



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGON

SISTEMA DE FUERZA ININTERRUMPIBLE CON
TECNOLOGIA PWM Y SU APLICACION EN LA
INDUSTRIA PETROLERA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
A R E A: ELECTRICA - ELECTRONICA
P R E S E N T A:
JORGE ANGEL ALANIZ CARRALES

ASESOR:
ING. ABEL VERDE CRUZ



MÉXICO

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS.

Antes que nada quisiera agradecer y dedicar este trabajo a:

A DIOS gracias a ti
padre, divino
maestro, por
permitirme llegar con
firmeza y constancia,
otorgándome un logro
más, con tu luz y
compañía.

Al **T.S.U.B. JAVIER
ARTURO ALANIZ
CARRALES**, por demostrarme
la valentía, el coraje, la razón,
constancia, inteligencia y bondad
como ser humano, de la forma
más sencilla y humilde, sabiendo
ser único como persona y como
mi hermano.

A la Lic. **MARIA CARRALES
CUELLAR**, te agradezco tu
entera confianza hacia mí, tus
valores, tu tiempo, tu dedicación,
trabajo y esfuerzo que durante
tanto tiempo me haz dado,
sabiendo corregirme y guiarme
con todo el amor que sólo tu
sabes, y sobre todo agradeciendo
por siempre el hecho de que seas
mi madre.

Al Sr. **JORGE ARTURO
ALANIZ TAPIA**, mi padre te
agradezco tu tiempo, apoyo y
ejemplo; esperando te sientas
orgulloso.

A mis **FAMILIARES Y
AMIGOS**, les agradezco todo su
tiempo, y compañía que me
enriquece día a día, permitiendo
llenar con fuerza mi espíritu y mi
persona.

Al **Ing. Abel Verde Cruz** por su
orientación, apoyo e interés
prestado para el desarrollo de
este trabajo.

A la **Especialidad de
Ingeniería Eléctrica en la
Coordinación Tecnológica de
Ingeniería Electromecánica
del Instituto Mexicano del
Petróleo** a todos los ingenieros y
administrativos que la
conforman; mi entero
agradecimiento por su apoyo y
orientación puntual y práctica,
para la realización de este
trabajo.

A la **Universidad Nacional
Autónoma de México** por
brindarme de ese valioso espacio
de conocimiento y aprendizaje
para forjarme como un
profesionista.

A los **Profesores** de toda mi
trayectoria académica les
agradezco profundamente de su
conocimiento brindado, de su
paciencia y tiempo, gracias por
impregnar en mí, un espíritu
académico constante y eficaz.

Al Lic. **Francisco Javier Piñera
Guerrero** por su valiosa
orientación y experiencia en la
elaboración y desarrollo gráfico
de la presentación y
conformación de este trabajo.

A todos ustedes muchas gracias y espero se sientan orgullosos
tanto como yo lo estoy.

A N T E N T A M E N T E:

JORGE ANGEL

ÍNDICE GENERAL.

Introducción	vii
Problemática	ix
Justificación	x
Objetivos	xii
Delimitación	xiii
Contenido de la Tesis	xiii
1 Características y Elementos que Conforman a un Sistema de Fuerza Ininterrumpible (SFI) con Modulación de Ancho de Pulso (PWM).	1
1.1 Rectificador – Cargador.	2
1.2 Banco de Baterías.	6
1.3 Acondicionador de Línea.	10
1.4 Inversor de Corriente de Tecnología PWM.	10
1.4.1 Modulación por Ancho de Pulso Senoidal (SPWM).	13
1.4.2 Modulación por Ancho de Pulso Senoidal Modificada (MSPWM).	16
1.4.3 PWM Senoidal trifásica.	17
1.4.4 PWM de 60° y con Tercera Armónica.	18
1.4.5 Parámetros de Rendimiento.	20
1.4.5.1 Factor armónico de la n-ésima armónica (HF_n).	
1.4.5.2 Distorsión Armónica Total (THD).	
1.4.5.3 Factor de Distorsión (DF).	
1.4.5.4 Armónica de Orden más Bajo (LOH).	
1.5 Interruptores.	22
1.5.1 Interruptor Estático de Transferencia Automática.	23
1.5.2 Interruptor Manual de by pass Interno de Transferencia.	24
1.5.3 Interruptor Manual Externo para Mantenimiento.	24
1.6 Sistemas de Alarma, Monitoreo, Control y otros.	24
1.6.1 Protecciones	25
1.6.2 Alarmas e Indicadores	25
1.6.3 Otros Elementos.	26
1.7 Diagrama a Bloques de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.	27
1.8 Estructura Física de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.	28
2 Sistemas, condiciones y requerimientos de operación de un SFI.	29
2.1 Operación del Sistema de Fuerza Ininterrumpible.	29

2.2	Características y Requerimientos Eléctricos.	31
2.3	Otras Características y Requerimientos.	34
2.4	Configuraciones de Operación.	34
2.4.1	Unidad de SFI Estática Sencilla.	34
2.4.1.1	Descripción del Funcionamiento.	
2.4.1.2	Modos de Operación.	
2.4.2	Unidad de SFI Estática Redundante Paralela.	36
2.4.2.1	Modos de Operación.	
2.4.3	Unidad de SFI Estática Dual.	39
2.4.3.1	Modos de Operación.	
2.4.4	Unidad de SFI en Cascada.	41
2.5	Diagrama Unifilar Detallado de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.	42
3	Aplicación de un SFI.	44
3.1	Sistema Energético	44
3.2	Cargas Eléctricas.	45
3.3	Sistemas en un Complejo Petrolero.	47
3.3.1	Sistemas de Seguridad y Control.	47
3.3.2	Sistemas de Fuego y Gas.	49
3.3.3	Sistemas de Telemetría y SCADA.	51
3.3.4	Sistema de Aire Acondicionado, Ventilación y Calor.	52
3.3.5	Telecomunicaciones.	52
3.4	Sistema de Fuerza Ininterrumpible bajo Cargas Eléctricas.	53
3.5	Aplicación en la Industria Petrolera.	57
3.5.1	Características del Módulo Habitacional.	60
3.5.2	Características del SFI instalado.	61
3.5.3	Métodos de Funcionamiento del SFI Instalado.	64
3.5.4	Operación del SFI Instalado.	65
	Conclusiones	69
	Bibliografía	71
	Anexo	74
	A.1. Hoja de Datos y Cuestionario Técnico	74
	A.2. Abreviaturas	76
	A.3. Glosario	77

INTRODUCCIÓN.

Si bien la Electrónica juega un papel primordial en muchas actividades cotidianas gracias a su alto desarrollo tecnológico en semiconductores, una rama de esta tiene aún una presencia importante en la industria, la Electrónica de Potencia.

Muchos de los circuitos que contienen dispositivos de electrónica de potencia permiten controlar mediante señales binarias, aplicadas en la compuerta de disparo, grandes cantidades de corriente y voltaje sin sufrir cambio o modificación alguna, lo que permite su aplicación directa para manejar sistemas que requieran de una alimentación constante, limpia y sin interrupciones.

A los sistemas que más se les aplican estos circuitos son los denominados Sistemas de Fuerza Ininterrumpible (SFI o UPS) de tipo industrial, los cuales tienen la tarea de mantener y entregar energía eléctrica en voltaje y frecuencia requerida y establecida, así como debe estar regulada, libre de distorsiones armónicas y sin interferencias por lo que se mantiene continua.

Estos SFI cuentan con elementos como rectificadores, cargadores, e inversores, todos cuentan con dispositivos basados en la Electrónica de Potencia.

Así mismo estos SFI contienen otros elementos que coadyuvan a mantener las características energéticas requeridas como lo es la Modulación por Ancho de Pulso (PWM), esta modulación es la encargada de entregar la onda de salida de los SFI a la carga tal y como una onda senoidal.

Los SFI industriales son sistemas encargados de otorgar energía confiable y sin interrupciones a grandes cargas eléctricas denominadas cargas críticas, evitando poner así en riesgo la vida y las actividades que de ésta se desprendan.

Estos sistemas son sumamente usados por empresas de altos procesos que necesitan de energía todo el tiempo, como es el caso de Petróleos Mexicanos (PEMEX), que cuentan con requerimientos muy particulares para su instalación en estos centros.

Por lo que el propósito de este trabajo fue desarrollar y plasmar una herramienta de apoyo literario a todo aquel interesado en conocer una aplicación real de los sistemas de energía sin interrupción, al igual de encontrar un lenguaje común entre los fabricantes, los ingenieros de diseño eléctrico y los estudiantes o egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

PROBLEMÁTICA.

La falta de un panorama general que le permita al Ingeniero Mecánico Electricista visualizar y enfocarse en una aplicación inmediata en actividades industriales y/o empresariales existentes, así como promover el interés en mecanismos y sistemas que permitan mantener en óptimas condiciones la alimentación energética en alguna empresa o institución industrial, son factores que permiten hacer una investigación fundamentada y concisa.

La poca o casi nula existencia de materiales de apoyo literario, como lo pueden ser libros, revistas, manuales, o trabajos e investigaciones sobre temas energéticos y más en concreto en sistemas de fuerza ininterrumpible; pone a prueba la capacidad del ingeniero encargado de implementar, mantener o realizar compra de estos sistemas y diseños, dejando en riesgo una línea de negocio o algo más, al desconocer las características de un sistema como tal.

Todo esto trae como consecuencia un lenguaje muy complicado y turbio entre personas encargadas del diseño, mantenimiento e implementación de sistemas energéticos sin interrupción, así como de los fabricantes y personas ajenas que tengan un interés propio en estas arquitecturas y dispositivos.

JUSTIFICACIÓN

Según fuentes de la Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP) y documentos de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) se menciona que desde el último tercio del siglo XIX hasta la fecha, el petróleo es la energía primaria más importante del mundo. Casi todas las actividades económicas en todo el mundo están sujetas al hidrocarburo, como fuente energética, representando alrededor del 40% de las necesidades energéticas mundiales.

Los productos derivados del petróleo lo convierten en uno de los factores que más atañen al desarrollo económico y social, por lo que es de suma importancia en la economía mundial y en los diferentes países donde se produce y dependen en gran medida de esta materia prima. Así en nuestro país las entradas económicas por el precio del combustible constituyen una renta, puesto que se derivan en recibir una remuneración y contribuir al desarrollo público, pero esto no suele ser de una manera ideal y conveniente para todos, ya que existe la posibilidad de una crisis económica, un desajuste en los precios o simplemente la escasez de este hidrocarburo, por lo que es un gran menester el mantener y conseguir una producción de este elemento en todo momento y que no implique un riesgo en la manufactura de dicho combustible por fallas, como el paro de producción por falta de energía eléctrica.

En una situación como lo es la falta de Energía Eléctrica en instalaciones industriales y/o edificios, en donde se llevan a cabo tareas de índole petrolera, es importante contar con un sistema de emergencia energético y así preservar la producción y no llevar así a un cese o paro completo en las actividades de producción que pongan en peligro a la empresa así como su economía, en México existen datos y normatividades que exigen y postulan como se debe actuar, como lo es en la Norma Oficial

Mexicana (NOM-001-SEDE) “Instalaciones Eléctricas” donde establece en el capítulo 7 “Condiciones Especiales”, artículo 700 “Sistemas de Emergencia”, apartado 12, inciso C “Fuentes de Alimentación” El suministro de energía debe ser tal que, en caso de falla del suministro normal al edificio o grupo de edificios, el alumbrado, la energía de emergencia o ambos, estén disponibles dentro del tiempo requerido para tal aplicación, que en todo caso, no debe exceder de 10 segundos.

Ante esta normatividad es necesario tomar en cuenta que en México las actividades petrolíferas están bajo el amparo de Petróleos Mexicanos (PEMEX), quienes a su vez contemplan la necesidad de contar con sistemas de emergencia para prevenir fallas en el suministro de energía eléctrico tanto como en edificios e instalaciones dentro de tierra firme como el caso para las plataformas marinas, así lo exponen en su legislación interna en las Normas de Referencia.

La Norma de Referencia (NRF-048-PEMEX) “Diseño de Instalaciones Eléctricas” establece, en su apartado 8.13, los sistemas de emergencia que están destinados a proveer la energía necesaria para alumbrado, fuerza, control y protección donde la interrupción de la energía eléctrica podría poner en riesgo la integridad de la vida humana, procesos industriales y la línea de negocio, por lo que uno de estos sistemas expuestos es el Sistema de Fuerza Ininterrumpible, que se utiliza en ausencia de una fuente de alimentación normal o de un grupo generador, al igual que en plataformas marinas la Norma de Referencia (NRF-181-PEMEX) “Sistemas Eléctricos en Plataformas Marinas” en su apartado 8.3.2.2 menciona que un Sistema de Fuerza Ininterrumpible deberá suministrar la energía que se requiera, ya sea en corriente directa o alterna, a los servicios de emergencia en caso de falla o disturbios eléctricos, al igual se denomina que para este tipo de sistemas

se debe contar con tecnología de modulación por ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés).

Por lo que en esta investigación se aborda estos sistemas y el papel que desempeña en este tipo de industria, al igual se expone la necesidad de conocer a fondo las características de estos sistemas de generación y dar una amplia gama de requerimientos y operación.

Con base en lo expuesto se plantean los siguientes objetivos para este trabajo:

OBJETIVO GENERAL.

Describir un Sistema de Fuerza Ininterrumpible (SFI) con Tecnología de Modulación de Ancho de Pulso (PWM) de Tipo Industrial y su uso Inmediato en la Industria Petrolera del país.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Enumerar los componentes que conforman un SFI de tipo Industrial.
- Detallar el funcionamiento de cada componente en un SFI y de la Modulación por Ancho de Pulso Senoidal.
- Enlistar las diferentes configuraciones de operación de un SFI.
- Dar a conocer la utilización del SFI en la Industria Petrolera del país, en detalle en PEMEX.
- Mencionar un sistema de generación de energía alterno al suministro de energía eléctrica.

DELIMITACIÓN.

En el presente trabajo no se mencionan y se omiten las características y funciones de los circuitos fabricados y comerciales que se pueden utilizar y emplear para la creación y composición de los sistemas que integran la modulación por ancho de banda, filtros, circuitos de comunicación, entre otros, pretendiendo no hacer más extensa la investigación así como limitar el área de estudio y ofrecer más claridad en lo expuesto.

CONTENIDO DE LA TESIS.

Este trabajo se integra por tres capítulos y un anexo; en el primer capítulo se exponen todas las características y elementos que conforman a un SFI de tipo industrial además de contar con la explicación de la técnica de modulación de ancho de pulso concretamente la senoidal, por otra parte el segundo capítulo se enfoca en las diferentes configuraciones y requerimientos de operación de este SFI y finalizando con el tercer capítulo con la aplicación inmediata de este sistema en petróleos mexicanos (PEMEX) y contando con documentos de adquisición y técnicos, glosario y abreviaturas utilizadas en la investigación integradas en el anexo.

Esta investigación tiene como áreas de estudio la electricidad y el magnetismo, los dispositivos electrónicos y el análisis de señales; pasando por análisis de circuitos y detallando en instalaciones eléctricas, a su vez se habla en detalle de la medición y la instrumentación, así como de la transmisión de datos, circuitos digitales y por supuesto de la electrónica de potencia.

CAPITULO 1

Características y Elementos que Conforman a un Sistema de Fuerza Ininterrumpible (SFI) con Modulación de Ancho de Pulso (PWM).

En las instalaciones de Petróleos Mexicanos (PEMEX), así como en Organismos subsidiarios de esta empresa es necesario instalar sistemas eléctricos de emergencia que proporcionen una seguridad y que destaquen por su continuidad, los cuales se destinan a las actividades que la compañía requiera para su buen funcionamiento en todos los aspectos.

Los sistemas de emergencia basados en los Sistemas de Fuerza Ininterrumpible (SFI, o UPS por sus siglas Uninterruptible Power Supply), deben suministrar un voltaje estable y una frecuencia con mínimas fluctuaciones ante las variaciones de la red de alimentación principal, para proteger a dispositivos que pueden llegar a ser sensibles a estas variaciones de voltaje y disturbios eléctricos como picos de tensión, ruido eléctrico, distorsión armónica, transitorios, entre otros.

Este Sistema depende mucho, de los componentes y circuitos internos que se emplean para otorgar este tipo de energía. El SFI debe estar fabricado para un uso Industrial y operable en línea, el cual incorpora un sistema de Modulación de Ancho de Pulso (PWM por Pulse Width Modulation) para proporcionar un voltaje muy parecido a la onda senoidal de la línea de alimentación principal.

Un SFI, como los fabricantes lo llaman, es “un traje a la medida” ya que contendrá elementos y se fabricará según los requerimientos del lugar, como espacio y medidas, o características eléctricas, como potencia, voltajes trifásicos o monofásicos.

Pero básicamente un SFI está compuesto por:

1.1 Rectificador – Cargador.

El avance en la Electrónica de Potencia ha permitido su adaptación en métodos que permitan realizar sistemas capaces de convertir o manipular la energía como tal, con ella se pueden hacer sistemas capaces de cambiar corrientes alternas a directas o continuas sin la necesidad de dispositivos con un alto volumen.

Como es el caso del Rectificador - Cargador, que se compone de tiristores (figura 1.1), capaces de funcionar como interruptores biestables, funcionando de un estado conductor a un estado no conductor, estos tiristores se denominan rectificadores controlados de silicio (SCR) y son utilizados debido a su bajo costo, alta eficiencia, robustez, especificación de alto voltaje y corriente y uso de frecuencias de 50 y 60 Hertz¹ lo que permite su operación en la industria.

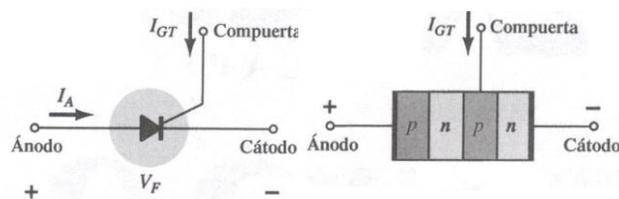


Figura 1.1 SCR

Esta clase de tiristores inician su conducción en sentido de la línea de alimentación, cuando se destina un pulso de disparo de corriente de la compuerta al cátodo, el dispositivo entra en conducción y para interrumpir este paso de corriente, sólo es necesario eliminar dicho pulso; en las Especificaciones Técnicas de Sistemas de Fuerza Ininterrumpible de PEMEX² obliga a los fabricantes a elaborar sus productos con rectificadores controlados por fase y que contengan una rectificación de onda completa mínimo de 6 pulsos.

1. **Electrónica de potencia**. MUHAMMAD H. RASHID; Pearson Educación, 2004.

2. **Especificación Técnica Sistema de Fuerza Ininterrumpible de Tecnología PWM**. PEMEX; GNT – SSNP – E003 – 2005.

O para reducir su distorsión eléctrica y contar con más potencia se realiza un puente de 12 pulsos, como se puede apreciar en las siguientes figuras.

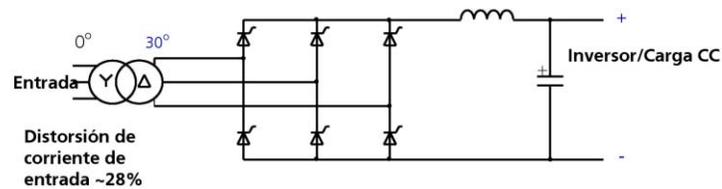


Figura 1.2 Rectificador 6 pulsos

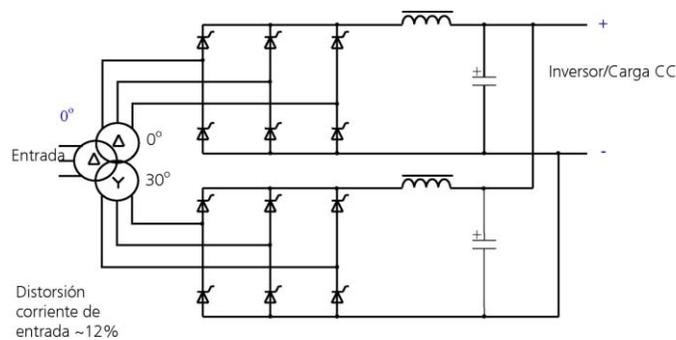


Figura 1.3 Rectificador 12 pulsos

Este Rectificador - Cargador se encuentra gobernado por un microprocesador el cual dictamina el orden de encendido y apagado así como los tiempos de conmutación diseñados para conseguir un voltaje de corriente continua preferente a las necesidades del sistema.

A la salida del Rectificador - Cargador se debe mantener un voltaje regulado y contar con un filtro RC para eliminar las perturbaciones eléctricas así como su nivel de armónicas, manteniendo a un valor de +/- 2% volts en RMS³ el valor del voltaje nominal y un factor de rizo predominantemente bajo.

3. **Norma de Referencia Sistemas Eléctricos de Emergencia.** PEMEX; NRF – 091 – PEMEX – 2007.

Por lo que el Rectificador - Cargador funciona como cargador del banco de baterías destinadas para la energía auxiliar en caso de falla, este elemento se destina a la alimentación del consumo constante de amperes en corriente continua de las baterías en reposo (Stand by) en dos regímenes de operación, y así llevarlas a una carga de igualación⁴ (recarga de batería), con lo que se consigue mantenerlas cargadas (carga de flotación)⁵ para cuando sea necesario emplearlas.

Además se cuenta con elementos como temporizadores programables de 0 a 100 horas, limitadores de corrientes ajustables entre el 90 y 125 % de la corriente nominal, lo que permite al Rectificador – Cargador operar a plena carga con una diferencia de potencial de entrada del +/- 10% del voltaje nominal y una frecuencia de +/- 5 Hertz con respecto a la frecuencia de entrada de 60 Hertz; cuando la corriente exceda el valor de ajuste, el equipo regula el voltaje de salida, con lo que cuenta con mecanismos y sensores encargados de emitir una señal de alarma y en ocasiones corte o disparo de señal para esta situación⁶.

Generalmente la capacidad de corriente de los cargadores asciende de 6 a 30 amperes en cargadores monofásicos y de 35 a 600 amperes para cargadores trifásicos.

4. Norma de Referencia Cargador y Banco de Baterías. PEMEX; NRF – 196 – Pemex – 2008.

5. idem

6. Norma de Referencia Sistemas Eléctricos de Emergencia. PEMEX; NRF – 091 – PEMEX – 2007.

Así que para poder calcular la corriente de salida de un cargador de baterías se puede utilizar la siguiente fórmula⁷:

$$A = \left[\frac{C_5 * F_c}{N} \right] + a(b)$$

Donde:

A = Capacidad de cargador de amperes.

C₅ = Capacidad de la batería en amperes-hora durante 5 horas.

F_c = Factor de sobre carga de las baterías

(1.2 para baterías de tipo Niquel-Cadmio).

N = Número de horas necesarias para realizar una recarga de baterías.

a(b)= Carga básica que debe alimentar el cargador.

Por otra parte el Rectificador – Cargador debe ser capaz de alimentar la carga total y recargar la batería desde condiciones de descarga total hasta el 75% de su capacidad en 8 horas de operación en requerimientos climáticos como lo son la altitud y la temperatura⁸.

En este conjunto también se cuenta con protecciones mínimas como son interruptores magnéticos contra entrada de corriente alterna, para protección de salida de corriente continua, protección de baterías y cuchillas desconectoras para dar mantenimiento.

Consta por otra parte de elementos que coadyuvan al monitoreo y control del cargador como son los instrumentos de medición (amperímetros, voltímetros) alarmas para fallas, cargas, fluctuaciones y disturbios eléctricos.

7. Norma de Referencia Cargador y Banco de Baterías. PEMEX; NRF – 196 – PEMEX – 2008.

8. Idem

Todos los componentes del conjunto de Rectificador – Cargador operan de una manera independientemente y para un sistema trifásico se puede operar y administrar energía hasta un 66% de la carga con la falla o pérdida en una de las tres fases de entrada; a este conjunto se le diseña con un factor de potencia igual o mayor al 0.8⁹.

1.2 Banco de Baterías.

Una vez convertida la señal de corriente alterna a corriente directa por el rectificador, el voltaje de salida es aplicado tanto como al inversor, como al cargador de baterías y a su vez, este cargador, se encarga de alimentar a las baterías cuando de ellas no depende la alimentación eléctrica, es decir cuando no hay falla en el suministro eléctrico.

En las baterías es donde yace la capacidad del sistema para sobreponerse a una falla en el suministro de energía y alimentar la carga destinada, evitando así más complicaciones.

Hay dos tipos de baterías empleadas, las de plomo ácido y las alcalinas, pero para una mejor eficiencia y respaldo es necesario utilizar baterías alcalinas de una aleación de hidróxidos de Níquel, como polo positivo y Cadmio como polo negativo (Ni-Cd), las cuales ofrecen mejores características comparables con las Baterías de Plomo ácido; una de ellas, y al parecer la más importante, es la conveniencia de que este tipo de baterías pueden ser descargadas en su totalidad y no sufrir ningún daño o cambio en sus celdas que la conforman, al igual que si reciben una polarización inversa permanecerá sin distorsión.

9. Norma de Referencia Sistemas Eléctricos de Emergencia. PEMEX; NRF – 091 – PEMEX – 2007.

Las baterías de Ni – Cd tienen una vida útil de 20 años lo que previene de muchos factores preventivos y genera un ahorro económico, evitando un despliegue de corrosión en sus terminales y garantizando la seguridad al manipularlas, con esto se puede operar e instalar un banco de baterías dentro de instalaciones en tierra firme o en plataformas marinas según donde el SFI sea instalado.

A su vez la mayoría de las baterías de Ni – Cd integran válvulas de baja presión que permiten incorporar los pequeños gases desprendidos por las celdas y recombinarlas con la sustancia electrolítica, lo que evita añadir agua para prolongar su vida útil. Operan a temperaturas que oscilan entre 0° C y los 40° C y se mantienen físicamente estables en temperaturas extremas como -50° C y 70° C¹⁰.

Este tipo de baterías contienen 1.2 Volts por cada celda y un voltaje al final de una descarga de aproximadamente 1.0 Volts y en casos de extrema temperatura 0.86 Volts.

Según las normas de referencia de petróleos mexicanos¹¹ la sustancia electrolítica es una solución acuosa de Hidróxido de Potasio (KOH), con una densidad que oscila entre 1.16 y 1.25 a temperatura de 25° C, así como Hidróxido de Litio (LiOH) mezclados con agua destilada o desionizada.

La capacidad de las baterías es expresada en Amperes-hora (Ah) por lo que debe ser referida a un tiempo de descarga de 5 horas, contando siempre con un rango de temperaturas de 20° C a 25° C.

10. Fuentes de la empresa Gutor – Alcad

11. **Norma de Referencia Cargador y Banco de Baterías**. PEMEX; NRF – 196 – PEMEX – 2008.

En la figura 1.4 se puede apreciar la construcción y disposición de una batería comercial de uso industrial.



Figura 1.4 Batería

Estas baterías son instaladas en soportes metálicos que previenen su desorden, facilitando su operación y mantenimiento, a este conjunto de soportes y baterías se le denomina Racks de baterías y el número de baterías instaladas dependerá de la potencia del sistema, un ejemplo de ello es la figura 1.5.



Figura 1.5 Rack de Baterías

1.3 Acondicionador de Línea.

El aumento de aparatos sensibles a las variaciones de voltaje provocó una demanda continua de dispositivos capaces de garantizar el suministro de un voltaje estable e independiente de las variaciones de la red de alimentación.

El acondicionador de línea también es conocido como transformador acondicionador de línea o transformador de aislamiento del rectificador, y algunos fabricantes lo denominan estabilizadores de tensión; utilizado para tener un aislamiento eléctrico de la fuente de alimentación alternativa y adecuar el voltaje de entrada al Rectificador – Cargador con lo que cuenta con supresores de onda en el lado primario y filtros en el secundario evitando efectos de armónicas y ruidos magnéticos.

Este transformador, según las disposiciones que se requieran para el SFI, puede ser tanto monofásico o trifásico, la conexión del transformador de tipo trifásico es Delta – Estrella ($\Delta - Y$), es de tipo seco y factores de protección que oscilan en $k = 13$ para las cargas que no sean lineales y protección de entrada a través de un interruptor termomagnético de 25kA de CC mínimamente, enfriamiento de aire-aire (A-A) con una variación de voltaje de entrada $\pm 10\%$ y una regulación de voltaje de $\pm 1\%$ bajo cualquier carga de 0 a 100%.

1.4 Inversor de Corriente de Tecnología PWM.

El sistema que se encarga de convertir un voltaje de corriente directa a una corriente alterna se le denomina inversor, la salida de voltaje deseada de un inversor se caracteriza por ser simétrica con magnitud y frecuencia determinada por la necesidad y la aplicación requerida.

En este elemento se encuentran dispositivos, capaces de generar una señal con características similares a una señal senoidal, que gracias a su alta velocidad de conmutación y su disponibilidad permiten eliminar las distorsiones que se pudieran generar y entregar una señal casi limpia proveniente de una energía almacenada en las baterías y se pueden encontrar inversores monofásicos e inversores trifásicos.

La modulación por ancho de pulso (PWM por Pulse Width Modulation) permite gobernar los dispositivos de conmutación del sistema inversor, la característica fundamental de esta modulación reside en que a un voltaje de entrada no variable ni controlable, como es el caso de la energía proporcionada por las baterías, se puede obtener un voltaje de salida variable con sólo modificar la ganancia del inversor la cual se define como la relación entre el voltaje de salida en corriente alterna y el voltaje de entrada de corriente directa o continua.

Así pues la característica del inversor y su eficiencia dependerán en gran medida de que tan calificada y óptima sea su modulación por ancho de pulso la cual se obtiene mediante diversos métodos, como lo menciona el autor MUHAMMAD H. RASHID en su obra Electrónica de potencia.

- Modulación por ancho de un solo pulso
- Modulación por ancho de pulsos múltiples
- Modulación por ancho de pulso senoidal
- Modulación por ancho de pulso senoidal modificado

Pero este trabajo sólo se enfocará a mencionar la modulación senoidal ya que es ella la utilizada e integrada en los sistemas de fuerza ininterrumpible de uso industrial.

El principio de operación de un inversor constituido básicamente por dos dispositivos conmutadores, para el caso de un inversor de medio puente, o cuatro dispositivos, para un inversor de onda completa y una fuente de corriente directa dividida por una rama de capacitores, figura 1.6, puede ser explicado de la siguiente manera; cada elemento conmutador permite que fluya la corriente a través de él de acuerdo a la señal de control aplicada en la terminal denominada compuerta, durante un tiempo, todo esto mediante la modulación por ancho de pulso y así otorgar a la carga una señal de salida, pero como se ve en la figura 1.7, no es conveniente ni parecida a una señal senoidal entrega por el sistema energético principal.

