPS calculando así que en un laboratorio de mayor demanda como en el caso de Dispositivos Electrónicos se ocupan normalmente el generador, la fuente, el osciloscopio y el multímetro; pero el multímetro utiliza batería y no requiere de una alimentación como los otros 3 equipos.

Los requerimientos de corriente y voltaje de cada uno de los instrumentos según el manual se presentan a continuación.

Osciloscopio. Agilent 54621D/22D

Rango de línea de voltaje: 100 – 240 VCA \pm 10%. Selección Automática.

Frecuencia de línea: 47 – 440 Hz.

Potencia de uso: 100 W max.

Generador de funciones. Agilent 33220A 20 Mhz.

Rango de línea de voltaje: 100 – 240 VCA.

Frecuencia de línea: 50 – 60 Hz (-5%, +10%)

Rango de línea de voltaje: 100 – 120 VCA.

Frecuencia de línea: 400Hz \pm 10%.

Potencia de uso: 50 VA max.

Generador de funciones. Agilent 33120A.

Rango de línea de voltaje: 100/120/220/240 VCA \pm 10%. Selección con Switch.

Frecuencia de línea: 45 – 60 Hz y 360 – 440 Hz. Detección automática al encenderse.

Rango de línea de voltaje: 100 – 120 VCA.

Frecuencia de línea: 400Hz \pm 10%.

Potencia de uso: 50 VA (28 W promedio).

Fuente. Agilent E364XA Salida Dual.

Entrada de CA: Estándar 115 VCA \pm 10% Frecuencia: 47 – 63 Hz.

Opción 0E3 230 VCA \pm 10% Frecuencia: 47 – 63 Hz.

Opción 0E9 100 VCA \pm 10% Frecuencia: 47 – 63 Hz.

Máxima potencia de entrada.

E3646A = 210 VA

E3647A = 210VA

E3648A = 400 VA

E3649A = 330 VA

Las pruebas se realizaron conectando los instrumentos a una carga resistiva como se observa en las siguientes fotos se tuvo que elaborar un contacto simulando un circuito abierto para poder medir así la corriente consumida por cada uno de los instrumentos y se midió además el voltaje de línea que se muestran en los cálculos anteriormente.

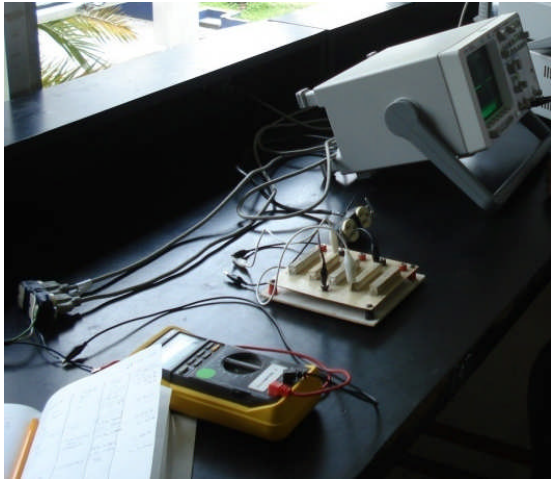


Foto Experimento 1

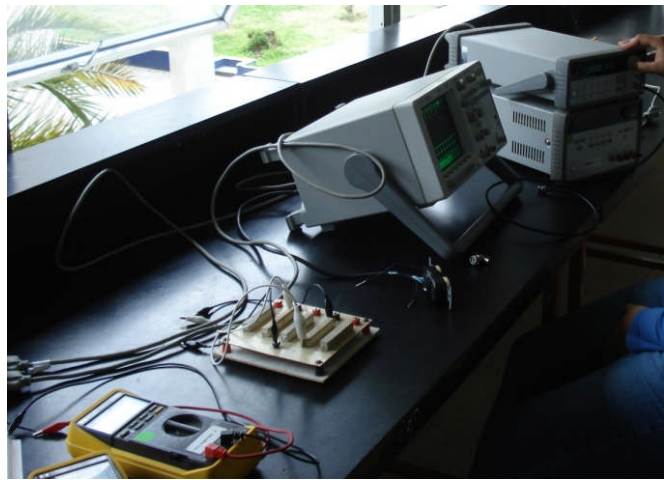
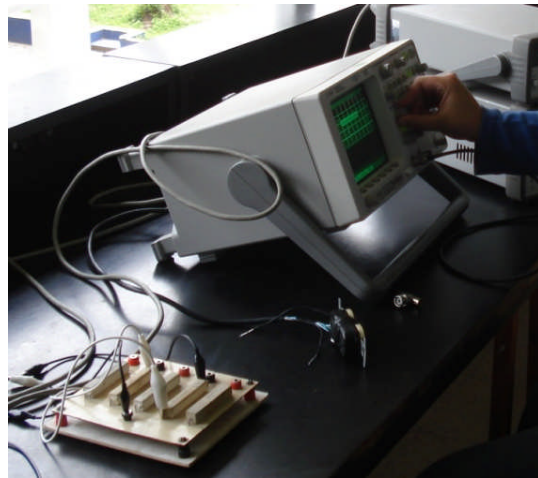