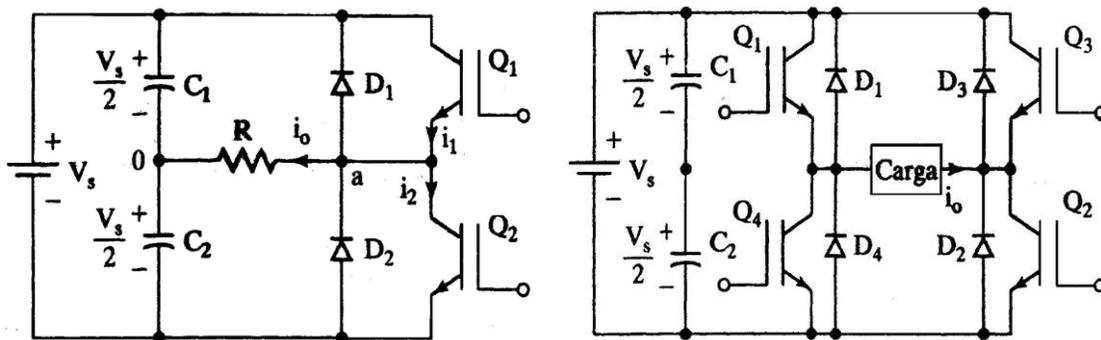


Figura 1.6 Inversor de ½ Puente y Puente Completo

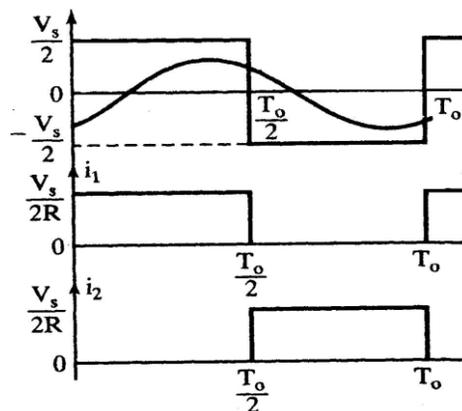


Figura 1.7 Voltaje de Salida del Inversor

1.4.1 Modulación por Ancho de Pulso Senoidal (SPWM).

En el método de PWM convencional las señales de disparo que provocan que los elementos de conmutación enciendan o apaguen para generar un voltaje de salida, son generadas comparando una señal de referencia, contra una señal portadora triangular, generada en las tarjetas de control, pero esta metodología, como se mencionó, entrega una señal con características semejantes a una onda cuadrada lo que provoca grandes armónicas y distorsiones eléctricas no deseables, figura 1.8.

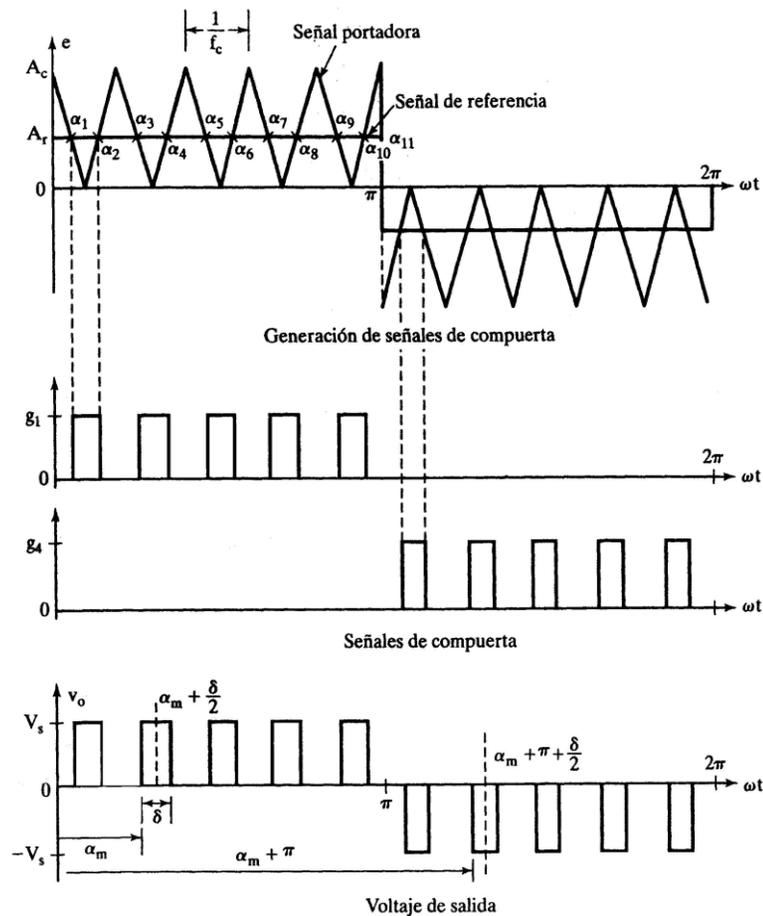


Figura 1.8 Modulación por Ancho de Pulso

Por lo que en la SPWM en lugar de mantener igual todos los anchos de pulso se hace variar el ancho de cada pulso en proporción con la amplitud de una

onda senoidal comparada en el mismo centro del pulso reduciendo considerablemente los parámetros de rendimiento del inversor.

Las señales de control se generan comparando una señal senoidal de referencia con una onda portadora triangular de frecuencia f_c , la frecuencia f_r de la señal de referencia determina la frecuencia f_0 de la salida del inversor, y su amplitud pico A_r controla el índice de la modulación de amplitud, definido como A_r entre A_c , y por ende el voltaje rms de salida V_0 .

Cuando se compara la onda portadora bidireccional v_{cr} con dos señales de referencia, v_r y $-v_r$, se producen las señales de disparo g_1 y g_4 , así el voltaje de salida es

$$V_0 = V_s (g_1 - g_4)$$

Pero g_1 y g_4 no se pueden liberar al mismo tiempo, por lo que la cantidad de pulsos por medio ciclo depende de la frecuencia de la portadora, en un inversor de dos dispositivos de conmutación no pueden conducir al mismo tiempo, ya que generaría un cambio extraordinario en la salida deseada; por lo que se generan las mismas señales de disparo con una onda portadora triangular unidireccional.

El algoritmo para la secuencia de disparo es:

1. Generar una señal portadora triangular v_{cr} de periodo de conmutación $T_s = T/2\rho$.
2. Comparar v_{cr} con una señal senoidal de referencia $v_r = V_r \text{ sen } \omega t$ para producir la diferencia $v_e = v_{cr} - v_r$, que debe pasar por un limitador de ganancia (atenuador) para producir una onda cuadrada con un periodo de conmutación T_s .
3. Para producir la señal de disparo g_1 , multiplicar la onda cuadrada que resulta por una señal unitaria v_2 .

4. Para producir la señal de disparo g_4 , multiplicar la onda cuadrada por una onda inversa de v_2 .

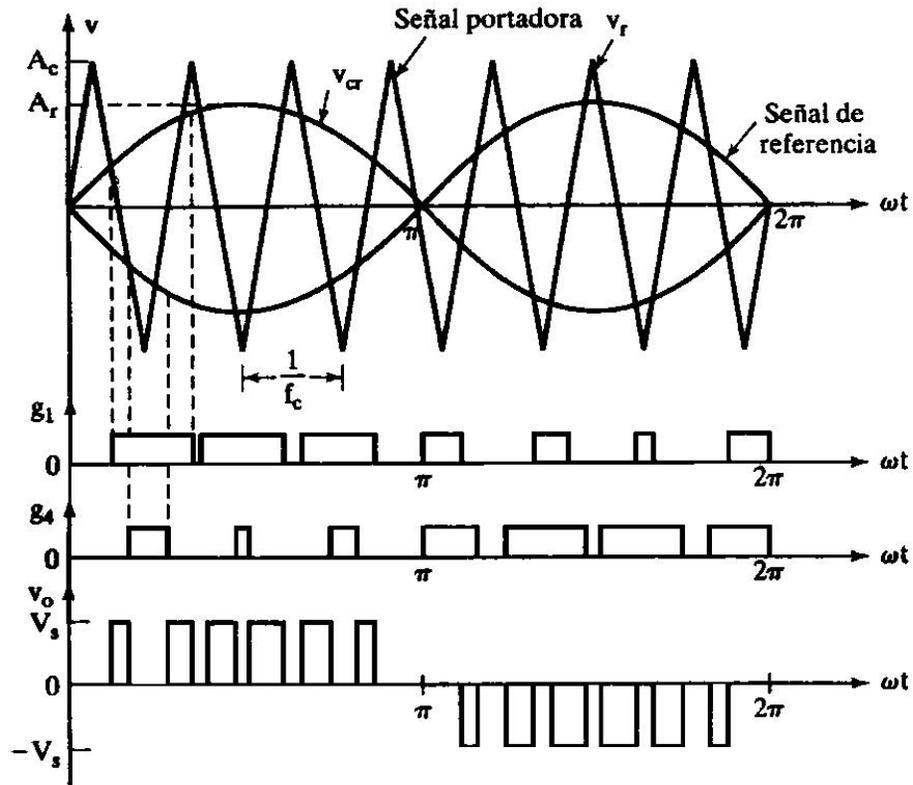


Figura 1.9 Modulación por ancho de Pulso Senoidal

Se puede apreciar en la figura 1.9 que el área de cada pulso corresponde aproximadamente al área bajo la onda senoidal entre los puntos medios aproximados de los periodos de apagado de las señales de disparo.

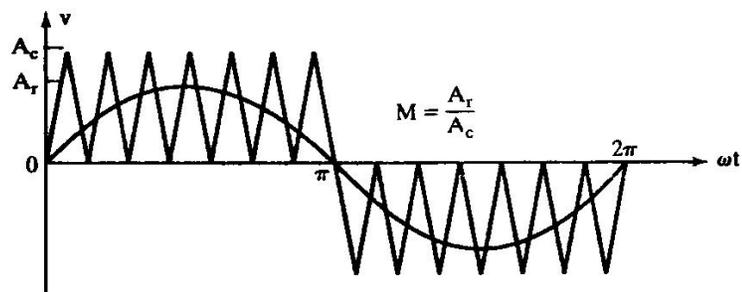


Figura 1.10 Índice de Modulación Senoidal

En el voltaje de salida de un inversor se tiene un nivel moderado de armónicas pero la PWM permite empujar éstas a una región de alta frecuencia entorno a la frecuencia de conmutación de la onda triangular y sus múltiplos, lo que permite eliminar las perturbaciones con un filtro pasa-baja.

1.4.2 Modulación por Ancho de Pulso Senoidal Modificada (MSPWM).

La MSPWM (por Modified Sinusoidal Pulse Width Modulation) se basa en aplicar la onda portadora durante los primeros y últimos intervalos de 60° por medio ciclo, que en un medio ciclo de 180° se aplicaría sólo de 0° a 60° y de 120° a 180° . Modificando así la modulación por ancho de pulso senoidal, figura 1.11, y trayendo como consecuencia un aumento en la componente fundamental mejorando el nivel de armónicas, reduciendo la cantidad de conmutación de los dispositivos, así como reduciendo las pérdidas de conmutación.

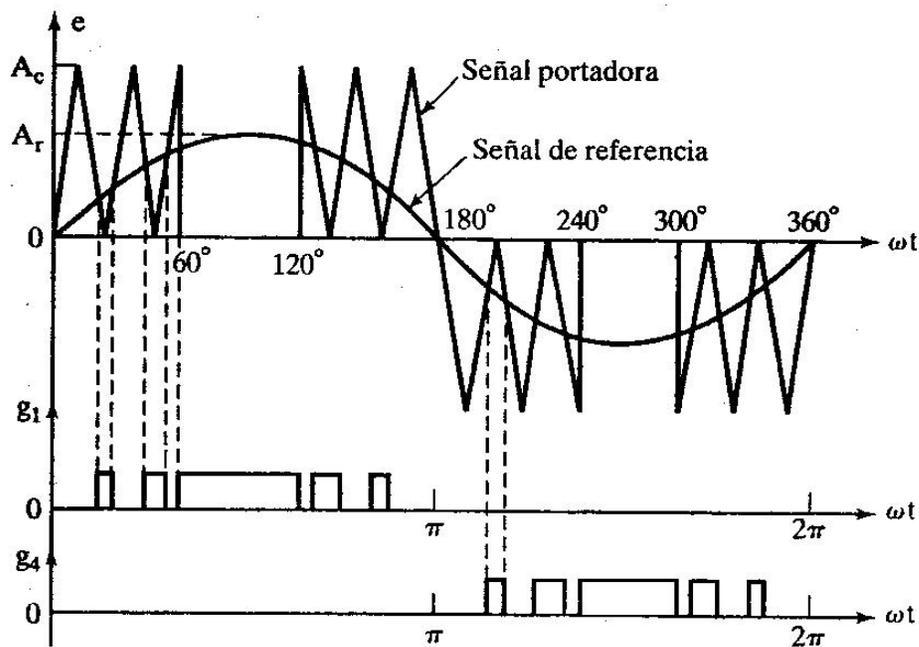


Figura 1.11 Modulación por Ancho de Pulso Senoidal Modificado

El algoritmo para generar las señales de compuerta es parecido al SPWM anterior, pero la señal de referencia es una onda senoidal empleada sólo de 60° a 120° .

Para inversores trifásicos no sólo es cuestión de manejar 3 inversores monofásicos y que la salida de cada uno de ellos es desplazada 120° , sino que las técnicas que más se usan en los inversores trifásicos son las siguientes:

1.4.3 PWM Senoidal trifásica.

Existen tres ondas senoidales de referencia, v_{ra} , v_{rb} , y v_{rc} desplazadas 120° . Se hacen comparar con una onda portadora correspondiente a una fase, generando así las señales de compuerta de esa fase. Comparando v_{cr} con las fases de referencia v_{ra} , v_{rb} , y v_{rc} respectivamente, se producirá g_1, g_3 y g_5 , dando como resultado el voltaje de salida instantáneo $v_{ab} = V_s(g_1 - g_3)$, figura 1.12.

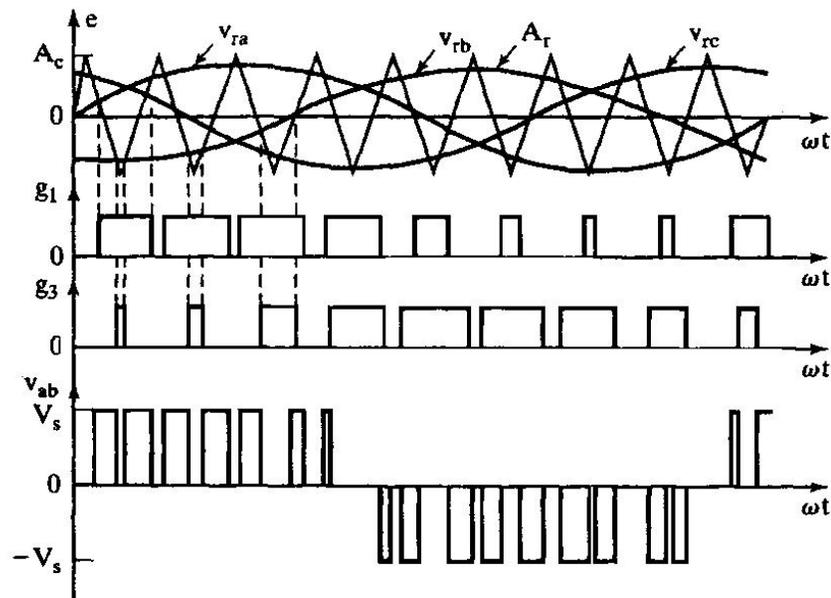


Figura 1.12 PWM Senoidal Trifásica

El voltaje de salida se genera eliminando la condición de que dos dispositivos de conmutación en el mismo ramal no puedan conducir al mismo tiempo, pero la frecuencia portadora normalizada m_f debe ser múltiplo impar de tres, para que todos los voltajes de fase sean idénticos y desplazados 120° y con la característica de la ausencia de armónicas pares.

1.4.4 PWM de 60° y con Tercera Armónica.

La PWM de 60° , figura 1.13; es muy parecida a la MSPWM ya que su concepto de mantener achicada la onda desde 60° hasta 120° y posteriormente de 240° a 360° , es decir eliminar los picos de onda; permite que los dispositivos conmutadores se mantengan encendidos durante un tercio del ciclo con pleno voltaje y reduciendo sus pérdidas, las armónicas 3^a , 9^a , 15^a , 21^a , 27^a (múltiplos de tres), están ausentes en los voltajes trifásicos.

Esta modulación permite tener una onda fundamental mas grande ($2/\sqrt{3}$) y usa más del voltaje disponible proveniente en CD (aprox. $V_p = 0.57735 V_s$) y un voltaje de línea igual al de salida ($V_L = V_s$).

La PWM con tercera armónica, figura 1.14, se genera inyectando a la onda de referencia una armónica seleccionada y se implementa como PWM senoidal trifásica, pero la onda de CA no es senoidal, sino que consiste en una componente fundamental y una componente de tercera armónica, que da como resultado que la amplitud de pico a pico de la onda de referencia que resulta no rebasa el voltaje de alimentación de CD V_s , y resulta mayor al voltaje de alimentación disponible.

Al inyectar una tercera armónica permite obtener una componente de ésta en cada fase y así anularla al final, dando finalmente voltajes de fase a neutro senoidales con una amplitud de pico $V_p = V_s / \sqrt{3} = 0.57735 V_s$ al igual

que la componente fundamental; el voltaje de pico de línea es $V_L = \sqrt{3}V_p = \sqrt{3} \cdot 0.57735 V_s$ y todo esto resulta mayor a un 15.5% en amplitud que la PWM senoidal trifásica anterior¹².

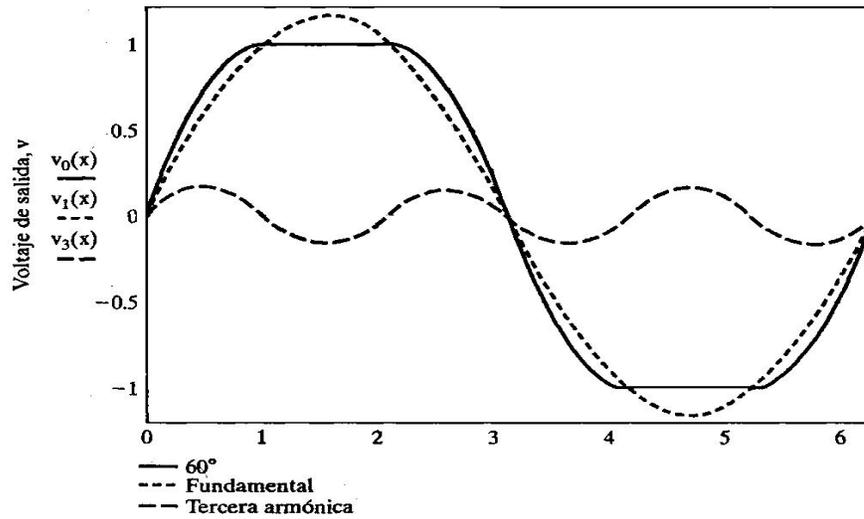


Figura 1.13 PWM de 60°

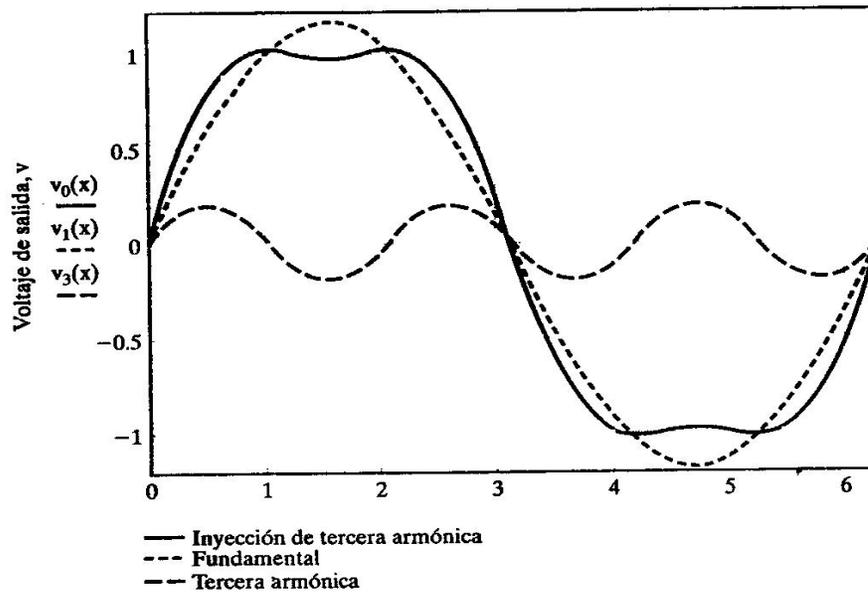


Figura 1.14 PWM con Tercera Armónica

12. Electrónica de potencia. MUHAMMAD H. RASHID; Pearson Educación, 2004.

En todos los métodos de PWM que se mencionaron se toman en cuenta los parámetros de rendimiento, éstos parámetros son los indicadores de la calidad de un inversor, por lo que es importante mencionarlos.

1.4.5 Parámetros de Rendimiento.

1.4.5.1 Factor armónico de la n-ésima armónica (HF_n). El factor armónico HF_n es una medida de contribución individual de esa armónica definida como:

$$HF_n = \frac{V_{on}}{V_1} \text{ para } n > 1$$

Donde: V_1 = valor rms de la componente fundamental

V_{on} = valor rms de la n-ésima componente armónica.

1.4.5.2 Distorsión Armónica Total (THD). Este parámetro se define como la coincidencia de formas entre una onda y su componente fundamental calculada como:

$$THD = \frac{1}{V_1} \left(\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_{on}^2 \right)^{1/2}$$

Así la THD expresa el contenido total de armónicas, pero no indica el nivel de cada componente armónico, por lo que es conveniente conocer su magnitud, para poder atenuarlas.

1.4.5.3 Factor de Distorsión (DF). El DF indica la cantidad de distorsión armónica impregnado en cada determinada forma de onda después de ser sometida a un filtro de segundo orden, es decir dividir las entre n^2 y se define como:

$$DF = \frac{1}{V_1} \left[\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} \left(\frac{V_{on}}{n^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Y el DF de cada armónica individual se expresa como:

$$DF_n = \frac{V_{on}}{V_1 n^2} \text{ para } n > 1$$

1.4.5.4 Armónica de Orden más Bajo (LOH). Este parámetro es aquel componente armónico cuya frecuencia se acerca más a la de la componente fundamental, y su amplitud es mayor o igual al 3% de la fundamental.

Lo que se menciona anteriormente solo se trata de la forma de comportarse un sistema PWM, pero esta modulación no tendría tanto éxito sin la tecnología de sus dispositivos de conmutación, por lo que una parte fundamental de los inversores es la calidad de estos semiconductores.

El sistema inversor esta compuesto por dispositivos conmutadores a base de transistores de potencia denominados transistores bipolares de puerta aislada IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), estos son elementos sencillos y aplicados como interruptor controlados en circuitos de electrónica de potencia, pero tienen la capacidad de resistir a voltajes bipolares. Este dispositivo posee las características de las señales de puerta de los transistores de efecto campo (FET) con la capacidad de alta corriente y voltaje de baja saturación del transistor bipolar (TBJ), combinando una puerta aislada del FET para la entrada de control y un transistor bipolar como interruptor en un solo dispositivo, figura 1.15

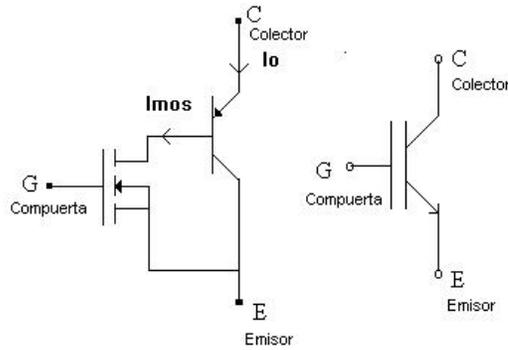


Figura 1.15 Igbt

Además cuenta con capacidades de corriente desde 25 Amperes hasta 2400 Amperes, y voltajes comerciales desde 120 Volts hasta 6000 Volts, y manejar una frecuencia máxima de 100 kHz y un tiempo de conmutación desde 5 a 10 μs ¹³.

Este es un dispositivo para la conmutación en sistemas de alta tensión. El voltaje de control de la puerta es de alrededor de 15 Volts. Esto ofrece la ventaja de controlar sistemas de potencia aplicando una señal eléctrica de entrada muy débil en la compuerta de control.

Además de estos elementos el inversor proporciona una regulación de voltaje de +/- 1% bajo cualquier condición de carga y voltaje de entrada.

1.5 Interruptores.

El Sistema de fuerza ininterrumpible no solo debe contar con componentes capaces de realizar la función para la cual fueron empleados, sino contará con mecanismos que permitan ayudar a realizar estas funciones; los interruptores y switches que se utilizan realizan entonces las “maniobras” necesarias para que el SFI este en un nivel óptimo y realice su tarea destinada.

13. Electrónica de potencia. MUHAMMAD H. RASHID; Pearson Educación, 2004.

1.5.1 Interruptor Estático de Transferencia Automática.

Cuando el voltaje de descarga dentro del banco de baterías es alcanzado o una falla dentro del sistema inversor ocurra, el SFI debe mantener una ininterrupción de alimentación en la carga, es por ello que transfiere la carga a la línea alternativa de alimentación de forma automática, este elemento es el que permite realizar dicha acción, al interruptor de transferencia también se le denomina “by pass electrónico interno”; y se compone de tiristores denominados SCR (mencionados anteriormente) conectados espalda con espalda, figura 1.16.

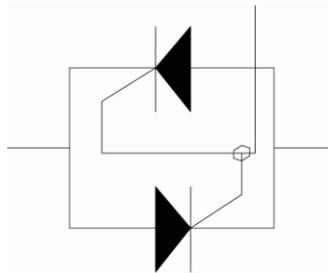


Figura 1.16 Interruptor Estático

En ambas fuentes de energía se instalan y son capaces de soportar una sobrecarga de 1000% de la corriente nominal por 10 milisegundos¹⁴, la velocidad de transferencia oscila en 0.0041667 aproximadamente o ¼ de ciclo.

Por ende este interruptor también permite poner en marcha al SFI y alimentar la carga crítica si hay una interrupción de energía, además de estas situaciones el control lógico que gobierna a estos dispositivos debe mandar a actuar al interruptor cuando se presente fallas en el inversor, cuando haya presencia de una sobrecorriente en el inversor, así como actuar cuando hay un voltaje de salida del inversor superior o de igual magnitud al +/- 10% del valor nominal y desconectar el SFI cuando se detecte un bajo voltaje de corriente continua o un corto circuito.

14. Norma de Referencia Sistemas Eléctricos de Emergencia. PEMEX; NRF – 091 – PEMEX – 2007

1.5.2 Interruptor Manual de by pass Interno de Transferencia.

Para efectos de mantenimiento en el SFI se debe contar con un mecanismo que permita desconectar el sistema de la carga sin necesidad de tener la asistencia del Interruptor Estático para asegurar la interrupción a la carga, este Interruptor Manual de puenteo (by pass) es un interruptor de modo manual para la transferencia de la carga a la fuente alternativa o línea de alimentación principal y facilitar el mantenimiento del SFI, este interruptor debe cerrar antes de abrir para asegurar la transferencia, es decir es de tipo tambor rotatorio permitiendo la transición cerrada.

1.5.3 Interruptor Manual Externo para Mantenimiento.

Este tipo de interruptor al igual que el anterior permite dar mantenimiento al SFI en una forma íntegramente manual, pero este se aloja de manera independiente fuera del sistema y es monofásico o trifásico dependiendo de las características del sistema, a su vez esta en relación a los voltajes y corrientes manejados, se compone principalmente de un interruptor tipo giratorio, así como un interruptor termomagnético de entrada de la fuente, y esta sincronizado con las dos fuentes de alimentación.

1.6 Sistemas de Alarma, Monitoreo, Control y otros.

Un Sistema de Fuerza Ininterrumpible no puede permanecer sin un monitoreo, rastreo de trabajo y sobre todo protecciones para que no pongan en peligro al personal que labore cerca de este o arriesgue la producción industrial, es por ello que dentro de todos los componentes que conforman a este sistema es importante mencionar aquellos que prevén alguna contingencia o eliminan patrones no deseados en la operación y manejo de un SFI.

1.6.1 Protecciones

El SFI cuenta con interruptores termomagnéticos de entrada de corriente alterna tanto como para la línea principal como para la alternativa y un interruptor termomagnéticos de corriente directa o continua para el banco de baterías.

1.6.2 Alarmas e Indicadores

Los SFI's cuentan con tarjetas de control que no sólo ayudan para el sistema PWM, sino que indican el estado de todos los componentes, poseen pantallas de LCD o digitales y/o paneles mímicos, que indican los flujos de la energía, condición de operación, tiempo de respaldo de baterías e indicación en porcentaje de la carga utilizada; también se pueden encontrar sistemas con pantalla, teclado y con medidores eléctricos (como voltímetros, amperímetros, factor de potencia, entre otros) para denotar y medir eventos fuera de lo normal, voltaje de entrada y salida hacia al rectificador o hacia el inversor (CA o CD, respectivamente), amperes de entrada proveniente del banco de baterías y así como la frecuencia de entrada y salida que es primordial para la sincronización del inversor con el sistema de alimentación principal.

El sistema de alarma se hace con indicadores luminosos y sonoros; la alarma denota eventos como fallas en la alimentación principal, fallas en la fuente de respaldo, fallas en el sistema de enfriamiento, bajo voltaje, uso del banco de baterías, fallas tanto en el cargador de baterías y en el inversor, sobrecargas en las baterías, sobre cargas en la salida y otros eventos especiales dependiendo de las necesidades del SFI.

Las alarmas luminiscentes son tipo LED (Light Emission Diode) de alta luminosidad y protegidos contra destello por picos de voltaje.

1.6.3 Otros Elementos.

Además de contar con todo lo anterior se disponen también en este tipo de Sistemas de uso industrial, puertos de comunicaciones y control como puertos de salida RS- 232, definido como un protocolo internacional de transmisión serial entre dos dispositivos utilizando señales de voltaje para comunicarse a una distancia no mayor de 15 metros; otro puerto que se anexa es el RS-485, este protocolo de comunicación se base en un método diferencial que permite enlazar a 32 dispositivos y comunicarlos sobre un mismo canal a una distancia no mayor de 1200 metros.

El SFI cuenta con software de monitoreo y diagnóstico, con protocolos de comunicación modbus (protocolo de comunicación en lenguaje estructurado manejando maestro y esclavo) y Ethernet TCP/IP (topología de red local basada en la norma IEEE – 802.3, Protocolo de Control de Transporte / Protocolo Internet) y memorias en la tarjeta de control para almacenar los últimos eventos (aproximadamente 100) ocurridos en el SFI.

Y finalizando con elementos importantes que integran un SFI, el sistema de enfriamiento destaca por su necesidad de mejorar el ambiente interno en el cual se integra el Sistema de Fuerza Ininterrumpible, ya que consiste en un ventilador que se acciona mediante una señal en la tarjeta de control y donde es monitoreado, este elemento recircula el aire interno y proporciona mejores condiciones de operación dentro del SFI.

1.7 Diagrama a Bloques de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.

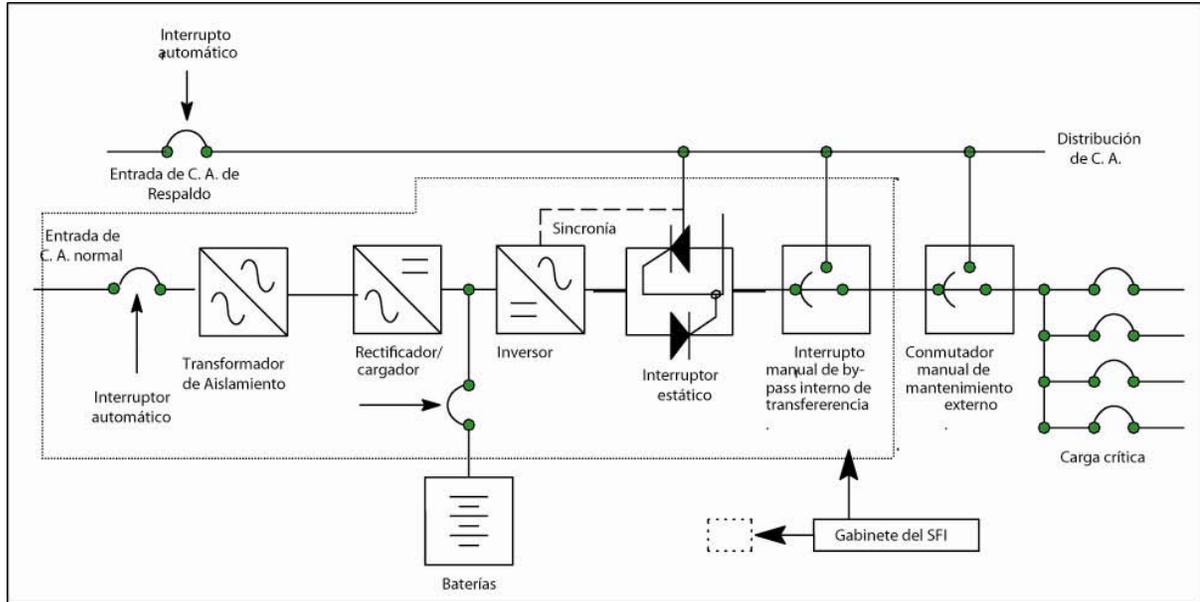


Figura 1.7 Diagrama a Bloques

1.8 Estructura Física de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.

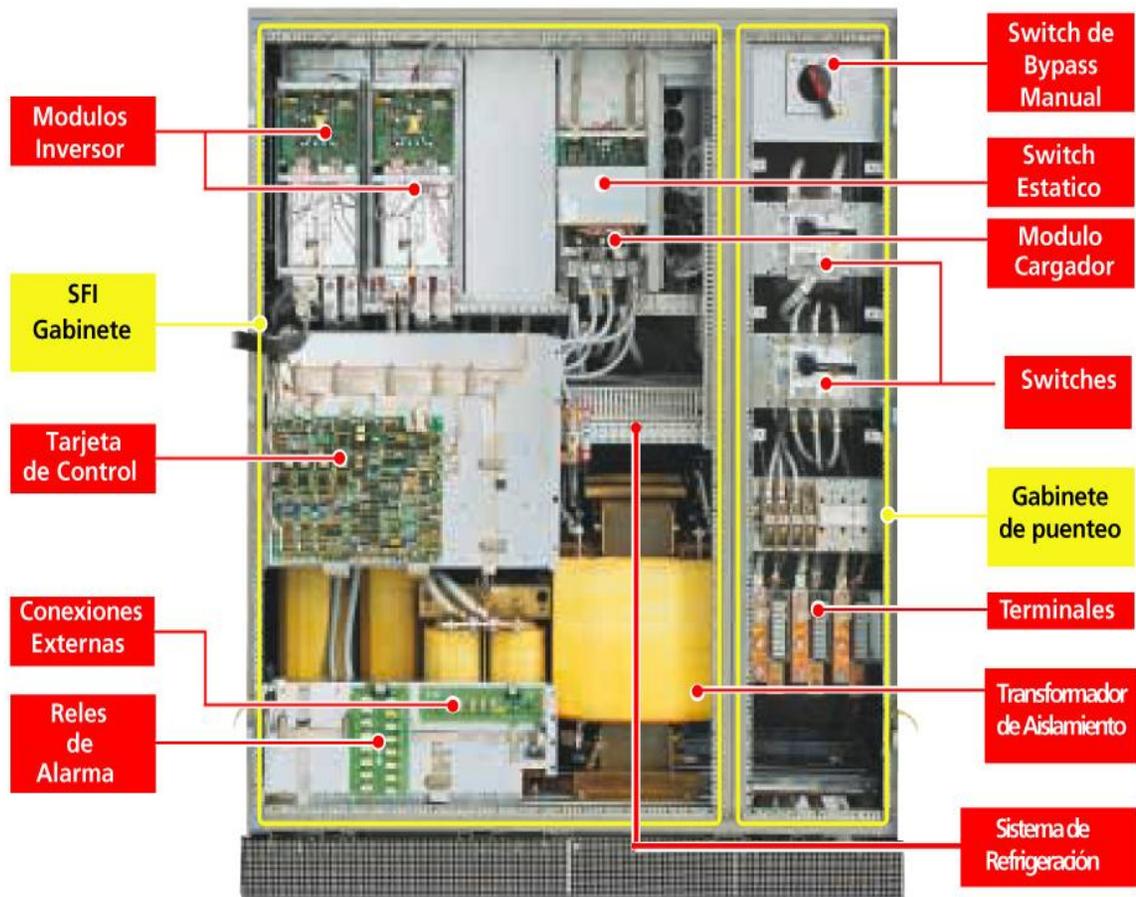


Figura 1.18 SFI Industrial

CAPITULO 2

Sistemas, condiciones y requerimientos de operación de un SFI.

2.1 Operación del Sistema de Fuerza Ininterrumpible.

En base a lo descrito en el capítulo anterior, el SFI debe entregar energía eléctrica alterna, regulada, continua, libre de distorsiones eléctricas y armónicas, aún alimentado cargas no lineales. De la figura 1.18 se observa que físicamente el SFI se compone de dos partes la parte donde se convierte y almacena la energía y la parte que se encarga de “tomar las decisiones” para que la energía provenga o no del SFI denominado módulo de puenteo o by pass; así este sistema proporciona la doble conversión de corriente alterna a corriente directa o continua (CA-CC) mediante los rectificadores de 6 ó 12 pulsos y viceversa mediante el módulo inversor con base en IGBT (CC-CA); el SFI puede trabajar tanto conectado a la carga, con una operación en línea donde la carga esta en contacto directo y alimentada por el inversor y con la batería conectada a la entrada del inversor o ser transferido a esta automáticamente, en el caso de que el sistema de baterías se encuentre descargado o existiera ausencia de ellas, el SFI funciona como filtro de línea eliminando ruidos, picos de tensión, flotaciones de voltaje que generalmente son provocadas por variadores de frecuencia, equipo de computo, arrancadores de estado sólido; otorgando así una calidad energética a cargas muy sensibles a ellas.

La salida del módulo inversor esta sincronizada con la fuente alternativa, es decir si la fuente alternativa se encuentra fuera del rango de frecuencia de alrededor de +/- 1%, el inversor opera a la frecuencia nominal de salida haciendo uso de su oscilador interno, esto también se logra al utilizar el microprocesador integrado en la tarjeta de control del SFI, que gracias al software instalado permite monitorear, retroalimentar la salida y

compararla con la modulación PWM, para así emitir una forma de onda correspondiente y sincronizada con el sistema de energía alterna o principal.

Este software (Firmware como los fabricantes lo llaman) depende en mucho de que tan sofisticado sea la programación de este, así como el trabajo y diseño de la empresa, pero básicamente consiste en comparar la salida con la entrada mediante la obtención de fasores y vectores eléctricos de las señales de salida y entrada, estos vectores pueden ser los arrojados ya sea por voltaje, corriente, ángulos eléctricos y/o frecuencia.

El primordial desempeño de un SFI es cuando existe una interrupción o restauración de energía a la entrada de CA hacia el rectificador y/o hacia la fuente alternativa, es capaz de alimentar la carga crítica a través del banco de baterías sin ninguna interrupción.

Los criterios para transferir la alimentación al SFI con el sistema de puenteo además de la ausencia de energía, es el sincronismo donde la frecuencia del sistema de puenteo (by pass) oscila en el +/- 6% de la frecuencia nominal de operación y el voltaje de puenteo (By pass) debe de estar dentro del +/- 10% del índice de voltaje de salida del SFI, la carga sólo podrá ser transferida por el sistema de puenteo siguiendo estos criterios.

En el caso de una transferencia automática de la carga al sistema principal, puede iniciar cuando el voltaje de salida del modulo inversor llegue al 90% del valor nominal, antes de que el valor de salida del inversor sea del 88% del valor nominal, a su vez si el valor de salida del inversor excede el 110% del voltaje nominal se realiza la transferencia antes de que el valor llegue al 112%, por otro lado existe la transferencia cuando es rebasado el valor de la corriente de alimentación.

Para retransferir la carga del switch estático de puenteo hacia al inversor, el valor del voltaje de salida del inversor debe de estar dentro de +/- 5% del voltaje nominal de salida por más de tres segundos, de igual manera debe existir una sincronía entre ambos elementos y por supuesto si hay una falla ocurrida dentro del módulo inversor deberá ser reparada, estos eventos deben tratarse de llegar a su éxito al menos 8 veces en dos minutos, sino se consigue la retransferencia la carga seguirá alojada en el sistema de puenteo; el SFI puede ser puenteado también desde el switch manual manteniendo estos criterios.

Otra situación por la cual existe una transferencia automática a la alimentación alternativa es cuando el nivel de voltaje de las baterías alcancen una situación extrema de descarga (menor a 1.0 volt por celda electrolítica).

El SFI previene de una conexión accidental entre la alimentación principal y la alternativa por medio de un bloqueo mecánico y eléctrico en el sistema de puenteo, al igual que el voltaje de salida del interruptor estático de transferencia se mantiene aun cuando hay presencia de una falla en los circuitos lógicos de control.

2.2 Características y Requerimientos Eléctricos.

Por convención de PEMEX así como de los fabricantes proveedores de SFI, los sistemas monofásicos comprenden valores de potencia de 5 a 50 KVA y de 10 a 100 KVA para sistemas trifásicos¹⁵, para el caso de instalaciones con actividades petroleras en el país, los transformadores también esta diseñados y usados para este rango de potencia; así la determinación de que un SFI pueda ser monofásico o trifásico dependerá del voltaje y numero de fases donde el sistema sea requerido y por supuesto de la carga a alimentar.

15. Especificación Técnica Sistema de Fuerza Ininterrumpible de Tecnología PWM. PEMEX; GNT – SSNP – E003 – 2005.

Aunque la potencia podría salir de estos rangos; los voltajes y características eléctricas utilizados en un SFI de tipo industrial son:

Alimentación de línea normal:

- 480 volts CA, +/- 10%, 3 fases, 3 hilos, 60 Hz +/- 5 %.

Alimentación de línea alternativa para SFI con salida monofásica:

- 127 V c.a., +/- 10%, 1 fase, 2 hilos, 60 Hz +/- 5%.
- 220 V c.a., +/- 10%, 2 fases, 2 hilos, 60 Hz +/- 5%.
- 480 V c.a., +/- 10%, 2 fases, 2 hilos, 60 Hz +/- 5%.

Alimentación de línea alternativa para SFI trifásico:

- 220 V c.a., +/- 10%, 3 fases, 3 hilos, 60 Hz +/- 5%.
- 480 V c.a., +/- 10%, 3 fases, 3 hilos, 60 Hz +/- 5%.

Voltaje de salida:

- 127 volts CA, +/- 1%, 1 fase, 1 neutro, 1 tierra, 60 Hz +/- 0.1%.
- 220 volts CA, +/- 1%, 3 fases, 1 neutro, 1 tierra, 60 Hz +/- 0.1%.
- 480 volts CA, +/- 1%, 3 fases, 1 tierra, 60 Hz +/- 0.1%

Para SFI con salida trifásica, la alimentación al equipo debe ser trifásica y con el mismo rango de tensión de salida; pero hay ocasiones donde la alimentación es monofásica y se otorga una salida trifásica conectando tres inversores a la salida.

La regulación estática de voltaje es de +/- 1% en un rango de 0 – 100% de la carga y la dinámica es de +/- 2% de 0 – 100% y viceversa. La distorsión armónica (THD) tiene un 3% en cargas lineales y 5% máximo total

en cargas no lineales¹⁶ y el rango del factor de potencia del inversor oscila de 0.7 al 1 y un factor de cresta (cociente entre el valor máximo instantáneo del voltaje o de la corriente y el valor eficaz del voltaje o la corriente) de 3.

De igual manera el SFI esta diseñado para que el tiempo promedio entre fallas (MTBF) mínimo requerido es de 155 000 h (algunos SFI industriales alcanzan el nivel preventivo recomendado de 200 000 horas) del inversor con una eficiencia de conversión de CA-CA del 79% a 84% en salida monofásica y 83% a 88% con salidas trifásicas.

El sistema en CD se caracteriza por tener los siguientes voltajes de salida:

Voltaje Nominal [Vcd]	Voltaje Máximo	Voltaje Mínimo
12	13.98	10.5
24	27.96	21
48	55.92	42
120	139.8	105
240	279.6	210
360	419.4	315
480	559.2	420

Aplicados según la carga o disposición energética para el SFI instalado y diseñado; aunque si se aplica a una carga de telecomunicaciones el voltaje de ruido eléctrico¹⁷ no debe ser mayor de 1 mV medido en los bornes de las baterías para voltajes iguales o menores a 100 Vcc ó Vcd, para valores superiores a estos voltajes no debe exceder de 100 mV medidos.

Para la tarjeta de control se usan dos alimentaciones una proveniente del rectificador y el by pass y otra por las baterías para mejor disponibilidad y dependabilidad.

16. IEC 62040-3. International Standard, Part 3, Method of Specifying the Performance and Test Requirements
 17. Norma de Referencia Sistemas Eléctricos de Emergencia. PEMEX; NRF – 091 – PEMEX – 2007.

2.3 Otras Características y Requerimientos

El Sistema de Fuerza Ininterrumpible puede llegar a estar diseñado en altas capacidades de potencia y generar mucho ruido, es por eso que un SFI de tipo industrial y utilizado en sistemas petroleros no debe de exceder su nivel de ruido en 65 decibeles a 1 metro de distancia.

Así mismo en condiciones ambientales el SFI opera a una temperatura ambiente de -10 a 40° C, con una humedad relativa de 10% al 95% sin condensación.

2.4 Configuraciones de Operación.

Un SFI puede trabajar y debe trabajar según los requerimientos de la industria donde sea instalado o las características de la carga, así en este apartado se trata de explicar los principios de operación de cada una de las configuraciones más utilizadas e implementadas en la industria.

2.4.1 Unidad de SFI Estática Sencilla.

Este tipo de sistema cuenta con lo mínimo requerido para un sistema de alimentación. Así mismo es usado para construir arquitecturas multimodulares más complejas.

2.4.1.1 Descripción del Funcionamiento: la figura 2.1 ilustra el funcionamiento principal de un SFI con su sistema de puenteo (By-pass). El rectificador convierte las energía de AC en CD o CC; el circuito de DC intermedio comprende del banco de baterías que funciona como almacenador de energía, que continuamente se mantiene cargado por el rectificador siempre y cuando este reciba alimentación energética. Este circuito es el que alimenta al inversor, el cuál es la siguiente etapa de conversión. El rectificador se encarga de hacer la conversión de energía en DC o CC a AC. El switch estático conecta o desconecta el inversor con la

salida del SFI. Una salida monofásica o trifásica son configurables individualmente.

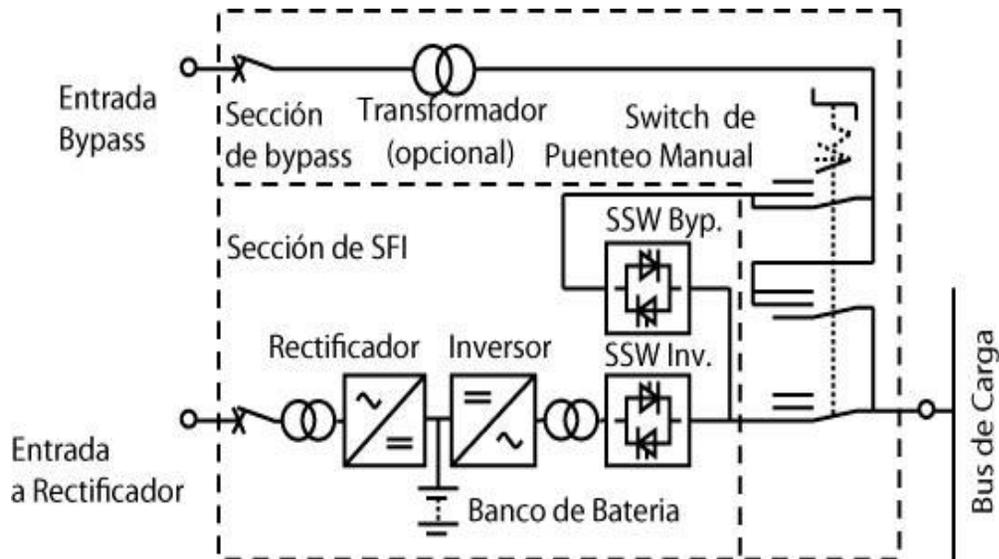


Figura 2.1 Configuración Sencilla de un SFI.

La entrada del sistema de puenteo esta ligada con un transformador opcional que hace juego con el segundo switch estático de transferencia normalmente abierto y en la salida del SFI.

El inversor esta continuamente sincronizado con el voltaje de puenteo (By-pass) tanto tiempo como la calidad del voltaje lo permita; esto ayuda a una conversión ininterrumpida desde el inversor hasta la fuente que proviene del By-pass en caso de alguna sobrecarga, un mal funcionamiento del inversor o por mantenimiento dado al sistema.

2.4.1.2 Modos de Operación:

Existen 3 modos de operación principalmente:

- a) **Operación Normal (1^{era} Prioridad).**- el rectificador e inversor estan en operación y alimentan la carga a través del cierre del interruptor

estático al igual que con el switch manual de puenteo. Las baterías son mantenidas en carga completa. El circuito de puenteo esta típicamente energizado con el switch estático abierto. Este modo es llamado de igual manera operación en línea (on - line operation) y se mantiene así lo más que se pueda.

- b) **Operación por Batería (2^{nda} Prioridad).**- el rectificador se desenergiza por una falla en el sistema de alimentación principal. Las baterías ahora alimentan al inversor mientras se descargan. La carga esta alimentada a través del inversor continuamente con energía de calidad y la circuitería del By-pass puede estar disponible o no. Este último impedirá una interrupción al transferir la carga a la línea alternativa al finalizar el trabajo con el banco de baterías.
- c) **Operación de Puenteo o By – Pass (3^{era} Prioridad).**- la carga esta directamente alimentada por la línea alternativa o principal a través del sistema de puenteo con el interruptor estático y/o con el interruptor manual de puenteo. El rectificador e inversor pueden estar en funcionamiento pero no alimentan más a la carga, la operación de puenteo será considerada sólo como operación de emergencia (baterías descargadas, falla en el inversor, corto circuito); la calidad de la energía proporcionada a la carga dependerá de la alimentación alternativa o principal. A menos de que el sistema tenga que ser obligado a cambiar a través del sistema manual, este modo de operación resulta el de más bajo nivel de prioridad y debe ser usado en la menor posibilidad posible.

2.4.2 Unidad de SFI Estática Redundante Paralela.

Un sistema redundante paralelo se compone de al menos dos módulos (pudiéndose conectar en algunas situaciones alrededor de 9 módulos) de SFI's con salidas paralelas. Esto permite un significativo

incremento en la disponibilidad del sistema y mejora la capacidad energética en situaciones de sobrecargas o corto circuitos.

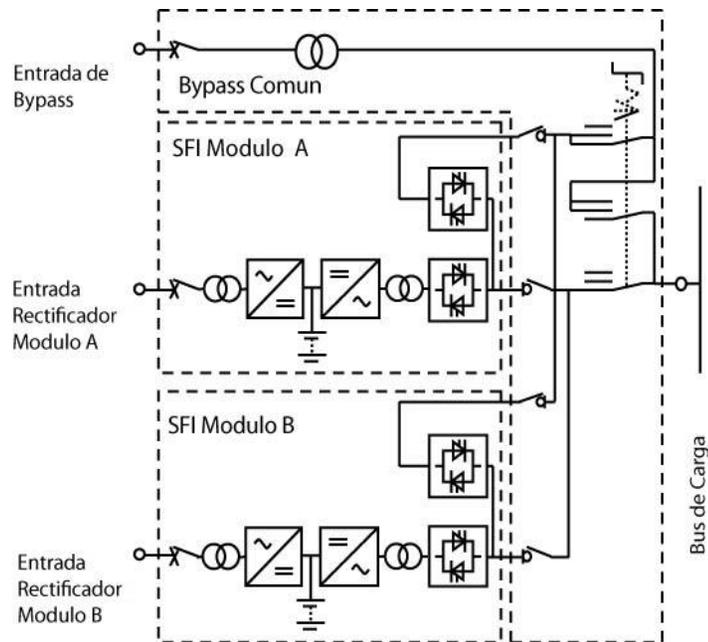
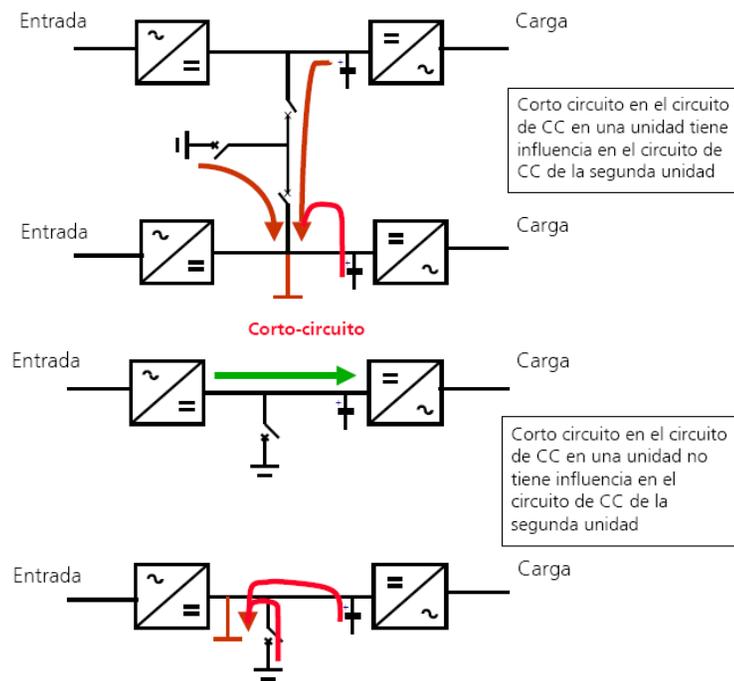


Figura 2.2 Configuración Redundante de un SFI.

Los dos módulos de SFI tienen la misma prioridad y comparten la carga en un 50% del total y sólo existe un circuito de By – pass común, que está distribuido a través de 2 interruptores estáticos, al igual que se puede realizar la transferencia con el sistema manual. Dos líneas de comunicación juntas están asociadas con el control, la ganancia sobre la carga y la sincronía entre los módulos, así como de su sistema de puenteo o By – pass.

Todas las operaciones del SFI están igualmente coordinadas e incluso se puede hacer uso de un banco de baterías en común, pero eventualmente se opta por un banco de baterías individual para evitar el peligro de que una batería o banco actúe como punto de falla común (figura 2.3).



Corto-circuito
 Figura 2.3 Baterías en Falla común.

2.4.2.1 Modos de Operación:

- Operación Normal:** Cada parte del total esta disponible con su tolerancia en el sistema de fuerza. Ambos rectificadores e inversores comparten la carga total. El sistema de puenteo esta en espera (Stand-by) y actúa como una fuente de sincronización.
- Falla Energética en la Entrada de un Módulo:** el módulo donde se origina la falla traslada su carga al sistema de puenteo mientras el otro, acarrea el total de la carga (por ello ambos módulos deben estar diseñados para trabajar con potencia similares y repartida).
 No se transfiere la carga hasta que los interruptores de transferencia así lo demanden, con lo que se mantiene el voltaje total de las baterías.
- Falla Energética en la Entrada de los dos Módulos:** Ambos módulos hacen uso del banco de baterías simultáneamente, descargando el rack de baterías deliberadamente al 50% del total. En

coordinación con el sistema de puenteo, se hace la transferencia a la alimentación principal o alternativa si la capacidad de las baterías llega a su punto de descarga.

- d) **Falla Eléctrica en un Módulo:** El módulo en falla es puesto inmediatamente en modo espera (Stand-by) mientras que el otro toma la carga sin disturbios.
- e) **Condición de Sobrecarga:** Ambos módulos son capaces de mantener cada uno al 100% la energía a la carga con lo que juntos se logra el 200% de toda la potencia. En caso de que esta sobrecarga exceda el 200%, entonces tendrá lugar la transferencia ininterrumpida por parte del sistema de puenteo mediante la acción de cerrar ambos interruptores estáticos de transferencia simultáneamente.

2.4.3 Unidad de SFI Estática Dual:

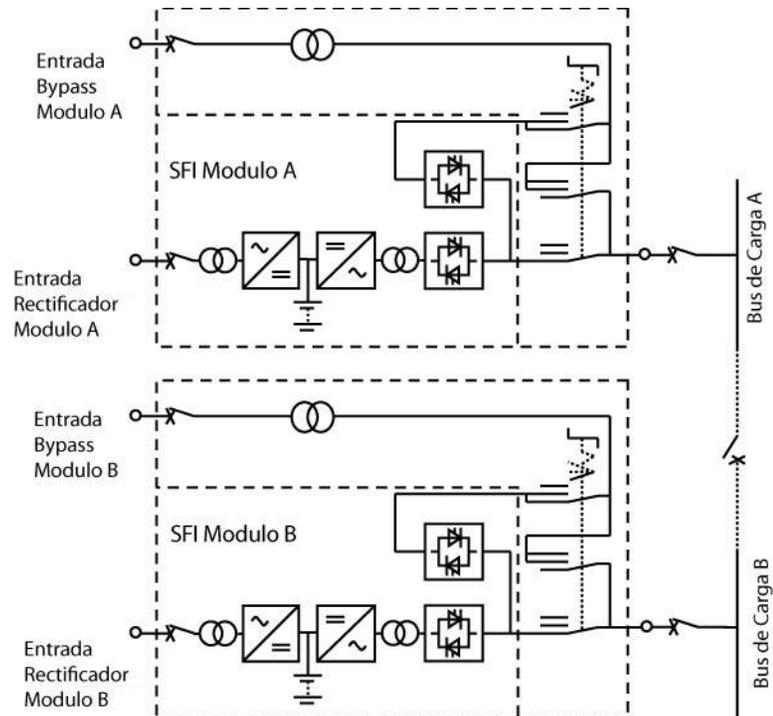


Figura 2.4 Sistema SFI Dual

La configuración de un SFI dual es la combinación de dos módulos sencillos. Este modo es preferido en proyectos de alimentación doble asociados a cargas de doble entrada. Cada módulo está relacionado con su propio tablero de distribución y no hay componentes en común.

Cada SFI independiente opera de manera similar como si fuera un módulo solo y se recomienda añadir diferentes y variadas alimentaciones al sistema para aumentar la disponibilidad en caso de alguna falla en el suministro energético.

Los tableros de distribución no se conectan juntos, sin embargo una unión entre los dos módulos puede ser realizada si están operando mediante el sistema de puenteo con el mismo suministro de transferencia y conectar cargas que requieran el doble de potencia o alimentación sin ser compartidas o sincronizadas.

2.4.3.1 Modos de Operación:

- a) Operación Normal:** Ambos módulos de SFI están disponibles, operando de manera normal y alimentan las cargas conectando al tablero de distribución. Las cargas que necesitan doble alimentación podrán ser energizadas siempre y cuando exista un balance de cargas.
- b) Falla Energética en Algún Módulo:** El módulo con falla de suministro trabaja con su banco de baterías, por lo que no existen baterías en común, y se retransfiere al sistema de By – pass cuando la falla se corrija; así el otro módulo trabaja de manera normal.
- c) Falla Energética en Ambos Módulos:** Ambos módulos trabajan con el banco de baterías y se descargan conforme a la demanda de la carga conectada, pero no actúan de manera coordinada entre ellos dos.

- d) **Falla Eléctrica en una Unidad:** El sistema trabaja con dicha falla y trata de suministrar la energía en cualquier modo posible, hasta que la falla sea corregida.

2.4.4 Unidad de SFI en Cascada:

Este tipo de configuración resulta ser la combinación de dos módulos de SFI conectados en serie, cada uno con sus componentes individuales, la importancia de esta configuración reside en que antes de que existiera un gran avance en la tecnología de la electrónica de potencia y microprocesadores, así como la aplicación de las computadoras se tenían que instalar estos componentes de dicha manera, pero resultaba más costoso y no presentaba grandes virtudes para la alimentación de la carga.