Foto Experimento 2



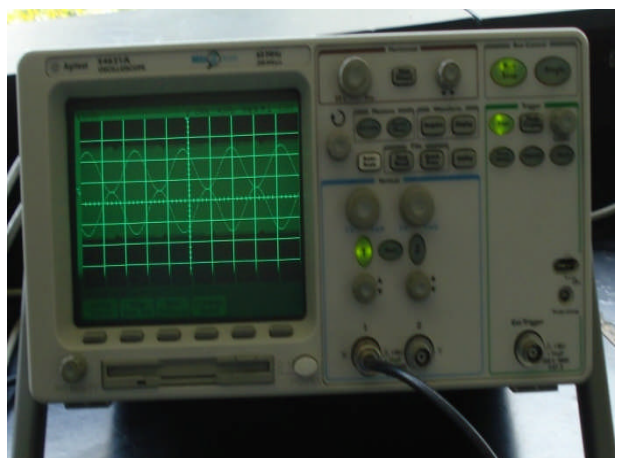
Multímetro HP 972A



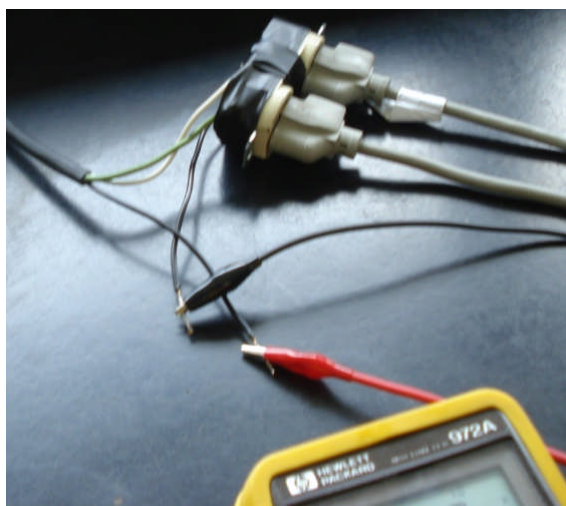
Osciloscopio con carga



Fuente de poder y Generador de Funciones



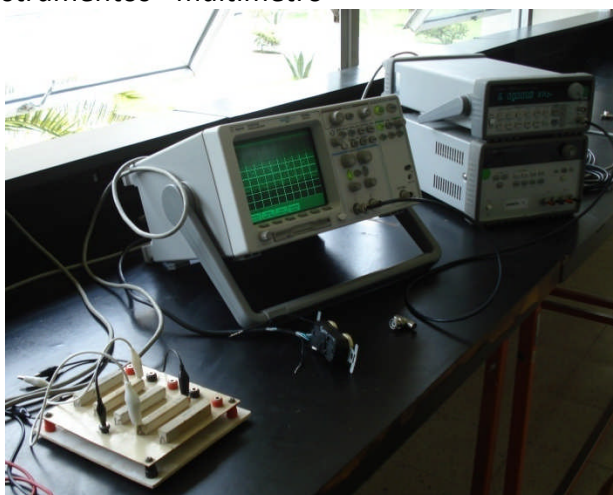
Osciloscopio Agilent 54621D/22D



Conexiones de los instrumentos - multímetro



Conexión instrumentos multímetro.