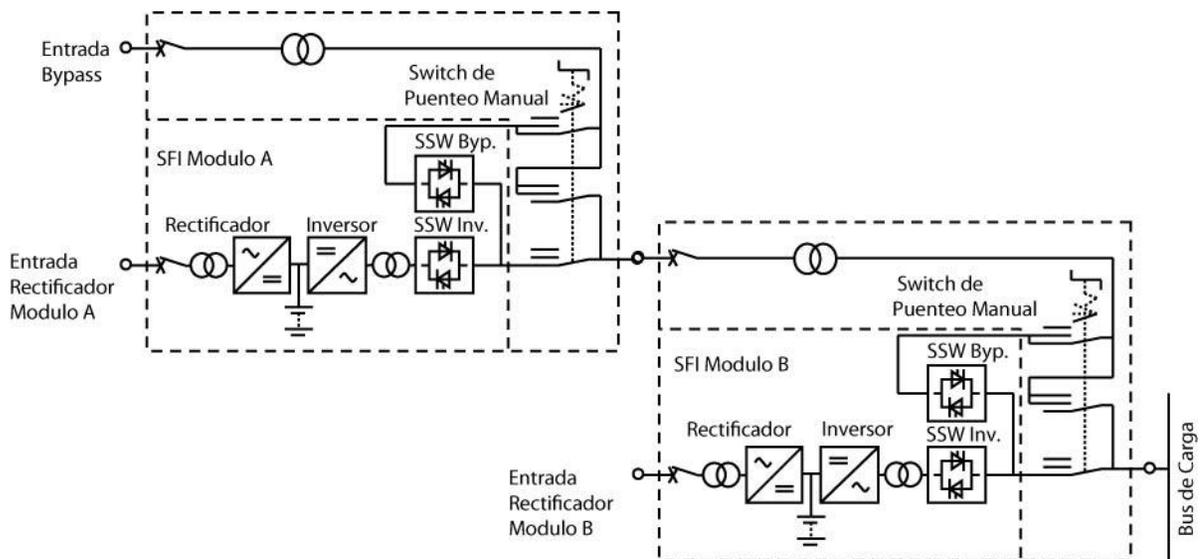


Figura 2.5 Configuración en Cascada de un SFI.

La salida de un módulo se conecta a la entrada del otro cuando se presenta una falla energética a la entrada del primer módulo el sistema de baterías actúa y seguía alimentando al segundo SFI que tenía en su salida la carga conectada, así si el banco de baterías del primer módulo se agota entra el banco de baterías del segundo módulo, evitando así la interrupción

en el sistema de energía, pero esto no comparte las características óptimas que un sistema redundante, ya que existe el comportamiento de “Master – Eslave” o sistema maestro y esclavo donde el primer módulo de SFI gobierna al segundo, con lo que se tiene que priorizar cada módulo para su trabajo en condiciones nominales, si se necesita de más potencia se tiene que diseñar los sistemas con mas elementos para otorgar tal demanda, incrementando el costo; en caso de alguna avería por parte de algún módulo es necesario desconectar todos para el mantenimiento y no existe un reparto equitativo de las cargas, no se ahorra energía en el consumo del banco de las baterías.

Los problemas con esta configuración también consisten en la falta de comunicación entre ambos módulos, ya que uno es el que actúa y el otro se encuentra en modo de espera, por todo esto esta configuración ha venido desapareciendo en sistemas industriales y sustituidos por alguna de las anteriores.

2.5 Diagrama Unifilar Detallado de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.

El siguiente diagrama (figura 2.6) corresponde a un SFI tipo industrial, cuya empresa fabricante es GUTOR¹⁸, donde se integran los componentes físicos del sistema así como la forma de operar, monitorear y diagnosticar la entrada y salida de la fuente de energía.

18. GUTOR, una de las empresas internacionales destacada por sus sistemas energéticos que se aplican en varias empresas alrededor del mundo con actividades petrolíferas.

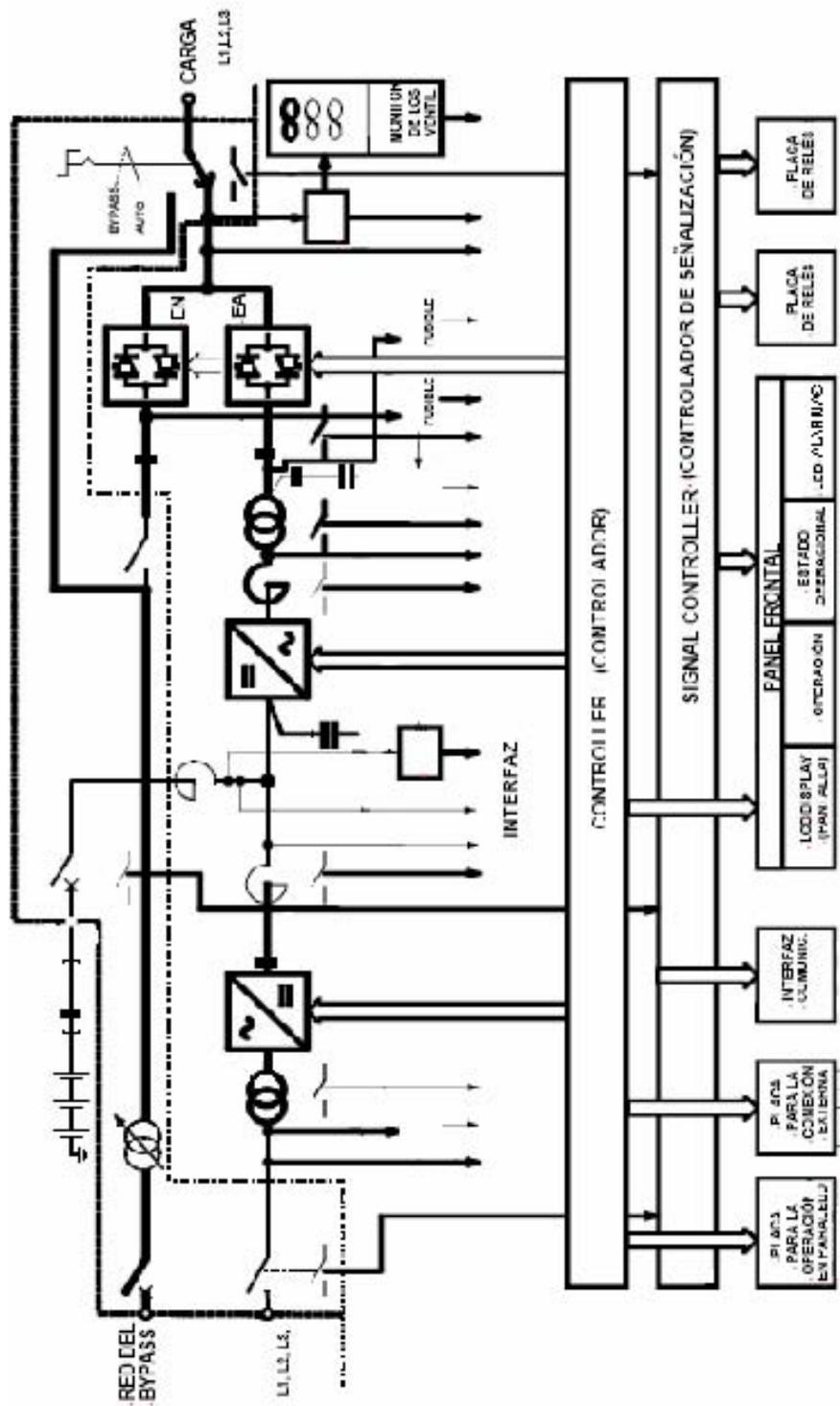


Figura 2.6 Diagrama Detallado.

CAPITULO 3

Aplicación de un SFI.

3.1 Sistema Energético.

En instalaciones petroleras el sistema energético se denomina Sistema de Distribución Secundario Selectivo¹⁹, que esta diseñado para mantener en constante alimentación a los edificios y complejos que requieran del suministro eléctrico.

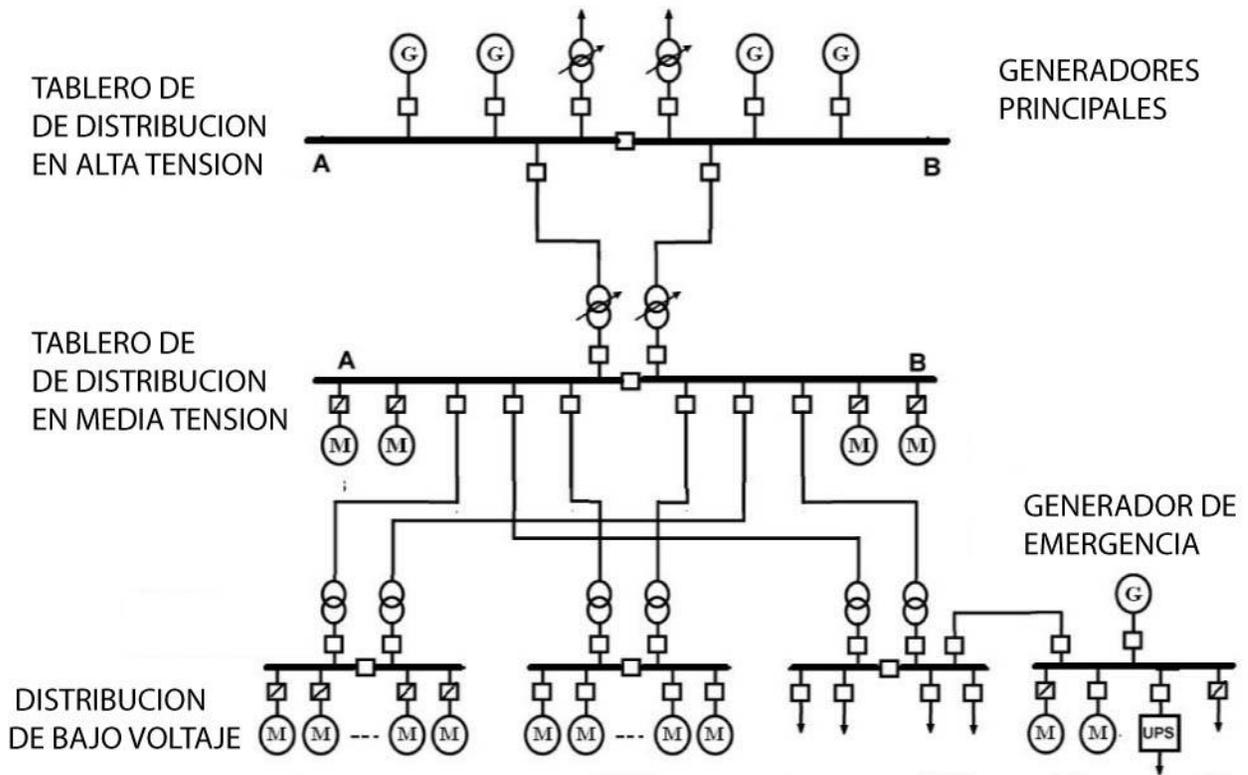


Figura 3.1 Diagrama Unifilar de un Sistema Secundario Selectivo.

El arreglo de un Sistema Secundario Selectivo se caracteriza por tener doble sistema de alimentación (en un diseño simple), y mediante interruptores de transferencia manuales o automáticos se permite mantener la constante energía eléctrica hacia los buses requeridos que energizan los tableros o centro de control de motores.

La energía puede estar provista por acometidas principales o generadores, por lo que es, en algunos casos, necesario contar con generadores internamente en las plantas, generando en alto voltaje para ir disminuyendo a través del sistema mediante los transformadores según se necesite el voltaje especificado.

Este sistema eléctrico se encarga de dirigir el ciclo energético, que permite optimizar el uso de la energía eléctrica generada y utilizada para prevenir disturbios y fallas eléctricas. En este sistema se incluyen un centro de control de motores y energía de emergencia (SFI, generador de emergencia), además dentro de las funciones está la priorización de cargas, desplazar cargas y encender generadores ante la necesidad de más potencia, entre algunas otras cosas.

Un tablero de distribución de emergencia, separado del sistema principal, con un grupo generador o un sistema de fuerza ininterrumpible provee energía a aquellos sistemas que contienen cargas críticas.

3.2 Cargas Eléctricas.

Se puede definir una carga eléctrica como todo aquel elemento que consume energía eléctrica y que debe conectarse a un sistema de alimentación. Por ejemplo, iluminación, sistema de aire acondicionado, telecomunicaciones, servidores y computadoras, máquinas eléctricas, equipos médicos, por mencionar algunos.

Las cargas críticas están muy ligadas a un correcto funcionamiento sin interrupciones y deben estar alimentadas bajo una onda eléctrica de óptimas condiciones, teniendo una alta seguridad de suministro.

En la actualidad estas cargas críticas están presentes en una gran variedad de aplicaciones:

- Instalaciones médicas como quirófanos, unidades de terapia intensiva, maquinas de respiración artificial y otras instalaciones médicas.
- Centros de control marítimo, aéreo y terrestre.
- Equipos de comunicaciones de uso en radio frecuencia.
- Centros de adquisición y proceso de información.
- Ventas y gestiones bancarias.
- Control de centrales eléctricas.
- Procesos industriales continuos.

Es en este último punto donde la investigación se enfoca, en las empresas industriales y plantas de manufactura las cargas críticas pueden llegar a ser de suma importancia para continuar con las labores cotidianas o de emergencia y prevención, así como mantener a salvo y sin peligro a las personas que trabajan en dichas zonas de proceso.

Para el caso de la industria petrolera las cargas eléctricas críticas se encuentran según el área como lo es alumbrado de emergencia, comunicaciones, sistemas de monitoreo, control y protección, sistemas instrumentados de seguridad, sistemas de gas y fuego, alarmas, cuartos de control, equipo de medición, servidores y computadoras, circuito cerrado de televisión, telefonía, telecomunicaciones, intercomunicación y voceo, válvulas motorizadas y otras cargas eléctricas de acuerdo a las necesidades de la instalación.

Estas cargas críticas se verán sujetas a la disponibilidad del servicio eléctrico que pueda ofrecer tanto la alimentación principal como el grupo generador de emergencia o los sistemas de fuerza ininterrumpible, en el SFI se conectan la mayor parte de las cargas críticas debido a su características mencionadas y su alta confiabilidad en situaciones de alimentación energética de respaldo o emergencia.

3.3 Sistemas en un Complejo Petrolero.

Según las características que posean las instalaciones de un complejo dedicado a actividades petroleras, serán los sistemas que se instalen y que demanden una gran cantidad de energía y deben estar provistos de sistemas que prolonguen sus actividades ante la falta del suministro eléctrico; lo que los puede llegar a convertir en cargas críticas, estos sistemas pueden ser:

3.3.1 Sistemas de Seguridad y Control.- Un sistema de control de proceso se utiliza para el monitoreo y control de los equipos con que cuenta la planta de proceso, en instalaciones pequeñas se puede llegar a encontrar equipos hidráulicos y neumáticos, pero para plantas más prominentes se instalan equipos que requieren de sistemas de control específicos como:

- Instrumentación en campo: donde se alojan sensores e interruptores que monitorean el proceso como la temperatura, presión y flujo, conectados a un par de trenzado eléctrico (hardwired) o bus de comunicaciones (fieldbus).
- Dispositivos de Control: pueden ser actuadores para válvulas, interruptores eléctricos, excitadores de maquinas y bombas eléctricas o indicadores, de igual manera conectados al trenzado o par eléctrico o monitoreados por el circuito de bus de comunicaciones.

- Controladores que ejecutan algoritmos para designar las acciones a realizar, así estos controladores generan los eventos que basados en alarmas preparan a los sistemas de información o a los operadores y de alguna forma alteran las condiciones de estado del sistema en general.
- Servidores: encargados del proceso digital de señales, como las señales de proceso y manufactura, exposición de resultados y valores del ciclo, archivos de eventos, procesamiento de señales de alarma y cambios en la ingeniería. En ocasiones estos cuentan con sistemas de interfaz humana (computadoras, pantallas, teclados táctiles, entre otros).
- Comunicaciones: pueden estar para implementar acciones y diferentes configuraciones para facilidades remotas en soporte y mantenimiento o similares.

Así la función principal del sistema de control es el asegurar que la producción, procesamiento y utilidades del sistema operen eficientemente sin contratiempos o límites de alarmas. El control está basado típicamente en programas que resultan de una combinación de bloques de control lógico con operaciones como AND, OR, NOT, con variaciones según las necesidades y los eventos a cubrir.

Estos sistemas operan desde cuartos implementados con procesos gráficos como pantallas, lista de alarmas, reportes y curvas características, en combinación con grandes y largos monitores en donde se presenta toda esta información con controles remotos en locación y salones aclimatados.

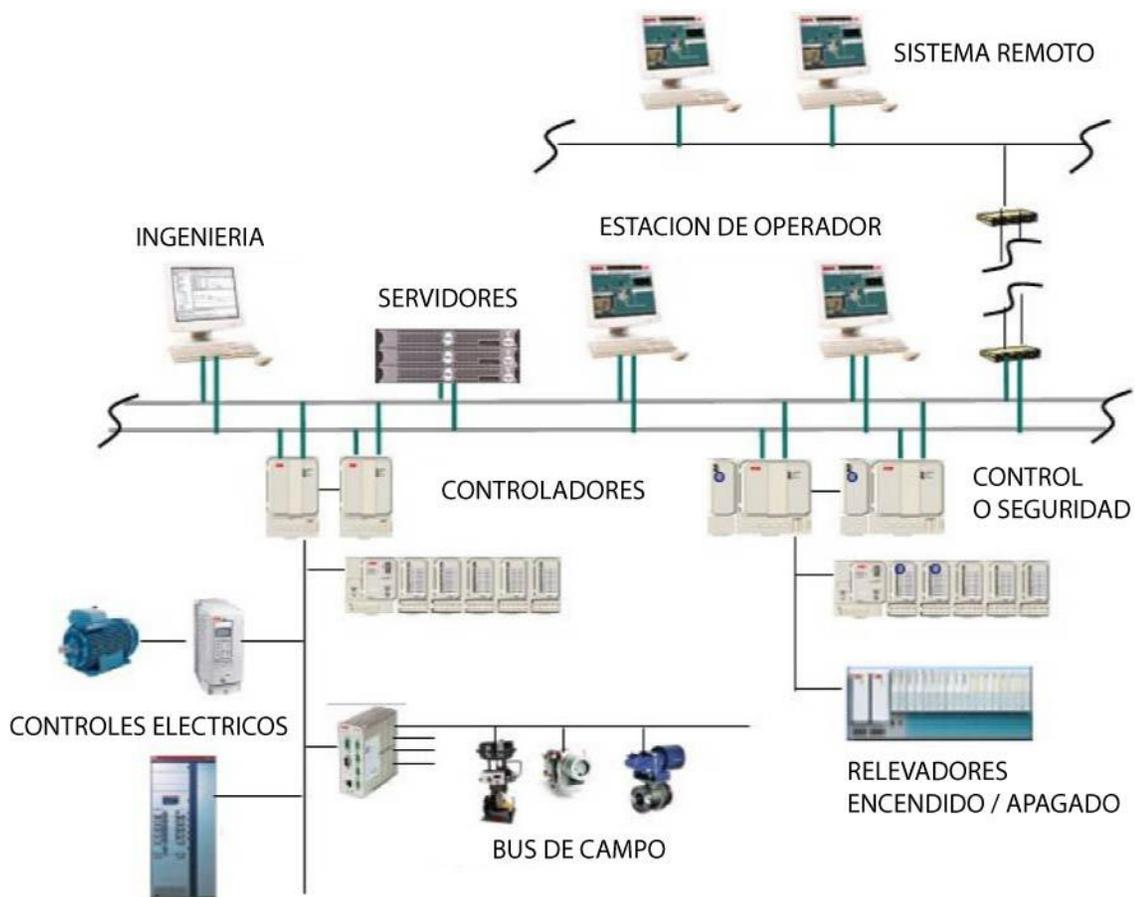


Figura 3.2 Ejemplo de un Sistema de Control.

3.3.2 Sistemas de Fuego y Gas.- Los sistemas de Fuego y Gas no necesariamente se encuentran ligados a algún proceso en particular, por lo que se encuentran instalados en áreas geográficamente específicas, cada área debe estar asegurada mediante este sistema de prevención, que a través de diversos sensores de fuego y gas se monitorea además de contar con protección contra fuego.

La manera de actuar de los sistemas de fuego y control en caso de fuego es cerrar parcialmente la zona afectada y cortar la ventilación, a su vez abrir paso a los rociadores contra incendio ejecutados electrónicamente y emitiendo su alarma correspondiente.

De una manera independiente se encuentra un pequeño sistema relacionado con el sistema de fuego y gas donde se localizan bombas de agua accionadas eléctricamente y alarmas tanto sonoras como luminiscentes. El tipo y número de dispositivos para detección, protección y combate depende del equipo así como del tamaño de la zona de riesgo y si esta destinado para área de proceso, cuarto de energía eléctrica u otra índole. Para la detección de fuego se cuentan con elementos como:

- Sensores de Gas mediante sensores ópticos infrarrojos, electrocatalíticos para la presencia de gas tóxico o combustible.
- Sensores de Llamas: se realizan mediante sensores ópticos infrarrojos o ultravioletas.
- Sensor de Fuego: mediante detectores de humo ionizados o de calentamiento.
- Interruptores Manuales.
- Dispositivos ajenos eléctricamente como, extinguidores rociadores, mantas, salidas de emergencia.



Figura 3.3 Sensor de Sistema Fuego y Gas.

3.3.3 Sistemas de Telemetría y SCADA.- Actualmente existe un enorme avance en sistemas electrónicos de comunicaciones y procesamiento digital de señales así como envío y recuperación de las mismas, en complejos petroleros estos sistemas se han convertido en la solución mas adecuada al monitoreo y control de los procesos así como su registro, por otra parte las instalaciones petroleras se pueden encontrar a miles de kilómetros de distancia ya sea en tierra firme o en instalaciones costa fuera (Offshore), por lo que se disponen de sistemas especializados para telemetría, comunicaciones, almacenamiento de datos para su envío o modificación y comparación, sobre oleoductos, condiciones de las instalaciones, eventos de siniestro o mantenimiento en especial, otorgando inmensas facilidades.

Estos sistemas están soportados en plataformas basados en la Adquisición de Datos y Supervisores de Control (SCADA por Supervisory Control and Data Acquisition). Los sistemas SCADA en bajo y alto ancho de banda junto con sistemas telemétricos y de telefonía operan en todas las áreas de comunicaciones a través de servidores de banda ancha, cableado o fibras ópticas y plataformas de red como el Internet.

Las unidades de terminales remotas (RTU por sus siglas en inglés) o sistemas de control locales en pozos, plataformas, compresores y estaciones de bombeo de igual manera están conectados al sistema SCADA, por lo que el sistema SCADA puede tener las mismas funciones que el sistema de control, pero la diferencia consiste en la arquitectura de datos (principalmente digitales y dependientes de un sistema servidor para el envío y recepción de datos) así como el uso de las comunicaciones.

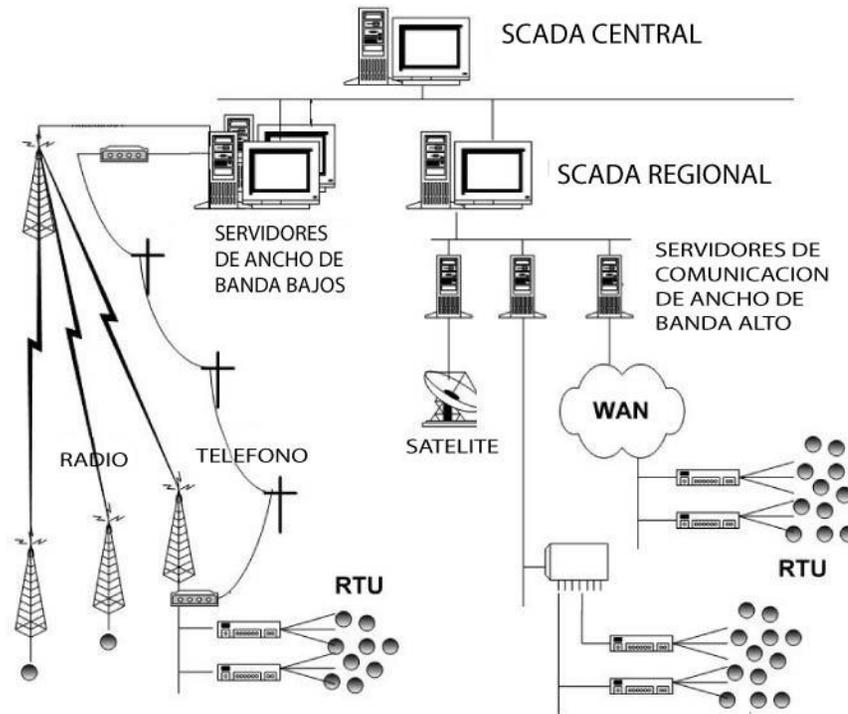


Figura 3.4 Sistema SCADA

Un específico sistema que proporciona información sobre los sistemas de producción y ejecuta un reporte de los procesos de fuego y gas, seguridad, mantenimiento y registro de eventos se puede encontrar alojado de igual manera al sistema SCADA.

3.3.4 Sistema de Aire Acondicionado, Ventilación y Calor.- el sistema de aire acondicionado, ventilación y calor (HVAC) es el sistema encargado de adecuar las condiciones climáticas de cuartos donde se encuentran alojados instrumentos importantes, al igual que proporcionar atmósferas presurizadas positivamente donde se requiera (previene flujos potencialmente peligrosos por gases en caso de compresión o descompresión), sobre todo en instalaciones ubicadas en regiones tropicales o subtropicales, este sistema se encuentra igualmente supervisado por elementos eléctricos – electrónicos para su correcto funcionamiento.

3.3.5 Telecomunicaciones.- Los sistemas de telecomunicaciones se encuentran integrados por una variedad de subsistemas para el enlace entre

humanos y las computadoras, así como consta de comunicaciones inalámbricas, monitoreos, observación y entretenimiento, algunos de estos subsistemas pueden llegar a ser:

- Sistemas de alarmas en dominios públicos y habitacionales, integración del sistema de fuego y gas.
- Sistemas de intercomunicadores y voice.
- Sistemas de radio frecuencias en UHF.
- Sistema de televisión en circuito cerrado.
- Seguridad de acceso controlado.
- Sistemas meteorológicos y oceánicos.
- Antenas y torres de telecomunicaciones.
- Telefonía.
- Sistema de entretenimiento (cine, televisión, etc.)
- Radares marinos de navegación.
- Computadoras personales y de trabajo.
- Sistemas de rastreo y busca de personal.
- Monitoreo y mantenimiento del sistema de telecomunicaciones.
- Sistemas en radio frecuencia.
- Terminales de fibras ópticas y multiplexaje.

3.4 Sistema de Fuerza Ininterrumpible bajo Cargas Eléctricas.

El SFI debe tener una carga de acuerdo a su diseño y especificación indicado en condiciones nominales, pero para poder acceder a una acción de alimentación de cargas mediante un SFI, se recomienda tener en cuenta ciertos lineamientos de cálculos preestablecidos de manera muy global²⁰.

20. IEC-62040-1. International Standard Uninterruptible Power Systems,

Existe un patrón de cargas generales que demandan energía de un SFI, estas cargas se clasifican como cargas lineales y no lineales. Los tipos de cargas más comunes lineales son:

- ❖ Carga Resistiva.
- ❖ Carga Resistiva – Inductiva.
- ❖ Carga Resistiva – Capacitiva.

En la carga resistiva, el SFI alimenta un elemento resistor al valor nominal de la potencia con lo que se calcula por:

$$R = \frac{U^2}{P} \text{ dado en } [\Omega]$$

Donde:

R = Elemento resistivo.

U = Voltaje de Salida en volts.

P = potencia activa en watts.

Para el caso de una carga resistiva – inductiva conectada en serie se calcula como:

$$R = \frac{U^2}{S} \lambda \text{ Dado en } [\Omega]$$

$$L = \frac{U^2 \sqrt{1 - \lambda^2}}{f 2\pi S} \text{ Expresado en [H]}$$

Y en condiciones de conexión en paralelo esta dado por:

$$R = \frac{U^2}{S\lambda} \text{ Dado en } [\Omega]$$

$$L = \frac{U^2}{f 2\pi S \sqrt{1 - \lambda^2}} \text{ Expresado en [H].}$$

Carga resistiva – capacitiva, de igual forma se pueden encontrar conectadas de forma en serie.

$$R = \frac{U^2}{S} \lambda \text{ Dado en } [\Omega]$$

$$C = \frac{S}{f 2\pi U^2 \sqrt{1-\lambda^2}} \text{ Dado en } [f]$$

Conectado en paralelo.

$$R = \frac{U^2}{S\lambda} \text{ Dado en } [\Omega]$$

$$C = \frac{S\sqrt{1-\lambda^2}}{f 2\pi U^2} \text{ Dado en } [f]$$

Donde:

R = Elemento resistivo.

L = Elemento inductivo.

C = Elemento capacitivo.

U = Voltaje de salida en volts.

S = Indica la potencia aparente de salida en unidades de [VA].

λ = Factor de potencia otorgado por [P/S].

f = Frecuencia en Hertz

Las cargas más comunes no lineales podrían ser:

- ❖ Carga Rectificadora – Capacitiva.
- ❖ Carga Controlada mediante Transductor o Tiristor (control de fase).

Para sistemas de potencia bajos (menores a 3 KVA) la conexión de un puente rectificador con una carga capacitiva es la más común.

Para simular una carga de una sola fase estática se conecta al sistema un puente rectificador a base de diodos que contiene ya sea uno o más circuitos en paralelo con capacitores y resistencias.

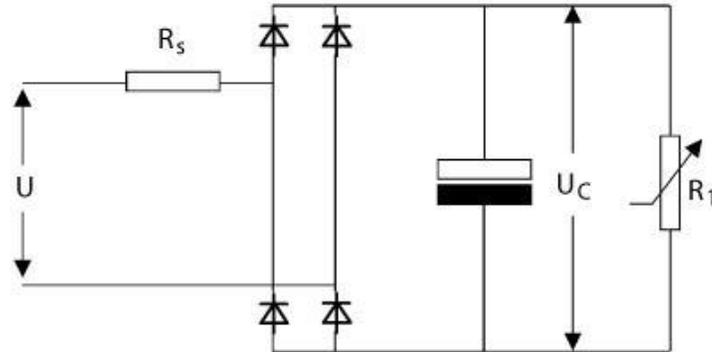


Figura 3.5 Puente Rectificador Estático.

Donde:

U_c = voltaje rectificado en volts

R_1 = es la carga resistiva que representa el 66% de potencia activa del total de la potencia aparente S .

R_s = es la carga resistiva en serie que representa el 4% de potencia activa del total de la potencia aparente S (la resistencia en serie ejemplifica la caída de voltaje que hay en los conductores).

El 5% del voltaje pico a pico que proviene del capacitor equivale a la constante de tiempo expresada por:

$$R_1 \times C = 0.15 \text{ seg.}$$

Entonces si se contempla la caída de voltaje a los conductores, el voltaje pico y la distorsión de línea; el promedio de voltaje U_c será:

$$U_c = \sqrt{2} \times (0.92 \times 0.96 \times 0.975) \times U = 1.22 \times U$$

Donde los elementos de carga se pueden calcular como:

$$R_s = 0.04 \times \frac{U^2}{S} \text{ Expresado en } \Omega$$

$$R_1 = \frac{U_c^2}{0.66 \times S} \text{ Expresado en } \Omega$$

$$C = \frac{0.15}{R_1} \text{ Expresado en } f$$

Todo esto se lleva a cabo para dar una referencia en comportamiento de un SFI determinado con cargas. El voltaje de salida y forma de onda del sistema no pueden estar distorsionadas más allá de un 8%; la carga conectada debe estar evaluada para el tipo y valor de potencia especificada en el sistema a evaluar. Este protocolo de evaluación se aplica tanto a sistemas monofásicos y trifásicos²¹.

3.5 Aplicación en la Industria Petrolera.

La crisis energética contemporánea ha contribuido en buena parte a acelerar las actividades de la exploración de los yacimientos petrolíferos en el mar, y el rápido desenvolvimiento de la tecnología en muy diversos campos.

Para México la extracción de petróleo en el mar representa aproximadamente más del 75% del crudo nacional²², concretamente en la zona del Golfo de México, sonda de Campeche, donde se han instalado una muy considerable cantidad de plataformas marinas (aproximadamente más de 202 plataformas) para la extracción del hidrocarburo desde 1975.

21. IEC-62040-1. International Standard Uninterruptible Power Systems.

22. PEMEX . datos arrojados hasta el 2005.



Figura 3.6 Ubicación Geográfica.

En esta zona se encuentra localizado el campo de hidrocarburos más grande denominado “Cantarell”, llamado así en honor a un pescador habitante del lugar que reportó la presencia de “chapopoterías” en el área que llevaba ese nombre.

En el complejo de producción denominado **AKAL – G1**, (AKAL palabra en maya que significa Tierra Siempre Húmeda), se contempla la creación de una plataforma marítima con módulo habitacional.

Donde los sistemas que conforman al módulo habitacional se conforman por:

- Sistema de Monitoreo y Control
- Sistemas de Seguridad
- Sistemas Eléctricos
- Sistemas de Telecomunicaciones
- Sistemas de HVAC

- Sistemas de Servicios Auxiliares
- Sistema de Grúa de Plataforma
- Áreas de Alojamiento y Trabajo

Los que a su vez se integran por:

- ◆ Bombas Contra Incendio.
- ◆ Agua Contra Incendio.
- ◆ Equipo de Seguridad.
- ◆ Equipo de inundación FM-200.
- ◆ Botes Salvavidas.
- ◆ Gas y Fuego.
- ◆ Agua de Mar.
- ◆ Distribución del Agua de Mar.
- ◆ Agua Potable.
- ◆ Distribución del Agua Potable.
- ◆ Agua Caliente.
- ◆ Distribución del Agua Caliente.
- ◆ Aire de Planta.
- ◆ Aire de Instrumentos.
- ◆ Aguas Residuales.
- ◆ Incinerador.
- ◆ Compactador de Basura.
- ◆ Diesel.
- ◆ Generadores.
- ◆ Tablero de Distribución Principal.
- ◆ Centro de Control de Motores.
- ◆ Energía de Alumbrado y Potencia Menor.
- ◆ Tableros de Distribución (Energía Principal).

- ◆ Sistema de Fuerza Ininterrumpible de C.A.
- ◆ Ayudas a la Navegación.
- ◆ Radio Marina de Muy Alta Frecuencia (VHF).
- ◆ Teléfonos/PABX.
- ◆ Sistema de Altavoces.
- ◆ Circuito cerrado de Televisión (CCTV).
- ◆ Sistema de Entretenimiento.

3.5.1 Características del Módulo Habitacional. La plataforma habitacional, con número de identificación HA-AG-01, proporcionará las instalaciones necesarias para 75 personas que incluyen dormitorios, baños, comedor, entretenimiento, lavandería, vestuarios, talleres y primeros auxilios, ubicados en un Módulo Habitacional de dos pisos, la plataforma esta diseñada para una vida útil de 20 años.

El Módulo Habitacional está soportado por una subestructura de cuatro patas (Tetrápodo) e incluye también un helipuerto que está ubicado arriba del Modulo Habitacional y permite su utilización normal teniendo dos helicópteros, uno estacionado y otro en servicio, así mismo, un puente de interconexión con la Plataforma de Producción AKAL-G, atracadero y módulo de servicios ubicado en la parte inferior del Módulo Habitacional.

Las instalaciones que se tienen por nivel, son las siguientes:

Nivel 1 (Modulo de Servicios).- cubo de escalera, cuartos de limpieza, baño, casilleros, almacén, taller de plomería y del sistema de ventilación, aire acondicionado y calefacción, taller mecánico, taller de carpintería y elevador.

Nivel Mezanine (Modulo de Servicios).- cubo escalera, lavandería, cuartos de baterías, equipo eléctrico, oficina, CCM, vestidores y limpieza.

Nivel 3 (Módulo Habitacional).- cubo de escalera, pasillo, vestíbulo, cuartos de los superintendentes, administradores, baño para 1 persona, cuarto para 4 personas, baño para 4 personas, recreación, guardarropas, cuarto de limpieza, biblioteca, gimnasio – regadera, gimnasio – sauna, gimnasio, hueco de servicio y área exterior.

Nivel Azotea (Módulo Habitacional).- sala de espera y cuarto de control de vuelos, escalera para helipuerto, área para equipo de aire acondicionado.

Nivel 2 (Módulo Habitacional).- cubo de escalera, pasillo, vestíbulo, oficinas del superintendente, administración, salas de espera, conferencia, oficina, cuarto de control, comedor, área de preparación, cocina y panadería, despensa, cámaras frigorífica, congelación, cuarto de control inteligente, consultorio médico, cuarto del médico, baño del médico, cuarto de la limpieza, cine, cuarto de telecomunicaciones, teléfono, cuarto de baño para mujeres, cuarto de baño para hombres, hueco de servicio y área exterior (terraza).

3.5.2 Características del SFI instalado.- El SFI está diseñado para suministrar energía eléctrica de C.A. que no puede ser interrumpida por situaciones anormales del suministro de electricidad. Está diseñado según el principio de “conversión doble”, trifásico.

El Sistema consta de dos equipos conectados en paralelo y redundante para compartir la carga. Cada unidad está diseñada individualmente para soportar la carga plena. Si cualquiera de estos módulos falla, entonces la unidad restante soportará la carga plena sin interrupción.

Cada equipo consta de cuatro partes principales, el Rectificador/cargador, Banco de Baterías, el Inversor con tecnología de PWM senoidal y el Interruptor estático (sistema de puenteo).

La energía de reserva se realiza mediante un transformador y, opcionalmente, un regulador de tensión o estabilizador de línea.

El Banco de Baterías trabaja en modo de flotación, es un modo de carga a voltaje constante, de modo que la corriente de carga de la batería tenderá a disminuir gradualmente a casi cero a medida que la batería se carga completamente.

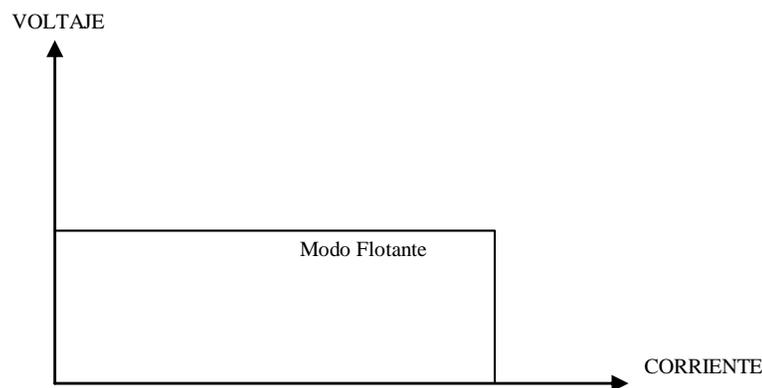


Figura 3.7 Gráfica de voltaje en el banco de baterías.

El voltaje escogido es el valor para el cual las pérdidas internas son compensadas por la corriente de carga en una batería cargada. La batería es mantenida completamente cargada, sin embargo permanece por debajo de la tensión de gasificación de modo que la velocidad de pérdida del electrolito es despreciable.

Cuando la alimentación al cargador se interrumpe, el cargador se detiene y sin que ocurra ningún tipo de conmutación o intervención del operador, la batería alimenta el inversor y por lo tanto la carga.

El voltaje de salida del SFI instalado se mantiene constante regulado a $\pm 1\%$ para una carga entre 0 y 105%. Para efectos de sobrecarga será del 105% a 150% de la carga nominal, pero puesto en marcha con un temporizador de 10 minutos; al cabo de los cuales se parará el inversor. Éste es un tiempo suficiente para controlar las sobrecorrientes de arranque y las corrientes de entrada en la carga. Cuando la carga excede el 105%, el interruptor estático normalmente transferirá la carga a la reserva energética (si está disponible) de modo que las sobrecargas del inversor deberían ser raras y escasas.

Se instalan en el SFI limitadores de corriente para que cuando la carga es del 150% o más del valor nominal, entonces el inversor cambia a una característica de corriente constante para protegerse a sí mismo. Esto puede resultar en una caída drástica del voltaje de salida. Si hay una reserva disponible, habrá una transferencia inmediata. Si las transferencias están inhibidas por cualquier motivo, entonces el inversor seguirá en límite de corriente hasta que la carga regrese a su valor normal o que termine el temporizador de 10 minutos.

El interruptor estático es un conmutador inversor automático de estado sólido con una acción de cierre antes de corte de modo que no hay ninguna interrupción hacia la carga. Por lo tanto, el inversor estará permanentemente sincronizado con la reserva a fin de evitar saltos de fase o incluso inversiones de fase hacia la carga en el instante de la transferencia. La lógica de operación selecciona uno de los siguientes dos modos: ya sea INVERSOR A CARGA o RESERVA A CARGA.

Inversor a Carga.- es el modo normal para la unidad y es seleccionado automáticamente siempre que sea posible.

Reserva a Carga.- la transferencia a la reserva ocurre automáticamente cuando prevalecen ciertas condiciones anormales especificadas. Regresa al inversor 10 segundos después de la desaparición de las condiciones de la alarma.

Tomando en cuenta estos aspectos las transferencias pueden ocurrir en cualquier parte del ciclo: no tienen que estar en un punto de cruce del cero.

Por otra parte el SFI instalado cuenta con una derivación de mantenimiento, que por seguridad durante el mantenimiento y la reparación, se ha incorporado una derivación manual envolvente al equipo. Sólo puede ser seleccionada por el operador y no por la lógica de control. Esta derivación suministra aislamiento de seguridad para las principales piezas internas.

3.5.3 Métodos de Funcionamiento del SFI Instalado.

Modo Normal.- Los dos inversores alimentan la carga en paralelo compartiendo la carga entre ellos. Cada uno está sincronizado con la alimentación de reserva.

Modo de Falla de la Alimentación de CA Primaria.- La alimentación de reserva puede o no estar disponible según la configuración de las fuentes de alimentación del SFI. Cada cargador detiene y sus respectivas baterías alimentan cada una al inversor y por lo tanto la carga. El voltaje de CD ò CC cae y ocurren las siguientes alarmas.

- ◆ Alarma de CC Durante una Falla de la Alimentación Primaria: el cargador se pondrá en marcha en el modo Flotación después de una falla corta, o en el modo de carga después de una falla larga.

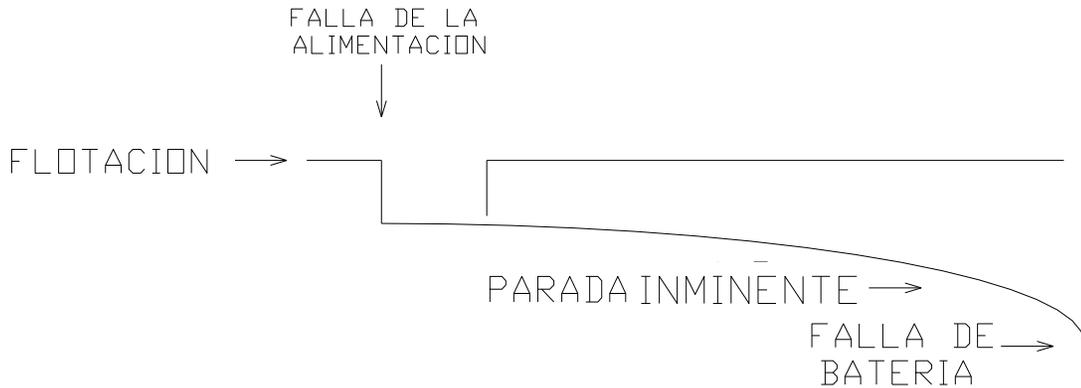


Figura 3.8 Alarma de Fallas.

Modo de Reserva a Carga: el modo de reserva a carga se da cuando hay una sobrecarga de salida de 105% o más, enviando la carga a la alimentación alternativa y ocurre un retorno a los inversores cuando cae por debajo del 100%; de igual forma se selecciona este modo cuando los inversores paran o están en el límite de corriente y cuando hay mantenimiento.

Modo de falla de un SFI: cuando un sistema falla será aislado por su propio interruptor estático. El sistema restante seguirá soportando la carga sin interrupción.

3.5.4 Operación del SFI Instalado.

Situación inicial de Primer Arranque: todos los interruptores, disyuntores y aisladores están en "APAGADO".

- a) La alimentación primaria se encuentra energizando el sistema por lo que la alarma del panel frontal indica ENCENDIDO.
- b) El interruptor de ENCENDIDO/APAGADO del CARGADOR, se coloca en ENCENDIDO.
- c) El voltaje de salida del cargador aumentará hasta el valor normal.

- d) Se usa un voltímetro portátil para verificar la presencia y valor de voltaje en el cargador, el voltaje de salida de la batería, la polaridad correcta de los cables de la batería al SFI.
- e) Con lo que se dispone a situar en ENCENDIDO el interruptor aislador de la batería.
- f) Por otra parte el interruptor aislador de entrada de reserva energética se cierra.
- g) Y se verifica el voltaje y la frecuencia de la energía de reserva.
- h) También se observa y verifica que la distribución de salida este alimentada correctamente usando un voltímetro portátil.
- i) Con lo que el inversor es encendido indicando en el panel respectivo ENCENDIDO.
- j) El inversor se pone en marcha. Al cabo de 30 segundos todas las alarmas deben desaparecer.
- k) Se verifica el interruptor estático en el modo de prueba y se pulsa su interruptor de apertura/cierre durante al menos 10 segundos y verificando los indicadores luminiscentes (Leds) en las tarjetas montadas dentro de la puerta frontal.
- l) Se dispone el interruptor de paso en TRANSICIÓN AUTOMÁTICA.

m) Por lo que los indicadores deben estar presentes sin alarmas o fallas y el sistema en operación, por lo que el SFI se encuentra ahora encendido.

Para una transferencia por mantenimiento:

- a) Se verifican las alarmas.

- b) Si el inversor no está sincronizado Y está alimentando la carga, no se procede puesto que esto podría poner en peligro la carga. Lo mismo se aplica si la reserva está fuera del límite.

- c) Se pone el interruptor de paso en TRANSICIÓN.

- d) Se acciona y se cierra el switch manual en PRUEBA y luego en MANTENIMIENTO.

- e) Por lo que el Inversor cambia a un estado APAGADO.

- f) Se aísla la batería y se detiene el cargador.

Para un retorno de mantenimiento:

- a) El Inversor entra nuevamente a ENCENDIDO.

- b) El inversor se debe poner en marcha. Al cabo de 30 segundos todas las alarmas deberían desaparecer.

- c) El switch manual se cierra en PRUEBA y se verifica el interruptor estático pulsando su cierre durante al menos 10 segundos y verificando los Leds del panel frontal montada dentro de la puerta.

- d) Se pone el interruptor de paso en TRANSICIÓN.
- e) Se verifica el voltaje y la frecuencia de la reserva energética.
- f) Y se completa la TRANSICION AUTOMÁTICA.

Para un Paro de Emergencia: se debe usar en caso de emergencia tal como incendio o un siniestro, por lo que este procedimiento interrumpe la alimentación a la carga.

- a) Se sitúa el switch en MANTENIMIENTO.
- b) El Inversor se apaga.
- c) El interruptor aislador de la batería se apaga, así como el cargador.
- d) Se interrumpe la alimentación al SFI.
- e) Y se abre el interruptor de paso de la alimentación alternativa.

CONCLUSIONES.

La Electrónica de Potencia permite gobernar, mediante dispositivos muy pequeños y económicos, grandes corrientes y altos voltajes, desenvolviéndose con el manejo de altas demandas energéticas con empresas industriales muy complejas y de alto desarrollo tecnológico.

Los dispositivos como el IGBT y el SCR han demostrado su alta capacidad y aplicación en sistemas energéticos, así como en la conversión de energía tanto en corriente continua como en alterna.

La Modulación por Ancho de Pulso (PWM) ofrece la mejor oferta en cuanto a técnicas de manipulación de señales, siendo la PWM Senoidal la más aplicada en actividades industriales, dentro de la PWM Senoidal destaca la Modificada (MSPWM) como la mejor modulación en base al incremento de componente fundamental, el nivel de armónicas y el tiempo de conmutación de los dispositivos electrónicos.

Un Sistema de Fuerza Ininterrumpible (SFI) demuestra ser una conveniente propuesta y solución ante fallas y errores de suministro energético, mediante elementos de fácil mantenimiento, de diseño óptimo y confiable así como de uso de fuentes electroquímicas (baterías) dando una creación de energía eléctrica muy similar a la suministrada por las compañías de fuerza y energía.

Un SFI además de ser instalado en empresas con actividades de petróleo e hidrocarburos, puede llegar a ser implementado en otras actividades que tengan una semejante o muy superior carga energética y donde se necesite de un estado de alta confiabilidad sin interrupciones.

Debe profundizarse en la participación del Ingeniero Mecánico Electricista en actividades industriales, para que le permitan abrir su panorama multidisciplinario, con la vinculación de los fabricantes de tecnología y su desenvolvimiento en prácticas aún mas diseñadas con elementos muy característicos que se asemejen a los que se encuentran implementados en procesos y lugares de alto desarrollo tecnológico.

BIBLIOGRAFÍA.

- ◆ Boylestad, Robert. Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos; Pearson Educación: México, 2003.
- ◆ Lander, Cyril W. Power Electronics; Mc Graw Hill: England, 1993.
- ◆ Seguí Chilet, Salvador. Fundamentos Básicos de la Electrónica de Potencia; Alfaomega: México, 2004.
- ◆ Malvino, Albert Paul. Principios de Electrónica; Mc Graw Hill: España, 2007.
- ◆ Chapman, Stephan J. Máquinas Eléctricas; Mc Graww Hill: México, 2005.
- ◆ Rashid, Muhammad H. Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones; Pearson Educación: México, 2004.
- ◆ Vega Ruíz, Jose Alredo. Tesis: Convertidor CA-CA Basado en DSP; IPN; México, 2007.
- ◆ Devold, Havard. Oil & Gas Production Handbook; ABB Oil & Gas; Oslo, 2006.
- ◆ Q320.110-1. AC UPS System Guide Specification; Gutor.
- ◆ Norma Oficial Mexicana NOM-001. Instalaciones Eléctricas (utilización); SEDE, 2005.

- ◆ Norma de Referencia NRF – 091. Sistemas Eléctricos de Emergencia; PEMEX, 2007.
- ◆ Norma de Referencia NRF – 181. Sistemas Eléctricos en Plataformas Marinas; PEMEX, 2007.
- ◆ Norma de Referencia NRF – 048. Diseño de Instalaciones Eléctricas; PEMEX, 2007.
- ◆ Norma de Referencia NRF – 196. Cargador y Banco de Baterías; PEMEX, 2008.
- ◆ Norma de Referencia NRF – 046. Protocolos de Comunicación en Sistemas Digitales de Monitoreo y Control; PEMEX, 2003.
- ◆ Norma de Referencia NRF – 105. Sistemas Digitales de Monitoreo y Control; PEMEX, 2005.
- ◆ International Standard, 62040-1. Uninterruptible Power Systems (UPS) Part 1: General and Safety Requirements for UPS; IEC, 2008.
- ◆ International Standard, 62040-2. Uninterruptible Power Systems (UPS) Part 2: Electro magnetic Compatibility (EMC) Requirements; IEC, 2005.
- ◆ International Standard, 62040-3. Uninterruptible Power Systems (UPS) Part 3: Method of Especifying the Performance and Test Requirements; IEC, 1999.

- ◆ GNT –SSNP-E003. Sistema de Fuerza Ininterrumpible de Tecnología Modulación de Ancho de Pulso (PWM); PEMEX, 2005.

Cibergrafía.

- <http://elpetroleo.aop.es/Tema10/Index1.asp>
- <http://www.tecnociencia.es/especiales/petroleo/petroleo1.htm>
- <http://www.slp-eng.com>
- <http://www.schneider-electric.com.mx>
- <http://www.oilandgas.org.uk>
- http://www.eia.doe.gov/pub/oil_gas/analysis_publications/natural_gas_1998_issues_trends/pdf/Appb-pdf.
- <http://www.imp.mx>
- <http://www.gutor.com>
- <http://geindustrial.com.mx>
- <http://www.slb.com>
- <http://www.naturalgas.org>
- <http://www.pemex.com>
- <http://www.alcad.com>
- <http://en.wikipedia.org>

ANEXO

A.1. Ejemplo de la hoja de datos del sistema de fuerza ininterrumpible de modulación de ancho de pulso (PWM) y su banco de baterías. Así como su cuestionario técnico para la adquisición e instalación en PEMEX

		HOJA DE DATOS		SISTEMA DE FUERZA ININTERRUMPIBLE DE MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO (PWM)	
No. de proyecto		Lugar		Planta	
Claves		SFI:		Cantidad de equipos	
		Banco de baterías:			
SFI y banco de baterías para servicio a sistema de:					
SFI y banco de baterías para uso interior tipo 1:					
<input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Telecomunicaciones					

Condiciones ambientales:			
Temperatura:		Humedad relativa:	
Nivel de ruido máximo:	65 dB (A) a 1 m de distancia	Altitud de operación:	

Banco de baterías:			
Banco de baterías: níquel cadmio de placa de acero, sellada, 20 años sin adición de agua, recombinación de gas interna, regulada por válvula de baja presión.			
V c.c. nominales:	Amperes-hora (Ah):	No. de celdas:	
Tiempo de respaldo de baterías:	<input type="checkbox"/> 30 minutos <input type="checkbox"/> minutos	Tensión de descarga final:	1,0 V/celda
Tensión nominal por celda:	1,2 V/celda	Temperatura de operación:	20° a 35°C
Tipo de descarga:	Media	Tensión óptima de flotación a 25 °C:	1,42 V/celda
Tensión óptima de carga rápida a 25 °C:	1,45 V/celda	Tensión de descarga final:	1,00 V/celda
Tensión mínima del banco de baterías:	Indicar	Tensión máxima del banco de baterías:	Indicar
Accesorios o requerimientos adicionales			
Notas:			
1) El número de celdas está en función de la tensión mínima del sistema a una tensión mínima de descarga de 1,00 V/celda. 2) La tensión de carga rápida para el banco de baterías debe ser igual a la tensión máxima del sistema (No. de celdas x 1,45 V/celda).			
3) La tensión nominal del banco de baterías debe ser la más conveniente de acuerdo a la tensión de salida del SFI, a menos que exista algún requerimiento específico establecido por PEMEX, para un proyecto en particular.			

Sistema de Fuerza Ininterrumpible:	
Sistema de Fuerza Ininterrumpible:	<input type="checkbox"/> Tipo PWM Capacidad: kVA:
Sistema de Fuerza Ininterrumpible:	<input type="checkbox"/> Monofásico <input type="checkbox"/> Trifásico
Tensión de alimentación de línea normal y alternativa (V ± 10 por ciento, Hz ± 5 por ciento)	
SFI con salida monofásica:	<input type="checkbox"/> 127 V c.a., 1 F, 2 H, 60 Hz <input type="checkbox"/> 220 V c.a., 2 F, 2 H, 60 Hz <input type="checkbox"/> 480 V c.a., 2 F, 2 H, 60 Hz
SFI con salida trifásica:	<input type="checkbox"/> 220 V c.a., 3 F, 3 H, 60 Hz <input type="checkbox"/> 480 V c.a., 3 F, 3 H, 60 Hz
Tensión de salida (Con salida trifásica, la alimentación debe corresponder a la misma tensión y fases):	<input type="checkbox"/> 120 V c.a., ± 1 por ciento, 1F, 1 neutro, 1 hilo de tierra, 60 Hz ± 0,1 por ciento. <input type="checkbox"/> 220 V c.a., ± 1 por ciento, 3 F, 1 neutro, 1 hilo de tierra, 60 Hz ± 0,1 por ciento. <input type="checkbox"/> 480 V c.a., ± 1 por ciento, 3 F, 1 hilo de tierra, 60 Hz ± 0,1 por ciento.
Altura de Instalación m s.n.m.:	Indicar
Entrada o salida de cables al gabinete de SFI:	<input type="checkbox"/> Normal, parte inferior <input type="checkbox"/> Especial, parte lateral <input type="checkbox"/> Superior
Protocolo de comunicación:	Modbus y Ethernet TCP/IP
Panel de control:	<input type="checkbox"/> Panel mímico <input type="checkbox"/> Pantalla digital LCD
Accesorios o requerimientos adicionales:	Indicar



	CUESTIONARIO TÉCNICO	SISTEMA DE FUERZA ININTERRUMPIBLE DE MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO (PWM)
DESCRIPCIÓN	REQUERIDO	COTIZADO
DATOS GENERALES		
No. de proyecto:	Indicar	
Lugar:	Indicar	
Planta:	Indica	
Clave del equipo:	Indicar	
Cantidad de equipos:	Indicar	
Servicio:	Interior	
Operación:	En línea, doble conversión	
Servicio a sistema de:	Indicar	
Uso:	Industrial Telecomunicaciones	() ()
Tiempo de vida garantizada del SFI y banco de baterías:	20 años	
Cumple con:	800-18111-SNTNR-0115-2008	
BANCO DE BATERÍAS		
Tipo de baterías:	Níquel-Cadmio de placa de acero, sellada, 20 años sin adición de agua, recombinación de gas interna, regulada por válvula de baja presión.	
Tensión nominal c.c.:	Indicar	
Capacidad Ampere-hora (Ah):	Indicar	
Tiempo de respaldo para la carga a alimentar:	Indicar	
Número de celdas:	Indicar	
Tensión nominal por celda:	1,2 V/ celda	
Temperatura de operación:	20-35°C	
Tipo de descarga:	Media	
Tensión óptima de flotación a 25°C:	1,42 V/celda	
Tensión óptima de Carga rápida a 25°C:	1,45 V/celda	
Tensión de descarga final:	1,00 V/ celda	
Tensión mínima banco de baterías:	Indicar	
Tensión máxima banco de baterías:	Indicar	
Accesorios adicionales:	Indicar	
Tensión de flotación por celda:	1,41 – 1,43 V / celda	
Tensión de carga rápida por celda:	1,44 – 1,46 V / celda	
Tensión de flotación banco de baterías:	Indicar mínimo y máximo	
Tensión de carga rápida banco de baterías:	Indicar mínimo y máximo	
Vaso y cubierta de la batería:	Polipropileno, traslucido	
Características de las baterías:	De acuerdo a 800-18111-SNTNR-0115-2008	
Bastidor para baterías:	Abierto de acero estructural, soldado. Color verde PEMEX 628 (Pantone Matching System PM-577).	
Arreglo del bastidor:	Vertical	
Características del bastidor:	Indicar	
Accesorios y herramientas:	De acuerdo a 800-18111-SNTNR-0115-2008	
Cálculos:	Indicar	
SISTEMA DE FUERZA ININTERRUMPIBLE		
Capacidad en kVA:	Indicar	
Capacidad en amperes del SFI:	Indicar	
Tecnología SFI:	PWM	()
SFI:	Monofásico Trifásico	() ()

A.2. Abreviaturas

°C	Grados Celsius (Centígrado).
Ω	Ohm.
A	Amperes.
C. A.	Corriente alterna.
C. C.	Corriente continua.
CCM	Centro de control de motores.
dB	Decibel.
FET	Field Effect Transistor (Transistor de Efecto de Campo).
Hz	Hertz (Frecuencia, ciclos por segundo).
IEC	International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional).
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistors. (Transistor Bipolar de Compuerta Aislada).
kVA	Kilo volt ampere (potencia aparente).
kW	Kilowatt (potencia activa).
LED	Light emission diode (Diodo emisor de luz).
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
MVA	Mega Volt Ampere.
NMX	Norma Mexicana.
NOM	Norma Oficial Mexicana.
NRF	Norma de Referencia.
PLC	Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable).
s	Segundo.
SCR	Silicon Controllet Rectifier (Rectificador Controlado de Silicio).
SFI	Sistema de fuerza ininterrumpible.

TBJ	Transistor Bipolar Junction (Transistor Bipolar de Unión).
THD	Total Harmonic Distortion (Distorsión Armónica Total).
Vc.a.	Volts Corriente alterna.
Vc.c.	Volts Corriente continua.
V	Volts.

A.3. Glosario.

Acometida: derivación que conecta la red del suministrador de energía eléctrica a las instalaciones del usuario. Se aplica también al punto o lugar de alimentación a equipos o subestaciones eléctricas.

Alarma: dispositivo o función que señala la existencia de una condición anormal del proceso por medio de un cambio discreto visible o audible, o ambos, con el propósito de llamar la atención.

Batería: dispositivo constituido por celdas electroquímicas que almacena y proporciona energía eléctrica de corriente continua.

Carga de flotación: es la carga permanente a baja corriente, aproximadamente igual a la pérdida interna y suficiente para mantener la batería en condiciones de carga completa.