Conexión Instrumentos - Carga

Como se puede observar los datos recabados al realizar las pruebas y el calculo de la potencia aparente consumida por cada uno de los instrumentos coinciden con los datos que nos proporciona el fabricante, es por ello que se necesitaria un UPS de aproximadamente 1000 VA para poder proporcionar el suministro a 4 equipos de laboratorio con los tres instrumentos de medicion a utilizar.

Existen diferentes tipos de UPS mejor conocidos comercialmente como No – Break, los mas comunes son los de potencia de 1100 VA y 1200 W.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

CAPITULO 5 “CONCLUSIONES”

Los UPS's en su concepción general están conformado por pilas, inversores, cargadores de pilas y Rectificadoras cada uno de ellos es indispensable para el buen funcionamiento del UPS. El rectificador es el encargado de convertir la corriente alterna en corriente directa y enviar la corriente al cargador de la batería. La batería es una de las partes más importantes del UPS ya que en ella se almacena la energía necesaria para alimentar la carga y en este caso los instrumentos de medición para esto es necesario conocer su tiempo de carga, descarga además de su vida de almacenamiento y su temperatura de trabajo.

En el caso del inversor es el que convierten energía de corriente directa de la batería a corriente alterna para alimentar el equipo. Este funciona con un puente de transistores en el cual se va alternando el encendido y apagado de éstos para poder generar un semiciclo positivo, un semi ciclo negativo y el tiempo de voltaje cero, formando así una onda cuasi senoidal. Para el cargador de baterías es necesario que éste proporcione a la batería un voltaje de flotación necesario para que la batería se cargue al 100% o más y nos aseguren un tiempo de respaldo mínimo; además deberá de recargar la batería después de haber sido utilizada debido a un corte de energía.

La primera topología UPS se le conoce como of-line o fuera de línea porque inversor se encuentra fuera de la línea principal de energía; también se le conoce como stand by porque el inversor se encuentra en espera o apagado. Este tipo de UPS en su modo normal de operación tiene un voltaje de alimentación en el cual no es necesario que el inversor funcione, la corriente fluye a través del filtro en una de sus ramas y continúa alimentando la carga y otra de sus ramas fluye a través del cargador de baterías manteniendo así la batería en flotación. Cuando el voltaje de alimentación de este tipo de UPS es interrumpido o sale del intervalo de operación es encendido inversor y la corriente pasa por el interruptor de transferencia y así no hay interrupción de energía, cuando sea restablecido el funcionamiento del UPS regresa a su modo normal de operación, una variación de este sistema es cuando se incorpora un regulador de voltaje en cual nos da la ventaja de que se alimenta la carga con un voltaje regulado y la protege mejor, además el rango de voltaje de entrada es mayor por lo cual tarda más en encender el inversor.

El UPS On-line o conocido también como en línea tienen inversor directamente conectado la línea de alimentación y siempre está operando, este tipo de UPS es muy caro debido a que brinda un mayor nivel de protección. En modo de operación normal los interruptor es 1y 2 están cerrados alimentando la carga y a su vez manteniendo las pilas en flotación y el interruptor 3 esta abierto manteniendo así el interruptor estático apagado. Cuando el voltaje de entrada es muy alto o muy bajo como para no proporcionar un voltaje de corriente directa regulado el rectificador se apaga pero como esta conectado en paralelo las baterías entran en funcionamiento automáticamente hasta que estas se descargan casi totalmente y lógicamente ya no se puede seguir alimentando la carga y se apaga el UPS. Cuando esto sucede se abre el interruptor 2 y se cierra el interruptor 3 para alimentar directamente la carga a través de la línea eléctrica mientras se vuelven a cargar las baterías. El interruptor estático nos sirve para hacer la transferencia de la línea de entrada del by-pass a la línea que conecta el inversor se necesita este interruptor para hacer la transferencia a gran velocidad y que

no queden abiertos o cerrados al mismo tiempo los interruptores 2 y 3 ya que provocarían daños en el UPS o la carga.