Carga de igualación (Carga rápida para baterías selladas): es la carga prolongada hasta un punto tal que se asegure la completa recuperación de la capacidad de la batería.

Cargador de Baterías: equipo electrónico con alimentación de corriente alterna, que entrega corriente directa a una demanda continua o intermitente y suministrando energía para cargar las baterías.

Distorsión armónica: es el grado de deformación de una onda senoidal, causada por frecuencias armónicas. Generalmente se expresa en porcentaje.

Electrolito: es la solución acuosa en la cual la corriente circula en virtud del movimiento de los iones, producto de la reacción química.

Ethernet: Topología de red de área local basada en la IEEE - 802.3, en la cual los dispositivos que están conectados al canal de comunicación compiten por el acceso al mismo, basado en la detección de portadora de acceso múltiple y detección de colisiones (CSMA/CD).

Factor de cresta: es el cociente entre el valor máximo instantáneo del voltaje o de la corriente, y el valor eficaz del voltaje o de la corriente.

Generador: Máquina que transforma energía mecánica en energía eléctrica.

Instrumento: dispositivo para determinar el valor presente de la variable medida, con propósitos de observación, medición y control.

Interruptor: dispositivo diseñado para abrir y/o cerrar un circuito eléctrico por medios no automáticos y para abrir el circuito automáticamente a una sobre corriente en condiciones predeterminadas, sin dañarse a sí mismo, cuando se aplica apropiadamente dentro de su valor nominal.

Interruptor de transferencia: equipo o dispositivo para conmutar entre dos fuentes de energía eléctrica.

Inversor de corriente: equipo electrónico destinado a cambiar instantáneamente corriente continua en corriente alterna, a valores específicos de salida en voltaje y frecuencia.

Límite de corriente: es el valor especificado de corriente de salida de la fuente de alimentación, que no es sobrepasado gracias al empleo de un limitador de corriente fijo o ajustable.

Línea alternativa: circuito alternativo de alimentación al SFI, para cuando sea necesario transferir la carga a la fuente alternativa, para facilitar el mantenimiento del SFI o por problemas en el rectificador o inversor.

Operación en línea: cuando la carga esta continuamente alimentada del inversor y la batería esta siempre conectada a la entrada del inversor.

Oscilador: dispositivo activo para producir una cantidad periódica de la frecuencia fundamental la cual es determinada por las características del dispositivo.

Pemex: se refiere a petróleos mexicanos y organismos subsidiarios.

Rectificador: dispositivo destinado a cambiar instantáneamente corriente alterna en continua.

Retransferencia de carga: conexión de la carga a la salida del inversor después de que se ha realizado una transferencia de carga a la línea alternativa.

Servicio continuo: funcionamiento con una carga prácticamente constante durante un periodo largo indefinido.

Sincronización: acoplamiento de dos o más dispositivos para que trabajen al mismo tiempo.

Sistema de control: conjunto de elementos interconectados para desarrollar funciones de supervisión y control con el propósito de mantener estables las condiciones del proceso.

Sistema eléctrico de emergencia: es una fuente independiente de respaldo de energía eléctrica, que actúa cuando hay una falla en la alimentación normal, proporcionando automáticamente energía eléctrica confiable, durante un tiempo especificado a equipos y aparatos críticos.

Sistema de fuerza ininterrumpible (SFI): combinación de convertidores, interruptores y dispositivos de almacenamiento de energía (baterías para constituir un sistema de potencia eléctrica para mantener la continuidad del servicio cuando se produce una falla en el suministro normal de energía eléctrica.

SFI monofásico: SFI con salida de corriente alterna monofásica.

SFI trifásico: SFI con salida de corriente alterna trifásica.

Sobrecarga: funcionamiento de un equipo excediendo su capacidad nominal, de plena carga o de un conductor que excede su capacidad de conducción de corriente nominal.

Sobrecorriente: cualquier corriente eléctrica en exceso del valor nominal de los equipos o de la capacidad de conducción de corriente de un conductor.

Transferencia de carga: conexión de la carga a la línea alternativa del SFI cuando ocurre una falla o una sobrecarga en el inversor, generalmente lo debe realizar el interruptor estático.

Uso industrial: equipos que deben ser diseñados y construidos para utilizarse en instalaciones donde las condiciones de temperatura, humedad y corrosión son extremas, y deben funcionar normalmente sin detrimento de ninguna de sus características eléctricas y mecánicas.

ÍNDICE GENERAL.

Introducción	vii
Problemática	ix
Justificación	x
Objetivos	xii
Delimitación	xiii
Contenido de la Tesis	xiii
1 Características y Elementos que Conforman a un Sistema de Fuerza Ininterrumpible (SFI) con Modulación de Ancho de Pulso (PWM).	1
1.1 Rectificador – Cargador.	2
1.2 Banco de Baterías.	6
1.3 Acondicionador de Línea.	10
1.4 Inversor de Corriente de Tecnología PWM.	10
1.4.1 Modulación por Ancho de Pulso Senoidal (SPWM).	13
1.4.2 Modulación por Ancho de Pulso Senoidal Modificada (MSPWM).	16
1.4.3 PWM Senoidal trifásica.	17
1.4.4 PWM de 60° y con Tercera Armónica.	18
1.4.5 Parámetros de Rendimiento.	20
1.4.5.1 Factor armónico de la n-ésima armónica (HF_n).	
1.4.5.2 Distorsión Armónica Total (THD).	
1.4.5.3 Factor de Distorsión (DF).	
1.4.5.4 Armónica de Orden más Bajo (LOH).	
1.5 Interruptores.	22
1.5.1 Interruptor Estático de Transferencia Automática.	23
1.5.2 Interruptor Manual de by pass Interno de Transferencia.	24
1.5.3 Interruptor Manual Externo para Mantenimiento.	24
1.6 Sistemas de Alarma, Monitoreo, Control y otros.	24
1.6.1 Protecciones	25
1.6.2 Alarmas e Indicadores	25
1.6.3 Otros Elementos.	26
1.7 Diagrama a Bloques de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.	27
1.8 Estructura Física de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.	28
2 Sistemas, condiciones y requerimientos de operación de un SFI.	29
2.1 Operación del Sistema de Fuerza Ininterrumpible.	29

2.2	Características y Requerimientos Eléctricos.	31
2.3	Otras Características y Requerimientos.	34
2.4	Configuraciones de Operación.	34
2.4.1	Unidad de SFI Estática Sencilla.	34
2.4.1.1	Descripción del Funcionamiento.	
2.4.1.2	Modos de Operación.	
2.4.2	Unidad de SFI Estática Redundante Paralela.	36
2.4.2.1	Modos de Operación.	
2.4.3	Unidad de SFI Estática Dual.	39
2.4.3.1	Modos de Operación.	
2.4.4	Unidad de SFI en Cascada.	41
2.5	Diagrama Unifilar Detallado de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.	42
3	Aplicación de un SFI.	44
3.1	Sistema Energético	44
3.2	Cargas Eléctricas.	45
3.3	Sistemas en un Complejo Petrolero.	47
3.3.1	Sistemas de Seguridad y Control.	47
3.3.2	Sistemas de Fuego y Gas.	49
3.3.3	Sistemas de Telemetría y SCADA.	51
3.3.4	Sistema de Aire Acondicionado, Ventilación y Calor.	52
3.3.5	Telecomunicaciones.	52
3.4	Sistema de Fuerza Ininterrumpible bajo Cargas Eléctricas.	53
3.5	Aplicación en la Industria Petrolera.	57
3.5.1	Características del Módulo Habitacional.	60
3.5.2	Características del SFI instalado.	61
3.5.3	Métodos de Funcionamiento del SFI Instalado.	64
3.5.4	Operación del SFI Instalado.	65
	Conclusiones	69
	Bibliografía	71
	Anexo	74
	A.1. Hoja de Datos y Cuestionario Técnico	74
	A.2. Abreviaturas	76
	A.3. Glosario	77

INTRODUCCIÓN.

Si bien la Electrónica juega un papel primordial en muchas actividades cotidianas gracias a su alto desarrollo tecnológico en semiconductores, una rama de esta tiene aún una presencia importante en la industria, la Electrónica de Potencia.

Muchos de los circuitos que contienen dispositivos de electrónica de potencia permiten controlar mediante señales binarias, aplicadas en la compuerta de disparo, grandes cantidades de corriente y voltaje sin sufrir cambio o modificación alguna, lo que permite su aplicación directa para manejar sistemas que requieran de una alimentación constante, limpia y sin interrupciones.

A los sistemas que más se les aplican estos circuitos son los denominados Sistemas de Fuerza Ininterrumpible (SFI o UPS) de tipo industrial, los cuales tienen la tarea de mantener y entregar energía eléctrica en voltaje y frecuencia requerida y establecida, así como debe estar regulada, libre de distorsiones armónicas y sin interferencias por lo que se mantiene continua.

Estos SFI cuentan con elementos como rectificadores, cargadores, e inversores, todos cuentan con dispositivos basados en la Electrónica de Potencia.

Así mismo estos SFI contienen otros elementos que coadyuvan a mantener las características energéticas requeridas como lo es la Modulación por Ancho de Pulso (PWM), esta modulación es la encargada de entregar la onda de salida de los SFI a la carga tal y como una onda senoidal.

Los SFI industriales son sistemas encargados de otorgar energía confiable y sin interrupciones a grandes cargas eléctricas denominadas cargas críticas, evitando poner así en riesgo la vida y las actividades que de ésta se desprendan.

Estos sistemas son sumamente usados por empresas de altos procesos que necesitan de energía todo el tiempo, como es el caso de Petróleos Mexicanos (PEMEX), que cuentan con requerimientos muy particulares para su instalación en estos centros.

Por lo que el propósito de este trabajo fue desarrollar y plasmar una herramienta de apoyo literario a todo aquel interesado en conocer una aplicación real de los sistemas de energía sin interrupción, al igual de encontrar un lenguaje común entre los fabricantes, los ingenieros de diseño eléctrico y los estudiantes o egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

PROBLEMÁTICA.

La falta de un panorama general que le permita al Ingeniero Mecánico Electricista visualizar y enfocarse en una aplicación inmediata en actividades industriales y/o empresariales existentes, así como promover el interés en mecanismos y sistemas que permitan mantener en óptimas condiciones la alimentación energética en alguna empresa o institución industrial, son factores que permiten hacer una investigación fundamentada y concisa.

La poca o casi nula existencia de materiales de apoyo literario, como lo pueden ser libros, revistas, manuales, o trabajos e investigaciones sobre temas energéticos y más en concreto en sistemas de fuerza ininterrumpible; pone a prueba la capacidad del ingeniero encargado de implementar, mantener o realizar compra de estos sistemas y diseños, dejando en riesgo una línea de negocio o algo más, al desconocer las características de un sistema como tal.

Todo esto trae como consecuencia un lenguaje muy complicado y turbio entre personas encargadas del diseño, mantenimiento e implementación de sistemas energéticos sin interrupción, así como de los fabricantes y personas ajenas que tengan un interés propio en estas arquitecturas y dispositivos.

JUSTIFICACIÓN

Según fuentes de la Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP) y documentos de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) se menciona que desde el último tercio del siglo XIX hasta la fecha, el petróleo es la energía primaria más importante del mundo. Casi todas las actividades económicas en todo el mundo están sujetas al hidrocarburo, como fuente energética, representando alrededor del 40% de las necesidades energéticas mundiales.

Los productos derivados del petróleo lo convierten en uno de los factores que más atañen al desarrollo económico y social, por lo que es de suma importancia en la economía mundial y en los diferentes países donde se produce y dependen en gran medida de esta materia prima. Así en nuestro país las entradas económicas por el precio del combustible constituyen una renta, puesto que se derivan en recibir una remuneración y contribuir al desarrollo público, pero esto no suele ser de una manera ideal y conveniente para todos, ya que existe la posibilidad de una crisis económica, un desajuste en los precios o simplemente la escasez de este hidrocarburo, por lo que es un gran menester el mantener y conseguir una producción de este elemento en todo momento y que no implique un riesgo en la manufactura de dicho combustible por fallas, como el paro de producción por falta de energía eléctrica.

En una situación como lo es la falta de Energía Eléctrica en instalaciones industriales y/o edificios, en donde se llevan a cabo tareas de índole petrolera, es importante contar con un sistema de emergencia energético y así preservar la producción y no llevar así a un cese o paro completo en las actividades de producción que pongan en peligro a la empresa así como su economía, en México existen datos y normatividades que exigen y postulan como se debe actuar, como lo es en la Norma Oficial

Mexicana (NOM-001-SEDE) “Instalaciones Eléctricas” donde establece en el capítulo 7 “Condiciones Especiales”, artículo 700 “Sistemas de Emergencia”, apartado 12, inciso C “Fuentes de Alimentación” El suministro de energía debe ser tal que, en caso de falla del suministro normal al edificio o grupo de edificios, el alumbrado, la energía de emergencia o ambos, estén disponibles dentro del tiempo requerido para tal aplicación, que en todo caso, no debe exceder de 10 segundos.

Ante esta normatividad es necesario tomar en cuenta que en México las actividades petrolíferas están bajo el amparo de Petróleos Mexicanos (PEMEX), quienes a su vez contemplan la necesidad de contar con sistemas de emergencia para prevenir fallas en el suministro de energía eléctrico tanto como en edificios e instalaciones dentro de tierra firme como el caso para las plataformas marinas, así lo exponen en su legislación interna en las Normas de Referencia.

La Norma de Referencia (NRF-048-PEMEX) “Diseño de Instalaciones Eléctricas” establece, en su apartado 8.13, los sistemas de emergencia que están destinados a proveer la energía necesaria para alumbrado, fuerza, control y protección donde la interrupción de la energía eléctrica podría poner en riesgo la integridad de la vida humana, procesos industriales y la línea de negocio, por lo que uno de estos sistemas expuestos es el Sistema de Fuerza Ininterrumpible, que se utiliza en ausencia de una fuente de alimentación normal o de un grupo generador, al igual que en plataformas marinas la Norma de Referencia (NRF-181-PEMEX) “Sistemas Eléctricos en Plataformas Marinas” en su apartado 8.3.2.2 menciona que un Sistema de Fuerza Ininterrumpible deberá suministrar la energía que se requiera, ya sea en corriente directa o alterna, a los servicios de emergencia en caso de falla o disturbios eléctricos, al igual se denomina que para este tipo de sistemas

se debe contar con tecnología de modulación por ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés).

Por lo que en esta investigación se aborda estos sistemas y el papel que desempeña en este tipo de industria, al igual se expone la necesidad de conocer a fondo las características de estos sistemas de generación y dar una amplia gama de requerimientos y operación.

Con base en lo expuesto se plantean los siguientes objetivos para este trabajo:

OBJETIVO GENERAL.

Describir un Sistema de Fuerza Ininterrumpible (SFI) con Tecnología de Modulación de Ancho de Pulso (PWM) de Tipo Industrial y su uso Inmediato en la Industria Petrolera del país.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Enumerar los componentes que conforman un SFI de tipo Industrial.
- Detallar el funcionamiento de cada componente en un SFI y de la Modulación por Ancho de Pulso Senoidal.
- Enlistar las diferentes configuraciones de operación de un SFI.
- Dar a conocer la utilización del SFI en la Industria Petrolera del país, en detalle en PEMEX.
- Mencionar un sistema de generación de energía alterno al suministro de energía eléctrica.

DELIMITACIÓN.

En el presente trabajo no se mencionan y se omiten las características y funciones de los circuitos fabricados y comerciales que se pueden utilizar y emplear para la creación y composición de los sistemas que integran la modulación por ancho de banda, filtros, circuitos de comunicación, entre otros, pretendiendo no hacer más extensa la investigación así como limitar el área de estudio y ofrecer más claridad en lo expuesto.

CONTENIDO DE LA TESIS.

Este trabajo se integra por tres capítulos y un anexo; en el primer capítulo se exponen todas las características y elementos que conforman a un SFI de tipo industrial además de contar con la explicación de la técnica de modulación de ancho de pulso concretamente la senoidal, por otra parte el segundo capítulo se enfoca en las diferentes configuraciones y requerimientos de operación de este SFI y finalizando con el tercer capítulo con la aplicación inmediata de este sistema en petróleos mexicanos (PEMEX) y contando con documentos de adquisición y técnicos, glosario y abreviaturas utilizadas en la investigación integradas en el anexo.

Esta investigación tiene como áreas de estudio la electricidad y el magnetismo, los dispositivos electrónicos y el análisis de señales; pasando por análisis de circuitos y detallando en instalaciones eléctricas, a su vez se habla en detalle de la medición y la instrumentación, así como de la transmisión de datos, circuitos digitales y por supuesto de la electrónica de potencia.

CAPITULO 1

Características y Elementos que Conforman a un Sistema de Fuerza Ininterrumpible (SFI) con Modulación de Ancho de Pulso (PWM).

En las instalaciones de Petróleos Mexicanos (PEMEX), así como en Organismos subsidiarios de esta empresa es necesario instalar sistemas eléctricos de emergencia que proporcionen una seguridad y que destaquen por su continuidad, los cuales se destinan a las actividades que la compañía requiera para su buen funcionamiento en todos los aspectos.

Los sistemas de emergencia basados en los Sistemas de Fuerza Ininterrumpible (SFI, o UPS por sus siglas Uninterruptible Power Supply), deben suministrar un voltaje estable y una frecuencia con mínimas fluctuaciones ante las variaciones de la red de alimentación principal, para proteger a dispositivos que pueden llegar a ser sensibles a estas variaciones de voltaje y disturbios eléctricos como picos de tensión, ruido eléctrico, distorsión armónica, transitorios, entre otros.

Este Sistema depende mucho, de los componentes y circuitos internos que se emplean para otorgar este tipo de energía. El SFI debe estar fabricado para un uso Industrial y operable en línea, el cual incorpora un sistema de Modulación de Ancho de Pulso (PWM por Pulse Width Modulation) para proporcionar un voltaje muy parecido a la onda senoidal de la línea de alimentación principal.

Un SFI, como los fabricantes lo llaman, es “un traje a la medida” ya que contendrá elementos y se fabricará según los requerimientos del lugar, como espacio y medidas, o características eléctricas, como potencia, voltajes trifásicos o monofásicos.

Pero básicamente un SFI está compuesto por:

1.1 Rectificador – Cargador.

El avance en la Electrónica de Potencia ha permitido su adaptación en métodos que permitan realizar sistemas capaces de convertir o manipular la energía como tal, con ella se pueden hacer sistemas capaces de cambiar corrientes alternas a directas o continuas sin la necesidad de dispositivos con un alto volumen.

Como es el caso del Rectificador - Cargador, que se compone de tiristores (figura 1.1), capaces de funcionar como interruptores biestables, funcionando de un estado conductor a un estado no conductor, estos tiristores se denominan rectificadores controlados de silicio (SCR) y son utilizados debido a su bajo costo, alta eficiencia, robustez, especificación de alto voltaje y corriente y uso de frecuencias de 50 y 60 Hertz¹ lo que permite su operación en la industria.

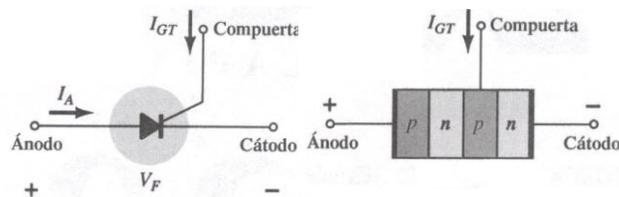


Figura 1.1 SCR

Esta clase de tiristores inician su conducción en sentido de la línea de alimentación, cuando se destina un pulso de disparo de corriente de la compuerta al cátodo, el dispositivo entra en conducción y para interrumpir este paso de corriente, sólo es necesario eliminar dicho pulso; en las Especificaciones Técnicas de Sistemas de Fuerza Ininterrumpible de PEMEX² obliga a los fabricantes a elaborar sus productos con rectificadores controlados por fase y que contengan una rectificación de onda completa mínimo de 6 pulsos.

1. **Electrónica de potencia**. MUHAMMAD H. RASHID; Pearson Educación, 2004.

2. **Especificación Técnica Sistema de Fuerza Ininterrumpible de Tecnología PWM**. PEMEX; GNT – SSNP – E003 – 2005.

O para reducir su distorsión eléctrica y contar con más potencia se realiza un puente de 12 pulsos, como se puede apreciar en las siguientes figuras.

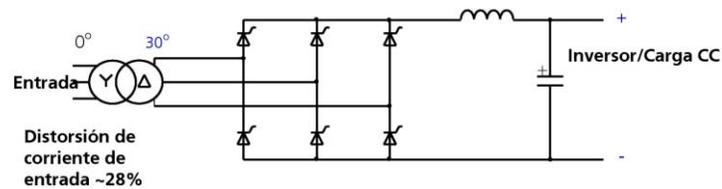


Figura 1.2 Rectificador 6 pulsos

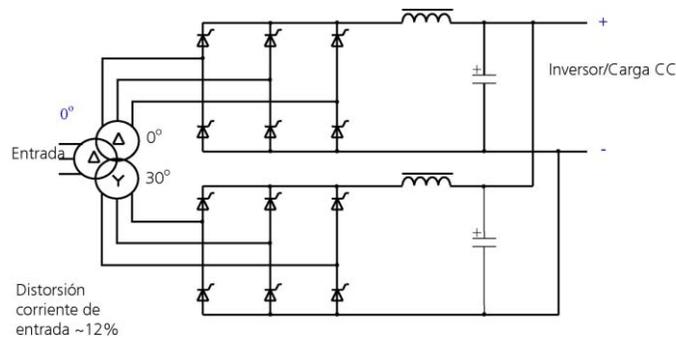


Figura 1.3 Rectificador 12 pulsos

Este Rectificador - Cargador se encuentra gobernado por un microprocesador el cual dictamina el orden de encendido y apagado así como los tiempos de conmutación diseñados para conseguir un voltaje de corriente continua preferente a las necesidades del sistema.

A la salida del Rectificador - Cargador se debe mantener un voltaje regulado y contar con un filtro RC para eliminar las perturbaciones eléctricas así como su nivel de armónicas, manteniendo a un valor de +/- 2% volts en RMS³ el valor del voltaje nominal y un factor de rizo predominantemente bajo.

3. **Norma de Referencia Sistemas Eléctricos de Emergencia.** PEMEX; NRF – 091 – PEMEX – 2007.

Por lo que el Rectificador - Cargador funciona como cargador del banco de baterías destinadas para la energía auxiliar en caso de falla, este elemento se destina a la alimentación del consumo constante de amperes en corriente continua de las baterías en reposo (Stand by) en dos regímenes de operación, y así llevarlas a una carga de igualación⁴ (recarga de batería), con lo que se consigue mantenerlas cargadas (carga de flotación)⁵ para cuando sea necesario emplearlas.

Además se cuenta con elementos como temporizadores programables de 0 a 100 horas, limitadores de corrientes ajustables entre el 90 y 125 % de la corriente nominal, lo que permite al Rectificador – Cargador operar a plena carga con una diferencia de potencial de entrada del +/- 10% del voltaje nominal y una frecuencia de +/- 5 Hertz con respecto a la frecuencia de entrada de 60 Hertz; cuando la corriente exceda el valor de ajuste, el equipo regula el voltaje de salida, con lo que cuenta con mecanismos y sensores encargados de emitir una señal de alarma y en ocasiones corte o disparo de señal para esta situación⁶.

Generalmente la capacidad de corriente de los cargadores asciende de 6 a 30 amperes en cargadores monofásicos y de 35 a 600 amperes para cargadores trifásicos.

4. **Norma de Referencia Cargador y Banco de Baterías.** PEMEX; NRF – 196 – Pemex – 2008.

5. **idem**

6. **Norma de Referencia Sistemas Eléctricos de Emergencia.** PEMEX; NRF – 091 – PEMEX – 2007.

Así que para poder calcular la corriente de salida de un cargador de baterías se puede utilizar la siguiente fórmula⁷:

$$A = \left[\frac{C_5 * F_c}{N} \right] + a(b)$$

Donde:

A = Capacidad de cargador de amperes.

C₅ = Capacidad de la batería en amperes-hora durante 5 horas.

F_c = Factor de sobre carga de las baterías

(1.2 para baterías de tipo Niquel-Cadmio).

N = Número de horas necesarias para realizar una recarga de baterías.

a(b)= Carga básica que debe alimentar el cargador.

Por otra parte el Rectificador – Cargador debe ser capaz de alimentar la carga total y recargar la batería desde condiciones de descarga total hasta el 75% de su capacidad en 8 horas de operación en requerimientos climáticos como lo son la altitud y la temperatura⁸.

En este conjunto también se cuenta con protecciones mínimas como son interruptores magnéticos contra entrada de corriente alterna, para protección de salida de corriente continua, protección de baterías y cuchillas desconectoras para dar mantenimiento.

Consta por otra parte de elementos que coadyuvan al monitoreo y control del cargador como son los instrumentos de medición (amperímetros, voltímetros) alarmas para fallas, cargas, fluctuaciones y disturbios eléctricos.

7. Norma de Referencia Cargador y Banco de Baterías. PEMEX; NRF – 196 – PEMEX – 2008.

8. Idem

Todos los componentes del conjunto de Rectificador – Cargador operan de una manera independientemente y para un sistema trifásico se puede operar y administrar energía hasta un 66% de la carga con la falla o pérdida en una de las tres fases de entrada; a este conjunto se le diseña con un factor de potencia igual o mayor al 0.8⁹.

1.2 Banco de Baterías.

Una vez convertida la señal de corriente alterna a corriente directa por el rectificador, el voltaje de salida es aplicado tanto como al inversor, como al cargador de baterías y a su vez, este cargador, se encarga de alimentar a las baterías cuando de ellas no depende la alimentación eléctrica, es decir cuando no hay falla en el suministro eléctrico.

En las baterías es donde yace la capacidad del sistema para sobreponerse a una falla en el suministro de energía y alimentar la carga destinada, evitando así más complicaciones.

Hay dos tipos de baterías empleadas, las de plomo ácido y las alcalinas, pero para una mejor eficiencia y respaldo es necesario utilizar baterías alcalinas de una aleación de hidróxidos de Níquel, como polo positivo y Cadmio como polo negativo (Ni-Cd), las cuales ofrecen mejores características comparables con las Baterías de Plomo ácido; una de ellas, y al parecer la más importante, es la conveniencia de que este tipo de baterías pueden ser descargadas en su totalidad y no sufrir ningún daño o cambio en sus celdas que la conforman, al igual que si reciben una polarización inversa permanecerá sin distorsión.

9. Norma de Referencia Sistemas Eléctricos de Emergencia. PEMEX; NRF – 091 – PEMEX – 2007.

Las baterías de Ni – Cd tienen una vida útil de 20 años lo que previene de muchos factores preventivos y genera un ahorro económico, evitando un despliegue de corrosión en sus terminales y garantizando la seguridad al manipularlas, con esto se puede operar e instalar un banco de baterías dentro de instalaciones en tierra firme o en plataformas marinas según donde el SFI sea instalado.

A su vez la mayoría de las baterías de Ni – Cd integran válvulas de baja presión que permiten incorporar los pequeños gases desprendidos por las celdas y recombinarlas con la sustancia electrolítica, lo que evita añadir agua para prolongar su vida útil. Operan a temperaturas que oscilan entre 0° C y los 40° C y se mantienen físicamente estables en temperaturas extremas como -50° C y 70° C¹⁰.

Este tipo de baterías contienen 1.2 Volts por cada celda y un voltaje al final de una descarga de aproximadamente 1.0 Volts y en casos de extrema temperatura 0.86 Volts.

Según las normas de referencia de petróleos mexicanos¹¹ la sustancia electrolítica es una solución acuosa de Hidróxido de Potasio (KOH), con una densidad que oscila entre 1.16 y 1.25 a temperatura de 25° C, así como Hidróxido de Litio (LiOH) mezclados con agua destilada o desionizada.

La capacidad de las baterías es expresada en Amperes-hora (Ah) por lo que debe ser referida a un tiempo de descarga de 5 horas, contando siempre con un rango de temperaturas de 20° C a 25° C.

10. Fuentes de la empresa Gutor – Alcad

11. **Norma de Referencia Cargador y Banco de Baterías**. PEMEX; NRF – 196 – PEMEX – 2008.

En la figura 1.4 se puede apreciar la construcción y disposición de una batería comercial de uso industrial.



Figura 1.4 Batería

Estas baterías son instaladas en soportes metálicos que previenen su desorden, facilitando su operación y mantenimiento, a este conjunto de soportes y baterías se le denomina Racks de baterías y el número de baterías instaladas dependerá de la potencia del sistema, un ejemplo de ello es la figura 1.5.



Figura 1.5 Rack de Baterías

1.3 Acondicionador de Línea.

El aumento de aparatos sensibles a las variaciones de voltaje provocó una demanda continua de dispositivos capaces de garantizar el suministro de un voltaje estable e independiente de las variaciones de la red de alimentación.

El acondicionador de línea también es conocido como transformador acondicionador de línea o transformador de aislamiento del rectificador, y algunos fabricantes lo denominan estabilizadores de tensión; utilizado para tener un aislamiento eléctrico de la fuente de alimentación alternativa y adecuar el voltaje de entrada al Rectificador – Cargador con lo que cuenta con supresores de onda en el lado primario y filtros en el secundario evitando efectos de armónicas y ruidos magnéticos.

Este transformador, según las disposiciones que se requieran para el SFI, puede ser tanto monofásico o trifásico, la conexión del transformador de tipo trifásico es Delta – Estrella ($\Delta - Y$), es de tipo seco y factores de protección que oscilan en $k = 13$ para las cargas que no sean lineales y protección de entrada a través de un interruptor termomagnético de 25kA de CC mínimamente, enfriamiento de aire-aire (A-A) con una variación de voltaje de entrada $\pm 10\%$ y una regulación de voltaje de $\pm 1\%$ bajo cualquier carga de 0 a 100%.

1.4 Inversor de Corriente de Tecnología PWM.

El sistema que se encarga de convertir un voltaje de corriente directa a una corriente alterna se le denomina inversor, la salida de voltaje deseada de un inversor se caracteriza por ser simétrica con magnitud y frecuencia determinada por la necesidad y la aplicación requerida.

En este elemento se encuentran dispositivos, capaces de generar una señal con características similares a una señal senoidal, que gracias a su alta velocidad de conmutación y su disponibilidad permiten eliminar las distorsiones que se pudieran generar y entregar una señal casi limpia proveniente de una energía almacenada en las baterías y se pueden encontrar inversores monofásicos e inversores trifásicos.

La modulación por ancho de pulso (PWM por Pulse Width Modulation) permite gobernar los dispositivos de conmutación del sistema inversor, la característica fundamental de esta modulación reside en que a un voltaje de entrada no variable ni controlable, como es el caso de la energía proporcionada por las baterías, se puede obtener un voltaje de salida variable con sólo modificar la ganancia del inversor la cual se define como la relación entre el voltaje de salida en corriente alterna y el voltaje de entrada de corriente directa o continua.

Así pues la característica del inversor y su eficiencia dependerán en gran medida de que tan calificada y óptima sea su modulación por ancho de pulso la cual se obtiene mediante diversos métodos, como lo menciona el autor MUHAMMAD H. RASHID en su obra Electrónica de potencia.

- Modulación por ancho de un solo pulso
- Modulación por ancho de pulsos múltiples
- Modulación por ancho de pulso senoidal
- Modulación por ancho de pulso senoidal modificado

Pero este trabajo sólo se enfocará a mencionar la modulación senoidal ya que es ella la utilizada e integrada en los sistemas de fuerza ininterrumpible de uso industrial.

El principio de operación de un inversor constituido básicamente por dos dispositivos conmutadores, para el caso de un inversor de medio puente, o cuatro dispositivos, para un inversor de onda completa y una fuente de corriente directa dividida por una rama de capacitores, figura 1.6, puede ser explicado de la siguiente manera; cada elemento conmutador permite que fluya la corriente a través de él de acuerdo a la señal de control aplicada en la terminal denominada compuerta, durante un tiempo, todo esto mediante la modulación por ancho de pulso y así otorgar a la carga una señal de salida, pero como se ve en la figura 1.7, no es conveniente ni parecida a una señal senoidal entrega por el sistema energético principal.

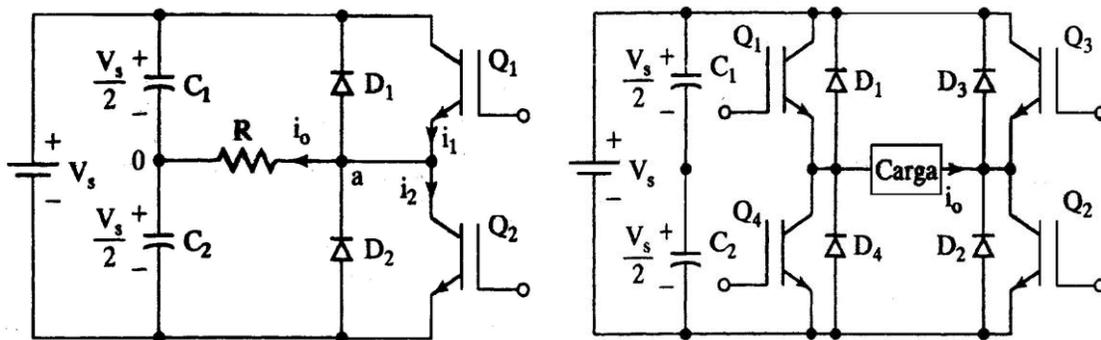


Figura 1.6 Inversor de ½ Puente y Puente Completo

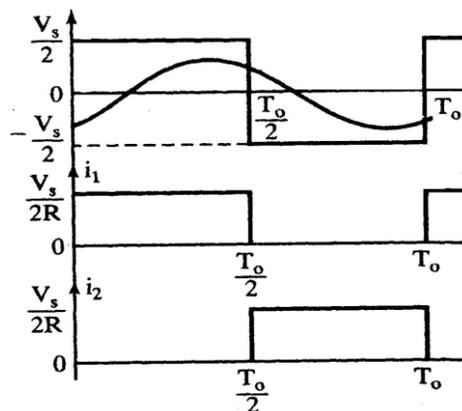


Figura 1.7 Voltaje de Salida del Inversor

1.4.1 Modulación por Ancho de Pulso Senoidal (SPWM).

En el método de PWM convencional las señales de disparo que provocan que los elementos de conmutación enciendan o apaguen para generar un voltaje de salida, son generadas comparando una señal de referencia, contra una señal portadora triangular, generada en las tarjetas de control, pero esta metodología, como se mencionó, entrega una señal con características semejantes a una onda cuadrada lo que provoca grandes armónicas y distorsiones eléctricas no deseables, figura 1.8.

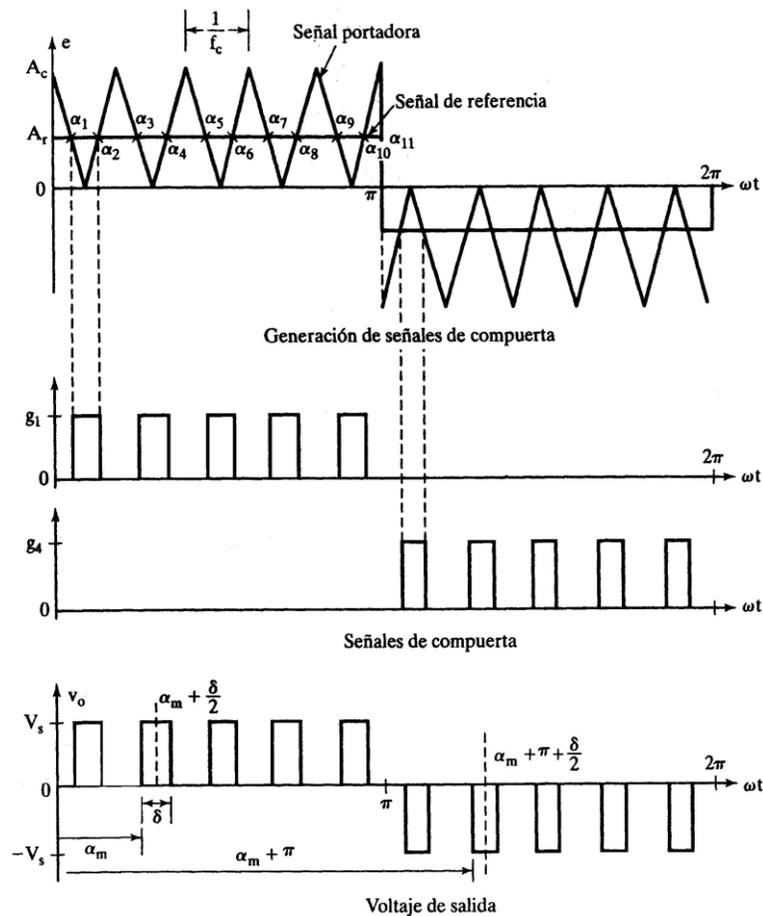


Figura 1.8 Modulación por Ancho de Pulso

Por lo que en la SPWM en lugar de mantener igual todos los anchos de pulso se hace variar el ancho de cada pulso en proporción con la amplitud de una

onda senoidal comparada en el mismo centro del pulso reduciendo considerablemente los parámetros de rendimiento del inversor.

Las señales de control se generan comparando una señal senoidal de referencia con una onda portadora triangular de frecuencia f_c , la frecuencia f_r de la señal de referencia determina la frecuencia f_0 de la salida del inversor, y su amplitud pico A_r controla el índice de la modulación de amplitud, definido como A_r entre A_c , y por ende el voltaje rms de salida V_0 .

Cuando se compara la onda portadora bidireccional v_{cr} con dos señales de referencia, v_r y $-v_r$, se producen las señales de disparo g_1 y g_4 , así el voltaje de salida es

$$V_0 = V_s (g_1 - g_4)$$

Pero g_1 y g_4 no se pueden liberar al mismo tiempo, por lo que la cantidad de pulsos por medio ciclo depende de la frecuencia de la portadora, en un inversor de dos dispositivos de conmutación no pueden conducir al mismo tiempo, ya que generaría un cambio extraordinario en la salida deseada; por lo que se generan las mismas señales de disparo con una onda portadora triangular unidireccional.

El algoritmo para la secuencia de disparo es:

1. Generar una señal portadora triangular v_{cr} de periodo de conmutación $T_s = T/2\rho$.
2. Comparar v_{cr} con una señal senoidal de referencia $v_r = V_r \text{ sen } \omega t$ para producir la diferencia $v_e = v_{cr} - v_r$, que debe pasar por un limitador de ganancia (atenuador) para producir una onda cuadrada con un periodo de conmutación T_s .
3. Para producir la señal de disparo g_1 , multiplicar la onda cuadrada que resulta por una señal unitaria v_2 .

4. Para producir la señal de disparo g_4 , multiplicar la onda cuadrada por una onda inversa de v_2 .

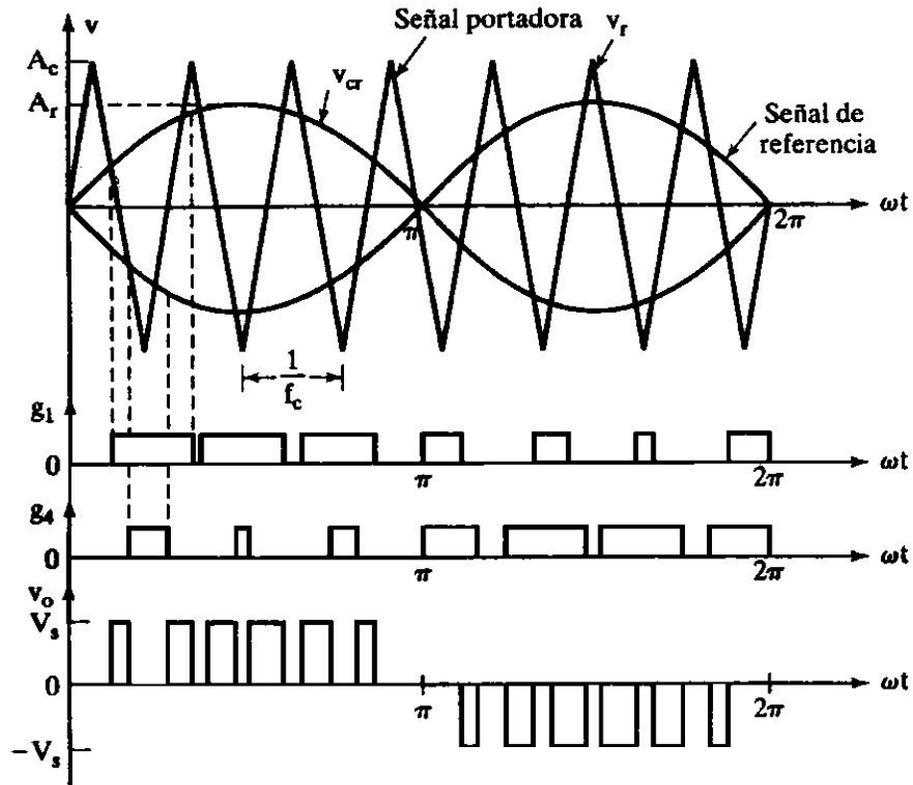


Figura 1.9 Modulación por ancho de Pulso Senoidal

Se puede apreciar en la figura 1.9 que el área de cada pulso corresponde aproximadamente al área bajo la onda senoidal entre los puntos medios aproximados de los periodos de apagado de las señales de disparo.

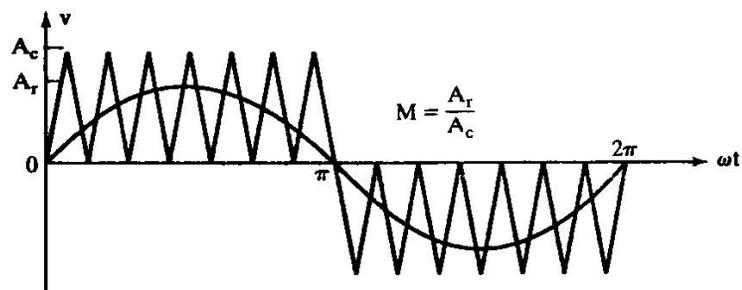


Figura 1.10 Índice de Modulación Senoidal

En el voltaje de salida de un inversor se tiene un nivel moderado de armónicas pero la PWM permite empujar éstas a una región de alta frecuencia entorno a la frecuencia de conmutación de la onda triangular y sus múltiplos, lo que permite eliminar las perturbaciones con un filtro pasa-baja.

1.4.2 Modulación por Ancho de Pulso Senoidal Modificada (MSPWM).

La MSPWM (por Modified Sinusoidal Pulse Width Modulation) se basa en aplicar la onda portadora durante los primeros y últimos intervalos de 60° por medio ciclo, que en un medio ciclo de 180° se aplicaría sólo de 0° a 60° y de 120° a 180° . Modificando así la modulación por ancho de pulso senoidal, figura 1.11, y trayendo como consecuencia un aumento en la componente fundamental mejorando el nivel de armónicas, reduciendo la cantidad de conmutación de los dispositivos, así como reduciendo las pérdidas de conmutación.

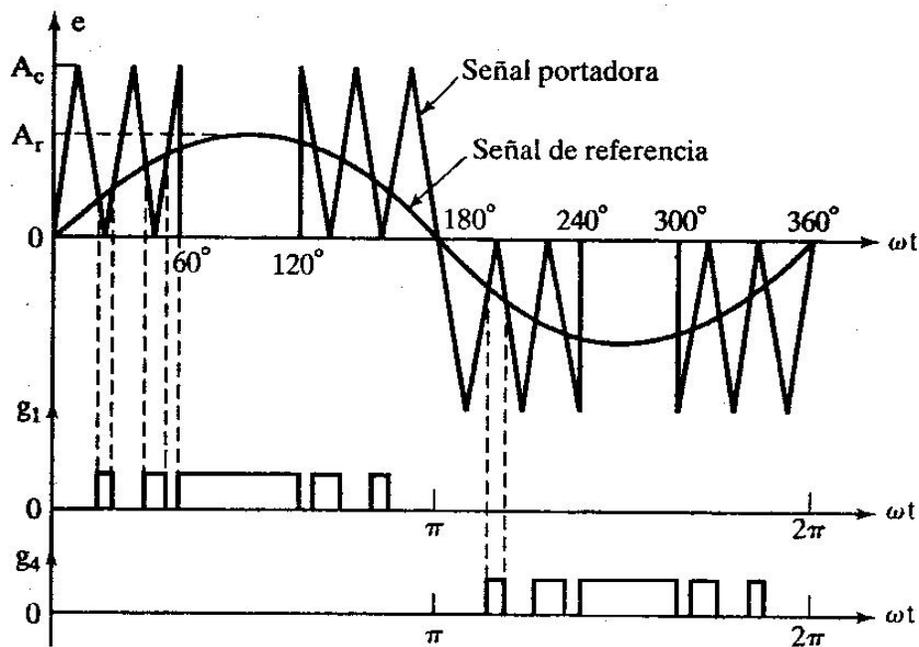


Figura 1.11 Modulación por Ancho de Pulso Senoidal Modificado

El algoritmo para generar las señales de compuerta es parecido al SPWM anterior, pero la señal de referencia es una onda senoidal empleada sólo de 60° a 120° .

Para inversores trifásicos no sólo es cuestión de manejar 3 inversores monofásicos y que la salida de cada uno de ellos es desplazada 120° , sino que las técnicas que más se usan en los inversores trifásicos son las siguientes:

1.4.3 PWM Senoidal trifásica.

Existen tres ondas senoidales de referencia, v_{ra} , v_{rb} , y v_{rc} desplazadas 120° . Se hacen comparar con una onda portadora correspondiente a una fase, generando así las señales de compuerta de esa fase. Comparando v_{cr} con las fases de referencia v_{ra} , v_{rb} , y v_{rc} respectivamente, se producirá g_1, g_3 y g_5 , dando como resultado el voltaje de salida instantáneo $v_{ab} = V_s(g_1 - g_3)$, figura 1.12.

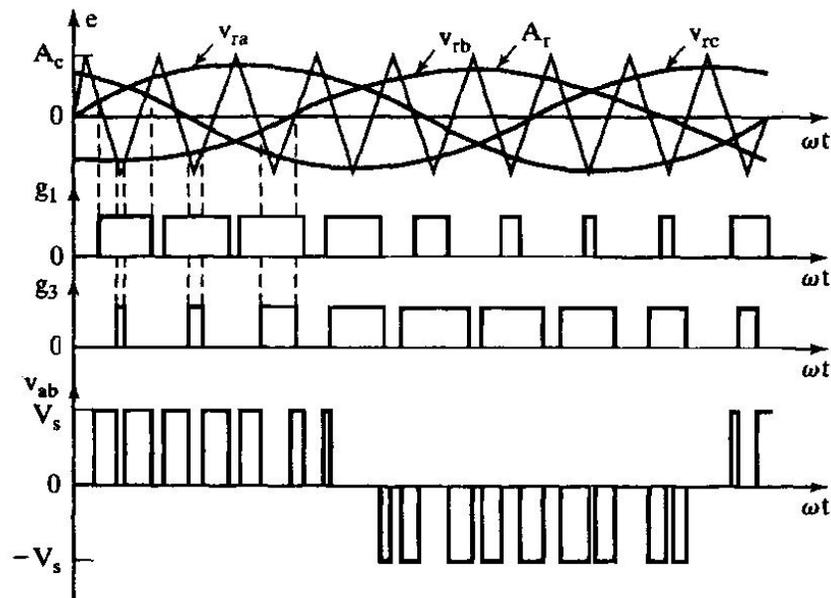


Figura 1.12 PWM Senoidal Trifásica

El voltaje de salida se genera eliminando la condición de que dos dispositivos de conmutación en el mismo ramal no puedan conducir al mismo tiempo, pero la frecuencia portadora normalizada m_f debe ser múltiplo impar de tres, para que todos los voltajes de fase sean idénticos y desplazados 120° y con la característica de la ausencia de armónicas pares.

1.4.4 PWM de 60° y con Tercera Armónica.

La PWM de 60° , figura 1.13; es muy parecida a la MSPWM ya que su concepto de mantener achicada la onda desde 60° hasta 120° y posteriormente de 240° a 360° , es decir eliminar los picos de onda; permite que los dispositivos conmutadores se mantengan encendidos durante un tercio del ciclo con pleno voltaje y reduciendo sus pérdidas, las armónicas 3^a , 9^a , 15^a , 21^a , 27^a (múltiplos de tres), están ausentes en los voltajes trifásicos.

Esta modulación permite tener una onda fundamental mas grande ($2/\sqrt{3}$) y usa más del voltaje disponible proveniente en CD (aprox. $V_p = 0.57735 V_s$) y un voltaje de línea igual al de salida ($V_L = V_s$).

La PWM con tercera armónica, figura 1.14, se genera inyectando a la onda de referencia una armónica seleccionada y se implementa como PWM senoidal trifásica, pero la onda de CA no es senoidal, sino que consiste en una componente fundamental y una componente de tercera armónica, que da como resultado que la amplitud de pico a pico de la onda de referencia que resulta no rebasa el voltaje de alimentación de CD V_s , y resulta mayor al voltaje de alimentación disponible.

Al inyectar una tercera armónica permite obtener una componente de ésta en cada fase y así anularla al final, dando finalmente voltajes de fase a neutro senoidales con una amplitud de pico $V_p = V_s / \sqrt{3} = 0.57735 V_s$ al igual

que la componente fundamental; el voltaje de pico de línea es $V_L = \sqrt{3}V_p = \sqrt{3} \cdot 0.57735 V_s$ y todo esto resulta mayor a un 15.5% en amplitud que la PWM senoidal trifásica anterior¹².

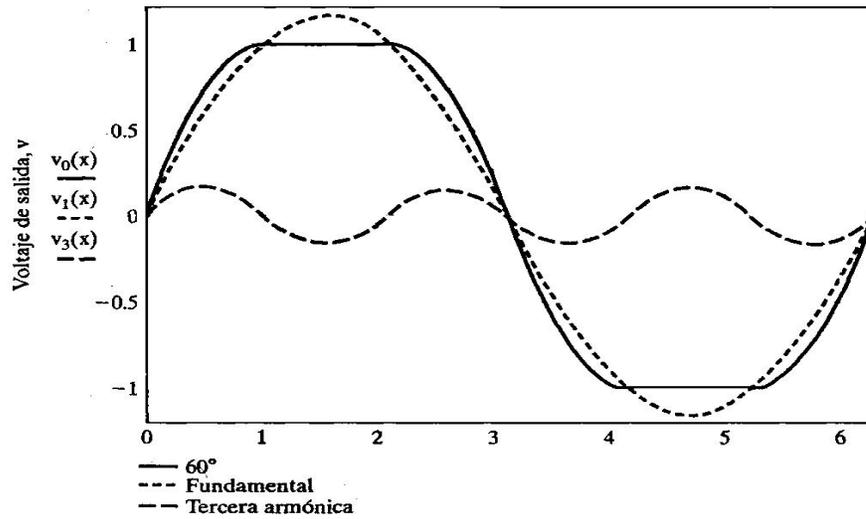


Figura 1.13 PWM de 60°

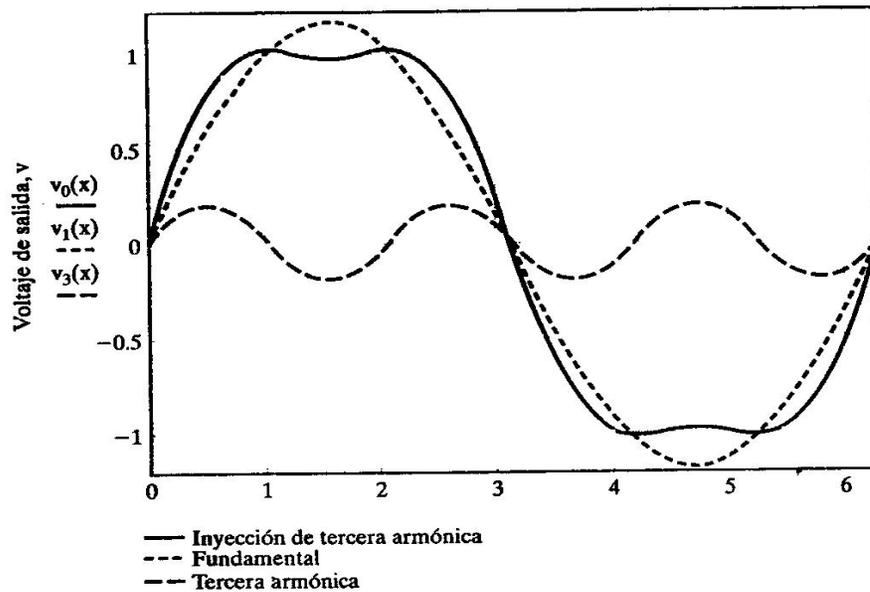


Figura 1.14 PWM con Tercera Armónica

12. Electrónica de potencia. MUHAMMAD H. RASHID; Pearson Educación, 2004.

En todos los métodos de PWM que se mencionaron se toman en cuenta los parámetros de rendimiento, éstos parámetros son los indicadores de la calidad de un inversor, por lo que es importante mencionarlos.

1.4.5 Parámetros de Rendimiento.

1.4.5.1 Factor armónico de la n-ésima armónica (HF_n). El factor armónico HF_n es una medida de contribución individual de esa armónica definida como:

$$HF_n = \frac{V_{on}}{V_1} \text{ para } n > 1$$

Donde: V_1 = valor rms de la componente fundamental

V_{on} = valor rms de la n-ésima componente armónica.

1.4.5.2 Distorsión Armónica Total (THD). Este parámetro se define como la coincidencia de formas entre una onda y su componente fundamental calculada como:

$$THD = \frac{1}{V_1} \left(\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_{on}^2 \right)^{1/2}$$

Así la THD expresa el contenido total de armónicas, pero no indica el nivel de cada componente armónico, por lo que es conveniente conocer su magnitud, para poder atenuarlas.

1.4.5.3 Factor de Distorsión (DF). El DF indica la cantidad de distorsión armónica impregnado en cada determinada forma de onda después de ser sometida a un filtro de segundo orden, es decir dividir las entre n^2 y se define como:

$$DF = \frac{1}{V_1} \left[\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} \left(\frac{V_{on}}{n^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Y el DF de cada armónica individual se expresa como:

$$DF_n = \frac{V_{on}}{V_1 n^2} \text{ para } n > 1$$

1.4.5.4 Armónica de Orden más Bajo (LOH). Este parámetro es aquel componente armónico cuya frecuencia se acerca más a la de la componente fundamental, y su amplitud es mayor o igual al 3% de la fundamental.

Lo que se menciona anteriormente solo se trata de la forma de comportarse un sistema PWM, pero esta modulación no tendría tanto éxito sin la tecnología de sus dispositivos de conmutación, por lo que una parte fundamental de los inversores es la calidad de estos semiconductores.

El sistema inversor esta compuesto por dispositivos conmutadores a base de transistores de potencia denominados transistores bipolares de puerta aislada IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), estos son elementos sencillos y aplicados como interruptor controlados en circuitos de electrónica de potencia, pero tienen la capacidad de resistir a voltajes bipolares. Este dispositivo posee las características de las señales de puerta de los transistores de efecto campo (FET) con la capacidad de alta corriente y voltaje de baja saturación del transistor bipolar (TBJ), combinando una puerta aislada del FET para la entrada de control y un transistor bipolar como interruptor en un solo dispositivo, figura 1.15

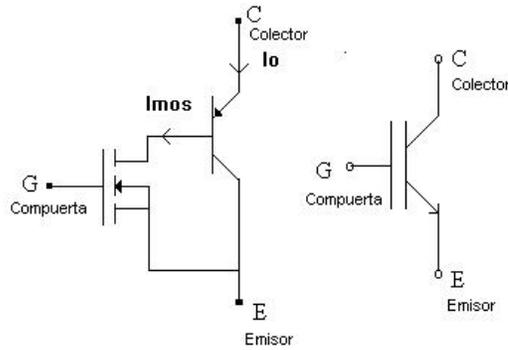


Figura 1.15 Igbt

Además cuenta con capacidades de corriente desde 25 Amperes hasta 2400 Amperes, y voltajes comerciales desde 120 Volts hasta 6000 Volts, y manejar una frecuencia máxima de 100 kHz y un tiempo de conmutación desde 5 a 10 μs ¹³.

Este es un dispositivo para la conmutación en sistemas de alta tensión. El voltaje de control de la puerta es de alrededor de 15 Volts. Esto ofrece la ventaja de controlar sistemas de potencia aplicando una señal eléctrica de entrada muy débil en la compuerta de control.

Además de estos elementos el inversor proporciona una regulación de voltaje de +/- 1% bajo cualquier condición de carga y voltaje de entrada.

1.5 Interruptores.

El Sistema de fuerza ininterrumpible no solo debe contar con componentes capaces de realizar la función para la cual fueron empleados, sino contará con mecanismos que permitan ayudar a realizar estas funciones; los interruptores y switches que se utilizan realizan entonces las “maniobras” necesarias para que el SFI este en un nivel óptimo y realice su tarea destinada.

13. Electrónica de potencia. MUHAMMAD H. RASHID; Pearson Educación, 2004.

1.5.1 Interruptor Estático de Transferencia Automática.

Cuando el voltaje de descarga dentro del banco de baterías es alcanzado o una falla dentro del sistema inversor ocurra, el SFI debe mantener una ininterrupción de alimentación en la carga, es por ello que transfiere la carga a la línea alternativa de alimentación de forma automática, este elemento es el que permite realizar dicha acción, al interruptor de transferencia también se le denomina “by pass electrónico interno”; y se compone de tiristores denominados SCR (mencionados anteriormente) conectados espalda con espalda, figura 1.16.

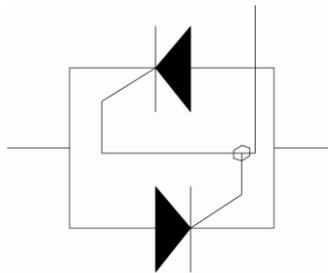


Figura 1.16 Interruptor Estático

En ambas fuentes de energía se instalan y son capaces de soportar una sobrecarga de 1000% de la corriente nominal por 10 milisegundos¹⁴, la velocidad de transferencia oscila en 0.0041667 aproximadamente o ¼ de ciclo.

Por ende este interruptor también permite poner en marcha al SFI y alimentar la carga crítica si hay una interrupción de energía, además de estas situaciones el control lógico que gobierna a estos dispositivos debe mandar a actuar al interruptor cuando se presente fallas en el inversor, cuando haya presencia de una sobrecorriente en el inversor, así como actuar cuando hay un voltaje de salida del inversor superior o de igual magnitud al +/- 10% del valor nominal y desconectar el SFI cuando se detecte un bajo voltaje de corriente continua o un corto circuito.

14. Norma de Referencia Sistemas Eléctricos de Emergencia. PEMEX; NRF – 091 – PEMEX – 2007

1.5.2 Interruptor Manual de by pass Interno de Transferencia.

Para efectos de mantenimiento en el SFI se debe contar con un mecanismo que permita desconectar el sistema de la carga sin necesidad de tener la asistencia del Interruptor Estático para asegurar la interrupción a la carga, este Interruptor Manual de puenteo (by pass) es un interruptor de modo manual para la transferencia de la carga a la fuente alternativa o línea de alimentación principal y facilitar el mantenimiento del SFI, este interruptor debe cerrar antes de abrir para asegurar la transferencia, es decir es de tipo tambor rotatorio permitiendo la transición cerrada.

1.5.3 Interruptor Manual Externo para Mantenimiento.

Este tipo de interruptor al igual que el anterior permite dar mantenimiento al SFI en una forma íntegramente manual, pero este se aloja de manera independiente fuera del sistema y es monofásico o trifásico dependiendo de las características del sistema, a su vez esta en relación a los voltajes y corrientes manejados, se compone principalmente de un interruptor tipo giratorio, así como un interruptor termomagnético de entrada de la fuente, y esta sincronizado con las dos fuentes de alimentación.

1.6 Sistemas de Alarma, Monitoreo, Control y otros.

Un Sistema de Fuerza Ininterrumpible no puede permanecer sin un monitoreo, rastreo de trabajo y sobre todo protecciones para que no pongan en peligro al personal que labore cerca de este o arriesgue la producción industrial, es por ello que dentro de todos los componentes que conforman a este sistema es importante mencionar aquellos que prevén alguna contingencia o eliminan patrones no deseados en la operación y manejo de un SFI.

1.6.1 Protecciones

El SFI cuenta con interruptores termomagnéticos de entrada de corriente alterna tanto como para la línea principal como para la alternativa y un interruptor termomagnéticos de corriente directa o continua para el banco de baterías.