El SAI On-Line hará todo lo posible por evitar una interrupción de voltaje a la carga, si no es posible como por ejemplo un daño al equipo, transferirá la carga a Bypass. Si se fue a Bypass por sobrecarga (por pedir al Inversor mas Kilowatts de los que puede alimentar) el SAI intentará regresar al cabo de unos segundos, si ya puede con la carga quedará en Normal, si la sobrecarga persiste regresará a Bypass y se quedará en Bypass para obligar a que se revise la razón de la sobrecarga.

El SAI On-Line representa la mejor calidad de equipo porque la carga siempre está alimentada por el Inversor y por tal razón el voltaje permanece estable a 127 volts $\pm 1\%$. La frecuencia permanece estable en ± 1 Hz. La forma de onda del Inversor en el SAI On-line es senoidal. Hay equipos On-Line desde 1 KVA hasta 1000Kva, si se requiere más capacidad, se pueden poner en paralelo los módulos para obtener 4000 ó 5000 KVA. Hay equipos monofásicos a 127 volts, monofásicos a 220 volts y trifásicos a 220, 440 y 600 volts.

Hay otras topologías de SAI que no se discutieron como por ejemplo Delta Conversión On-Line que es un diseño exclusivo de la marca APC. También hay los equipos Ferro resonantes que son un diseño Off-Line con regulación por transformador Ferro resonante.

A partir del año 1800 cuando Alessandro Volta inicio el diseño de la corona de copas en la cual estaban varios y diferentes metales conectados en serie y sumergido en una solución salina se dio cuenta de que las reacciones químicas podían producir electricidad; años después Gastón Plante descubrió lo que ahora se le conoce como la batería de automóvil, George LeClanche en 1868 concibió la idea de la celda seca, él utilizo como uno de sus electrodos al dióxido de manganeso en su celda, una barra de carbón como colector de corriente y una celda de zinc que no solo formaba el recipiente sino que también funcionaba como el otro electrodo.

La batería primaria es aquella que se le conoce como celda seca y la batería secundaria es aquella que nosotros la conocemos como recargable, en la cual el proceso de carga y descarga es de varios ciclos a diferencia de la primaria que tiene un solo uso. Las baterías de reserva son aquellas en las que el electrolito es cargado al momento de su fabricación y después es aislado completamente de la humedad y así puede ser almacenado gran tiempo hasta que se reactiva añadiendo el otro electrolito y así provocar la reacción química necesaria para producir la electricidad. Cuando la pila empieza a descargarse el electrolito que forma parte del electrodo empieza a empobrecerse debido a las reacciones químicas.

En cuanto a los inversores de potencia podemos observar que los inversores resonantes se usan en aplicaciones con alta frecuencia donde se requiere un voltaje fijo de salida. La frecuencia máxima de resonancia esta limitada por los tiempos de desactivación de los tiristores o los transistores. Los inversores resonantes permiten una regulación limitada del voltaje de salida. Los inversores resonantes paralelo se alimentan de una fuente de CD constante y producen un voltaje sinusoidal de salida. Los inversores y los rectificadores resonantes clase E son sencillos, y se usan principalmente en aplicaciones de baja potencia y alta frecuencia. Los convertidores ZVS y ZCS se están difundiendo cada vez más porque se activan y desactivan a corriente o voltaje cero, eliminando así las perdidas por

conmutación. En los inversores resonantes de enlace de CD, se conecta un circuito resonante entre el inversor y la fuente de CD. Los pulsos resonantes de voltaje se producen en la entrada del inversor, y los dispositivos del inversor se activan y desactivan en voltaje cero. La modulación en los inversores es sobretodo la modulación por ancho de pulso (PWM), sus diferentes técnicas de modulación como Modulación trapezoidal, por escalera, por pasos, por inyección de armónicos y modulación delta que su objetivo en general es controlar ya sea el voltaje, la corriente o la frecuencia para un mayor control de la carga en las baterías o la salida hacia el equipo que se va a alimentar.

Los experimentos realizados al final en el laboratorio nos sirvieron para conocer las cargas que consumen los equipos utilizados en el laboratorio y a su vez proponer el sistema de alimentación Ininterrumpible para el equipo utilizado durante las prácticas y así los alumnos no interrumpan sus experimentos por falta de energía eléctrica.

Los equipos No – Break que son comercializados son capaces de suministrar un respaldo de aproximadamente 15 minutos como mínimo y podrían entrar en el presupuesto de la UNAM porque son de un costo accesible y seria de gran utilidad para que los alumnos no interrumpan sus pruebas como comúnmente sucede en épocas de lluvias debido a que no hay energía eléctrica y no concluyen sus prácticas.

Glosario

ANSI: American National Standards Institute, Instituto Nacional Americano De Estándares.

Brownouts: Caídas de voltaje de larga duración son provocadas por sobrecarga en la red.

BYPASS: Desvío, doble línea.

CA: Corriente Alterna.

CD: Corriente Directa.

CSI: Inversor con fuente de corriente.

Electrodo: Cuerpo conductor empleado en la aplicación de un tratamiento eléctrico.

Electrolisis: Descomposición de un cuerpo por medio de una reacción química verificada por medio de la electricidad.

Electrolito: Cuerpo que se somete a la electrolisis.

FET: Transistor de efecto de campo (Field –Effect Transistor), este dispositivo es controlado por voltaje.

GTO: Interruptor controlado por compuerta.

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos – Electrónicos.

JFET: Transistor de efecto de campo de unión.

LASCR: Rectificador controlado de silicio activado por luz.

MOSFET: Transistor de efecto de metal oxido semiconductor.

MSPWM: de modified sinusoidal pulse – width modulation, modulación por ancho de pulso sinusoidal modificada.

No Break: Que significa sin interrupción.

OFF LINE: Fuera de línea.

ON LINE: En línea

PWM: Modulación por anchura de pulso.

Sags: Caídas de voltaje de corta duración, son normalmente provocadas por arranque de motores.

SAI: Por Sistema Ininterrumpido de Alimentación.

SCR: Rectificador controlado de silicio.

SCS: Interruptor Controlado de silicio.

SFI: Por Sistema de Fuerza Ininterrumpido.

SPWM: Modulation Modulación por ancho de pulso sinusoidal.

STAND BY: En espera

Swells: picos, son crecimientos lentos de la voltaje, pueden alcanzar valores superiores al 20% de valor nominal y durar segundos.

TBJ: Transistor Bipolar de juntura, este dispositivo es controlado por corriente.

Transistor: Dispositivo semiconductor de 3 capas ya sea 2 de material tipo **n** y 1 tipo **p** o dos capas de material tipo **p** y 1 tipo **n**.

TVSS: Supresor de Voltaje Transitorio -Transient Voltage Surge Suppresor

UJT: Transistor monounión: unijunction transistor.

UPS: Uninterrumpible Power Supply - Fuente de alimentación Ininterrumpible.

UPWM: uniform pulse – width modulation, modulación por ancho de pulso uniforme.

VMOS: Vertical de oxido metálico y silicio.

VSI: Inversor de fuente de voltaje.

ZCS: de zero-current-switching, convertidor resonante por conmutación a corriente cero.

ZVS: de zero-voltaje-switching convertidor resonante a voltaje cero.

BIBLIOGRAFIA:

Electrónica de potencia
Circuitos dispositivos y aplicaciones.
Muhammad H Rashid.
3a Edición

Electrónica
Teoría de circuitos
Robert Boylestad, Louis Nashelsky
Ed. Prentice Hall, Hispanoamericana.

Electrónica moderna
Para ingenieros y técnicos
Milton Kaufman/Artur H Seidman
2ª Edición, Mc Graw Hill

Electrónica Industrial: Técnicas de Potencia.
J.A. Gualda, S. Martínez, P.M. Martínez.
2ª Edición 1992
Alfaomega – marcombo.

Electrónica de potencia
Daniel W Hart
2001
Prentice Hall

Electrónica Industrial Moderna
Timothy J. Maloney
5ª Edición, 2006.
Pearson / Prentice Hall

Manuales de funcionamiento Agilent.
Agilent 54600 - Series
Mixes – Signal Oscilloscopes

Agilent 33220A, 20MHz Function
Arbitrary Waveform Generator
Edición 1, Febrero 2003.
Agilent E364XA, Dual Output.
DC Power Supplies/AC Input Ratings

http://www.unicrom.com/Tut_TopologiasUPS6.asp
<http://www.ladelec.com/embobinadostranf.htm>
<http://www.tech-faq.com/lang/es/uninterruptible-power-supply.shtml>