1.6.2 Alarmas e Indicadores

Los SFI's cuentan con tarjetas de control que no sólo ayudan para el sistema PWM, sino que indican el estado de todos los componentes, poseen pantallas de LCD o digitales y/o paneles mímicos, que indican los flujos de la energía, condición de operación, tiempo de respaldo de baterías e indicación en porcentaje de la carga utilizada; también se pueden encontrar sistemas con pantalla, teclado y con medidores eléctricos (como voltímetros, amperímetros, factor de potencia, entre otros) para denotar y medir eventos fuera de lo normal, voltaje de entrada y salida hacia al rectificador o hacia el inversor (CA o CD, respectivamente), amperes de entrada proveniente del banco de baterías y así como la frecuencia de entrada y salida que es primordial para la sincronización del inversor con el sistema de alimentación principal.

El sistema de alarma se hace con indicadores luminosos y sonoros; la alarma denota eventos como fallas en la alimentación principal, fallas en la fuente de respaldo, fallas en el sistema de enfriamiento, bajo voltaje, uso del banco de baterías, fallas tanto en el cargador de baterías y en el inversor, sobrecargas en las baterías, sobre cargas en la salida y otros eventos especiales dependiendo de las necesidades del SFI.

Las alarmas luminiscentes son tipo LED (Light Emission Diode) de alta luminosidad y protegidos contra destello por picos de voltaje.

1.6.3 Otros Elementos.

Además de contar con todo lo anterior se disponen también en este tipo de Sistemas de uso industrial, puertos de comunicaciones y control como puertos de salida RS- 232, definido como un protocolo internacional de transmisión serial entre dos dispositivos utilizando señales de voltaje para comunicarse a una distancia no mayor de 15 metros; otro puerto que se anexa es el RS-485, este protocolo de comunicación se base en un método diferencial que permite enlazar a 32 dispositivos y comunicarlos sobre un mismo canal a una distancia no mayor de 1200 metros.

El SFI cuenta con software de monitoreo y diagnóstico, con protocolos de comunicación modbus (protocolo de comunicación en lenguaje estructurado manejando maestro y esclavo) y Ethernet TCP/IP (topología de red local basada en la norma IEEE – 802.3, Protocolo de Control de Transporte / Protocolo Internet) y memorias en la tarjeta de control para almacenar los últimos eventos (aproximadamente 100) ocurridos en el SFI.

Y finalizando con elementos importantes que integran un SFI, el sistema de enfriamiento destaca por su necesidad de mejorar el ambiente interno en el cual se integra el Sistema de Fuerza Ininterrumpible, ya que consiste en un ventilador que se acciona mediante una señal en la tarjeta de control y donde es monitoreado, este elemento recircula el aire interno y proporciona mejores condiciones de operación dentro del SFI.

1.7 Diagrama a Bloques de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.

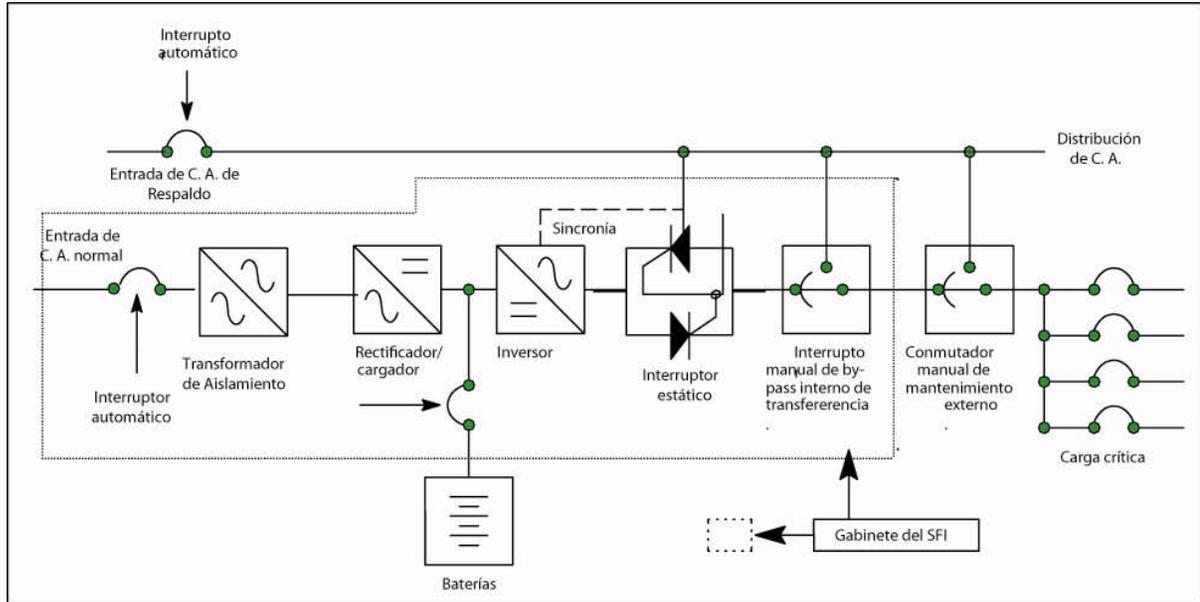


Figura 1.7 Diagrama a Bloques

1.8 Estructura Física de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.

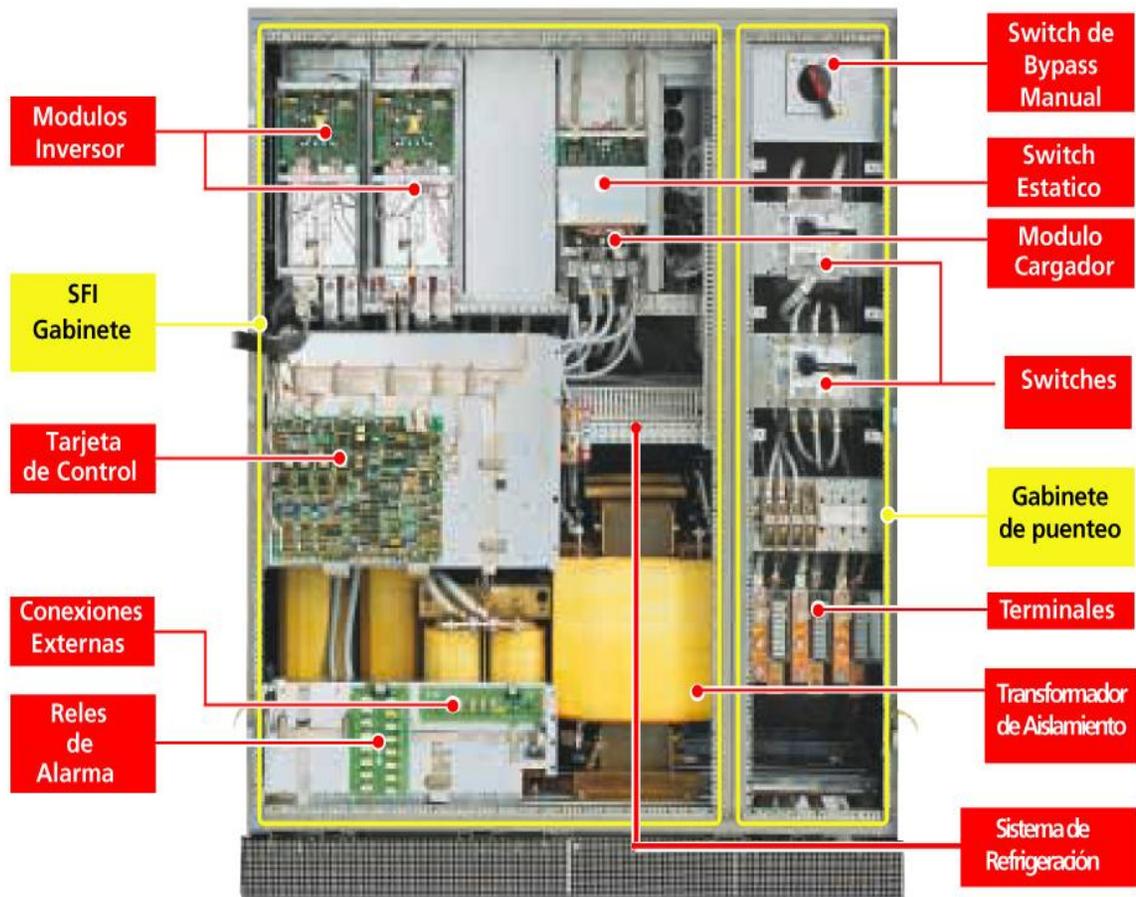


Figura 1.18 SFI Industrial

CAPITULO 2

Sistemas, condiciones y requerimientos de operación de un SFI.

2.1 Operación del Sistema de Fuerza Ininterrumpible.

En base a lo descrito en el capítulo anterior, el SFI debe entregar energía eléctrica alterna, regulada, continua, libre de distorsiones eléctricas y armónicas, aún alimentado cargas no lineales. De la figura 1.18 se observa que físicamente el SFI se compone de dos partes la parte donde se convierte y almacena la energía y la parte que se encarga de “tomar las decisiones” para que la energía provenga o no del SFI denominado módulo de puenteo o by pass; así este sistema proporciona la doble conversión de corriente alterna a corriente directa o continua (CA-CC) mediante los rectificadores de 6 ó 12 pulsos y viceversa mediante el módulo inversor con base en IGBT (CC-CA); el SFI puede trabajar tanto conectado a la carga, con una operación en línea donde la carga esta en contacto directo y alimentada por el inversor y con la batería conectada a la entrada del inversor o ser transferido a esta automáticamente, en el caso de que el sistema de baterías se encuentre descargado o existiera ausencia de ellas, el SFI funciona como filtro de línea eliminando ruidos, picos de tensión, flotaciones de voltaje que generalmente son provocadas por variadores de frecuencia, equipo de computo, arrancadores de estado sólido; otorgando así una calidad energética a cargas muy sensibles a ellas.

La salida del módulo inversor esta sincronizada con la fuente alternativa, es decir si la fuente alternativa se encuentra fuera del rango de frecuencia de alrededor de +/- 1%, el inversor opera a la frecuencia nominal de salida haciendo uso de su oscilador interno, esto también se logra al utilizar el microprocesador integrado en la tarjeta de control del SFI, que gracias al software instalado permite monitorear, retroalimentar la salida y

compararla con la modulación PWM, para así emitir una forma de onda correspondiente y sincronizada con el sistema de energía alterna o principal.

Este software (Firmware como los fabricantes lo llaman) depende en mucho de que tan sofisticado sea la programación de este, así como el trabajo y diseño de la empresa, pero básicamente consiste en comparar la salida con la entrada mediante la obtención de fasores y vectores eléctricos de las señales de salida y entrada, estos vectores pueden ser los arrojados ya sea por voltaje, corriente, ángulos eléctricos y/o frecuencia.

El primordial desempeño de un SFI es cuando existe una interrupción o restauración de energía a la entrada de CA hacia el rectificador y/o hacia la fuente alternativa, es capaz de alimentar la carga crítica a través del banco de baterías sin ninguna interrupción.

Los criterios para transferir la alimentación al SFI con el sistema de puenteo además de la ausencia de energía, es el sincronismo donde la frecuencia del sistema de puenteo (by pass) oscila en el +/- 6% de la frecuencia nominal de operación y el voltaje de puenteo (By pass) debe de estar dentro del +/- 10% del índice de voltaje de salida del SFI, la carga sólo podrá ser transferida por el sistema de puenteo siguiendo estos criterios.

En el caso de una transferencia automática de la carga al sistema principal, puede iniciar cuando el voltaje de salida del modulo inversor llegue al 90% del valor nominal, antes de que el valor de salida del inversor sea del 88% del valor nominal, a su vez si el valor de salida del inversor excede el 110% del voltaje nominal se realiza la transferencia antes de que el valor llegue al 112%, por otro lado existe la transferencia cuando es rebasado el valor de la corriente de alimentación.

Para retransferir la carga del switch estático de puenteo hacia al inversor, el valor del voltaje de salida del inversor debe de estar dentro de +/- 5% del voltaje nominal de salida por más de tres segundos, de igual manera debe existir una sincronía entre ambos elementos y por supuesto si hay una falla ocurrida dentro del módulo inversor deberá ser reparada, estos eventos deben tratarse de llegar a su éxito al menos 8 veces en dos minutos, sino se consigue la retransferencia la carga seguirá alojada en el sistema de puenteo; el SFI puede ser puenteado también desde el switch manual manteniendo estos criterios.

Otra situación por la cual existe una transferencia automática a la alimentación alternativa es cuando el nivel de voltaje de las baterías alcancen una situación extrema de descarga (menor a 1.0 volt por celda electrolítica).

El SFI previene de una conexión accidental entre la alimentación principal y la alternativa por medio de un bloqueo mecánico y eléctrico en el sistema de puenteo, al igual que el voltaje de salida del interruptor estático de transferencia se mantiene aun cuando hay presencia de una falla en los circuitos lógicos de control.

2.2 Características y Requerimientos Eléctricos.

Por convención de PEMEX así como de los fabricantes proveedores de SFI, los sistemas monofásicos comprenden valores de potencia de 5 a 50 KVA y de 10 a 100 KVA para sistemas trifásicos¹⁵, para el caso de instalaciones con actividades petroleras en el país, los transformadores también esta diseñados y usados para este rango de potencia; así la determinación de que un SFI pueda ser monofásico o trifásico dependerá del voltaje y numero de fases donde el sistema sea requerido y por supuesto de la carga a alimentar.

15. Especificación Técnica Sistema de Fuerza Ininterrumpible de Tecnología PWM. PEMEX; GNT – SSNP – E003 – 2005.

Aunque la potencia podría salir de estos rangos; los voltajes y características eléctricas utilizados en un SFI de tipo industrial son:

Alimentación de línea normal:

- 480 volts CA, +/- 10%, 3 fases, 3 hilos, 60 Hz +/- 5 %.

Alimentación de línea alternativa para SFI con salida monofásica:

- 127 V c.a., +/- 10%, 1 fase, 2 hilos, 60 Hz +/- 5%.
- 220 V c.a., +/- 10%, 2 fases, 2 hilos, 60 Hz +/- 5%.
- 480 V c.a., +/- 10%, 2 fases, 2 hilos, 60 Hz +/- 5%.

Alimentación de línea alternativa para SFI trifásico:

- 220 V c.a., +/- 10%, 3 fases, 3 hilos, 60 Hz +/- 5%.
- 480 V c.a., +/- 10%, 3 fases, 3 hilos, 60 Hz +/- 5%.

Voltaje de salida:

- 127 volts CA, +/- 1%, 1 fase, 1 neutro, 1 tierra, 60 Hz +/- 0.1%.
- 220 volts CA, +/- 1%, 3 fases, 1 neutro, 1 tierra, 60 Hz +/- 0.1%.
- 480 volts CA, +/- 1%, 3 fases, 1 tierra, 60 Hz +/- 0.1%

Para SFI con salida trifásica, la alimentación al equipo debe ser trifásica y con el mismo rango de tensión de salida; pero hay ocasiones donde la alimentación es monofásica y se otorga una salida trifásica conectando tres inversores a la salida.

La regulación estática de voltaje es de +/- 1% en un rango de 0 – 100% de la carga y la dinámica es de +/- 2% de 0 – 100% y viceversa. La distorsión armónica (THD) tiene un 3% en cargas lineales y 5% máximo total

en cargas no lineales¹⁶ y el rango del factor de potencia del inversor oscila de 0.7 al 1 y un factor de cresta (cociente entre el valor máximo instantáneo del voltaje o de la corriente y el valor eficaz del voltaje o la corriente) de 3.

De igual manera el SFI esta diseñado para que el tiempo promedio entre fallas (MTBF) mínimo requerido es de 155 000 h (algunos SFI industriales alcanzan el nivel preventivo recomendado de 200 000 horas) del inversor con una eficiencia de conversión de CA-CA del 79% a 84% en salida monofásica y 83% a 88% con salidas trifásicas.

El sistema en CD se caracteriza por tener los siguientes voltajes de salida:

Voltaje Nominal [Vcd]	Voltaje Máximo	Voltaje Mínimo
12	13.98	10.5
24	27.96	21
48	55.92	42
120	139.8	105
240	279.6	210
360	419.4	315
480	559.2	420

Aplicados según la carga o disposición energética para el SFI instalado y diseñado; aunque si se aplica a una carga de telecomunicaciones el voltaje de ruido eléctrico¹⁷ no debe ser mayor de 1 mV medido en los bornes de las baterías para voltajes iguales o menores a 100 Vcc ó Vcd, para valores superiores a estos voltajes no debe exceder de 100 mV medidos.

Para la tarjeta de control se usan dos alimentaciones una proveniente del rectificador y el by pass y otra por las baterías para mejor disponibilidad y dependabilidad.

16. IEC 62040-3. International Standard, Part 3, Method of Specifying the Performance and Test Requirements
 17. Norma de Referencia Sistemas Eléctricos de Emergencia. PEMEX; NRF – 091 – PEMEX – 2007.

2.3 Otras Características y Requerimientos

El Sistema de Fuerza Ininterrumpible puede llegar a estar diseñado en altas capacidades de potencia y generar mucho ruido, es por eso que un SFI de tipo industrial y utilizado en sistemas petroleros no debe de exceder su nivel de ruido en 65 decibeles a 1 metro de distancia.

Así mismo en condiciones ambientales el SFI opera a una temperatura ambiente de -10 a 40° C, con una humedad relativa de 10% al 95% sin condensación.

2.4 Configuraciones de Operación.

Un SFI puede trabajar y debe trabajar según los requerimientos de la industria donde sea instalado o las características de la carga, así en este apartado se trata de explicar los principios de operación de cada una de las configuraciones más utilizadas e implementadas en la industria.

2.4.1 Unidad de SFI Estática Sencilla.

Este tipo de sistema cuenta con lo mínimo requerido para un sistema de alimentación. Así mismo es usado para construir arquitecturas multimodulares más complejas.

2.4.1.1 Descripción del Funcionamiento: la figura 2.1 ilustra el funcionamiento principal de un SFI con su sistema de puenteo (By-pass). El rectificador convierte las energía de AC en CD o CC; el circuito de DC intermedio comprende del banco de baterías que funciona como almacenador de energía, que continuamente se mantiene cargado por el rectificador siempre y cuando este reciba alimentación energética. Este circuito es el que alimenta al inversor, el cuál es la siguiente etapa de conversión. El rectificador se encarga de hacer la conversión de energía en DC o CC a AC. El switch estático conecta o desconecta el inversor con la

salida del SFI. Una salida monofásica o trifásica son configurables individualmente.

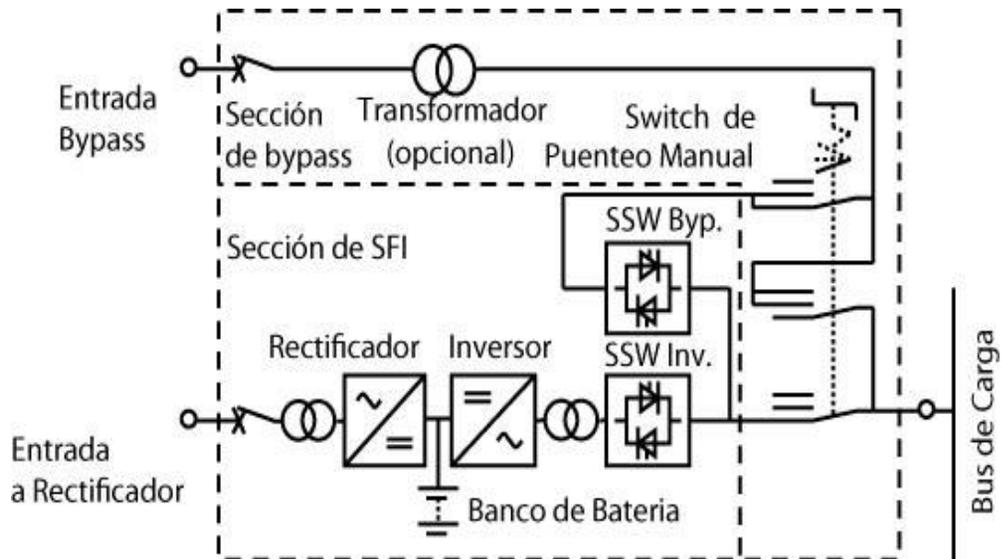


Figura 2.1 Configuración Sencilla de un SFI.

La entrada del sistema de puenteo esta ligada con un transformador opcional que hace juego con el segundo switch estático de transferencia normalmente abierto y en la salida del SFI.

El inversor esta continuamente sincronizado con el voltaje de puenteo (By-pass) tanto tiempo como la calidad del voltaje lo permita; esto ayuda a una conversión ininterrumpida desde el inversor hasta la fuente que proviene del By-pass en caso de alguna sobrecarga, un mal funcionamiento del inversor o por mantenimiento dado al sistema.

2.4.1.2 Modos de Operación:

Existen 3 modos de operación principalmente:

- a) **Operación Normal (1^{era} Prioridad).**- el rectificador e inversor estan en operación y alimentan la carga a través del cierre del interruptor

estático al igual que con el switch manual de puenteo. Las baterías son mantenidas en carga completa. El circuito de puenteo esta típicamente energizado con el switch estático abierto. Este modo es llamado de igual manera operación en línea (on - line operation) y se mantiene así lo más que se pueda.

- b) **Operación por Batería (2^{nda} Prioridad).**- el rectificador se desenergiza por una falla en el sistema de alimentación principal. Las baterías ahora alimentan al inversor mientras se descargan. La carga esta alimentada a través del inversor continuamente con energía de calidad y la circuitería del By-pass puede estar disponible o no. Este último impedirá una interrupción al transferir la carga a la línea alternativa al finalizar el trabajo con el banco de baterías.
- c) **Operación de Puenteo o By – Pass (3^{era} Prioridad).**- la carga esta directamente alimentada por la línea alternativa o principal a través del sistema de puenteo con el interruptor estático y/o con el interruptor manual de puenteo. El rectificador e inversor pueden estar en funcionamiento pero no alimentan más a la carga, la operación de puenteo será considerada sólo como operación de emergencia (baterías descargadas, falla en el inversor, corto circuito); la calidad de la energía proporcionada a la carga dependerá de la alimentación alternativa o principal. A menos de que el sistema tenga que ser obligado a cambiar a través del sistema manual, este modo de operación resulta el de más bajo nivel de prioridad y debe ser usado en la menor posibilidad posible.

2.4.2 Unidad de SFI Estática Redundante Paralela.

Un sistema redundante paralelo se compone de al menos dos módulos (pudiéndose conectar en algunas situaciones alrededor de 9 módulos) de SFI's con salidas paralelas. Esto permite un significativo

incremento en la disponibilidad del sistema y mejora la capacidad energética en situaciones de sobrecargas o corto circuitos.

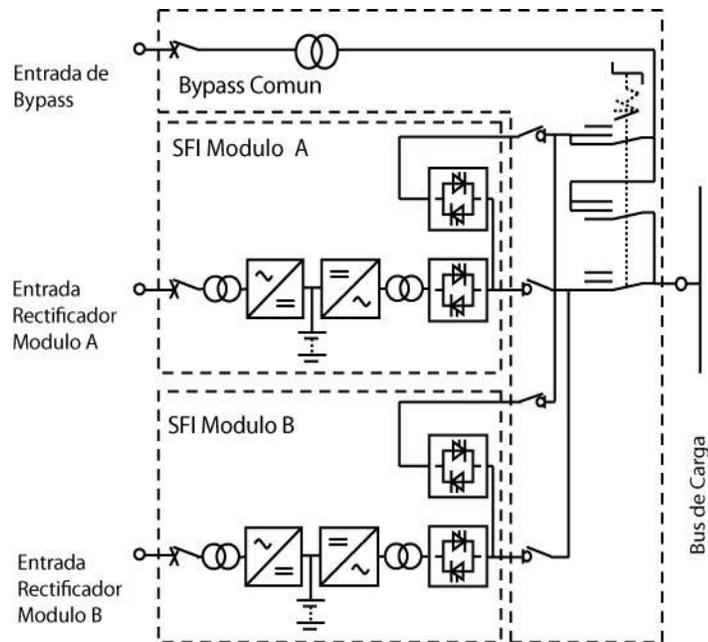
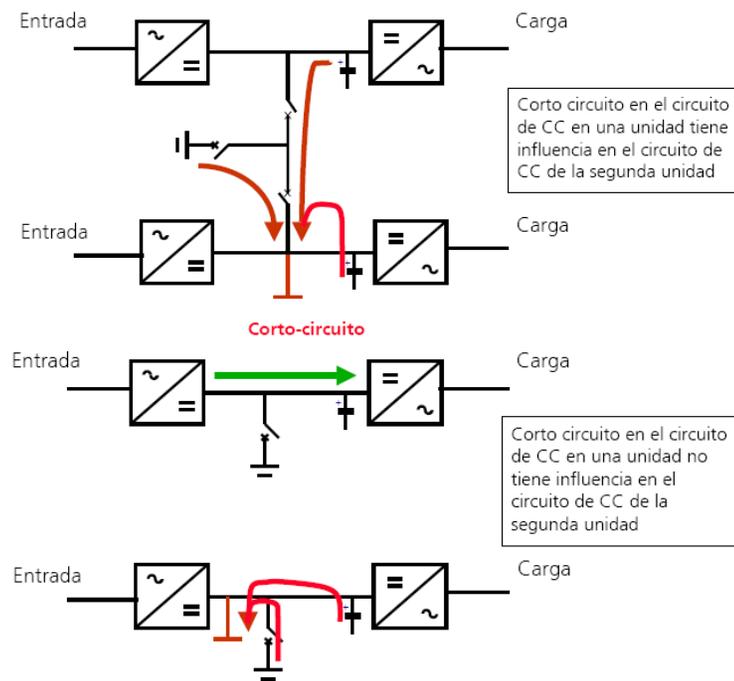


Figura 2.2 Configuración Redundante de un SFI.

Los dos módulos de SFI tienen la misma prioridad y comparten la carga en un 50% del total y sólo existe un circuito de By – pass común, que está distribuido a través de 2 interruptores estáticos, al igual que se puede realizar la transferencia con el sistema manual. Dos líneas de comunicación juntas están asociadas con el control, la ganancia sobre la carga y la sincronía entre los módulos, así como de su sistema de puenteo o By – pass.

Todas las operaciones del SFI están igualmente coordinadas e incluso se puede hacer uso de un banco de baterías en común, pero eventualmente se opta por un banco de baterías individual para evitar el peligro de que una batería o banco actúe como punto de falla común (figura 2.3).



Corto-circuito
 Figura 2.3 Baterías en Falla común.

2.4.2.1 Modos de Operación:

- Operación Normal:** Cada parte del total esta disponible con su tolerancia en el sistema de fuerza. Ambos rectificadores e inversores comparten la carga total. El sistema de puenteo esta en espera (Stand-by) y actúa como una fuente de sincronización.
- Falla Energética en la Entrada de un Módulo:** el módulo donde se origina la falla traslada su carga al sistema de puenteo mientras el otro, acarrea el total de la carga (por ello ambos módulos deben estar diseñados para trabajar con potencia similares y repartida).
 No se transfiere la carga hasta que los interruptores de transferencia así lo demanden, con lo que se mantiene el voltaje total de las baterías.
- Falla Energética en la Entrada de los dos Módulos:** Ambos módulos hacen uso del banco de baterías simultáneamente, descargando el rack de baterías deliberadamente al 50% del total. En

coordinación con el sistema de puenteo, se hace la transferencia a la alimentación principal o alternativa si la capacidad de las baterías llega a su punto de descarga.

- d) **Falla Eléctrica en un Módulo:** El módulo en falla es puesto inmediatamente en modo espera (Stand-by) mientras que el otro toma la carga sin disturbios.
- e) **Condición de Sobrecarga:** Ambos módulos son capaces de mantener cada uno al 100% la energía a la carga con lo que juntos se logra el 200% de toda la potencia. En caso de que esta sobrecarga exceda el 200%, entonces tendrá lugar la transferencia ininterrumpida por parte del sistema de puenteo mediante la acción de cerrar ambos interruptores estáticos de transferencia simultáneamente.

2.4.3 Unidad de SFI Estática Dual:

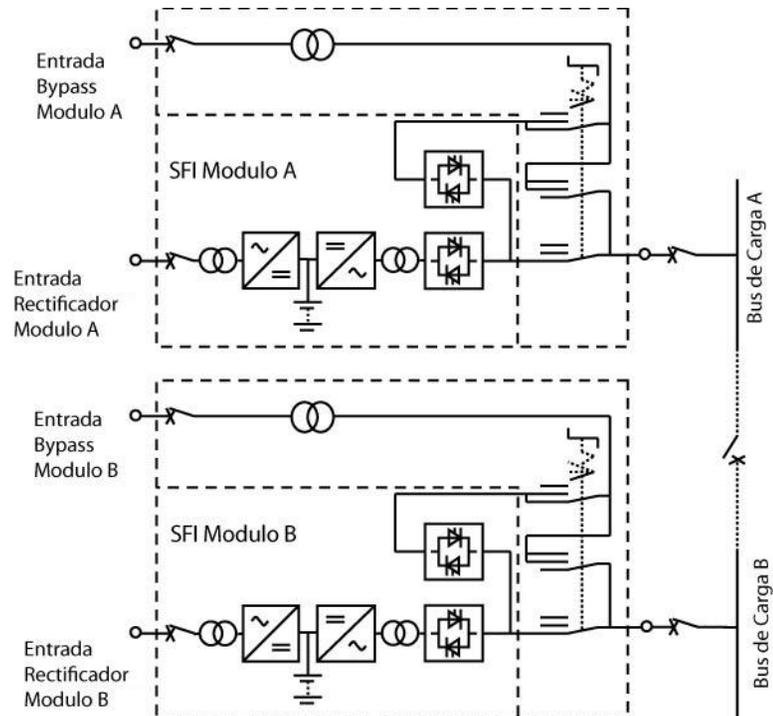


Figura 2.4 Sistema SFI Dual

La configuración de un SFI dual es la combinación de dos módulos sencillos. Este modo es preferido en proyectos de alimentación doble asociados a cargas de doble entrada. Cada módulo está relacionado con su propio tablero de distribución y no hay componentes en común.

Cada SFI independiente opera de manera similar como si fuera un módulo solo y se recomienda añadir diferentes y variadas alimentaciones al sistema para aumentar la disponibilidad en caso de alguna falla en el suministro energético.

Los tableros de distribución no se conectan juntos, sin embargo una unión entre los dos módulos puede ser realizada si están operando mediante el sistema de puenteo con el mismo suministro de transferencia y conectar cargas que requieran el doble de potencia o alimentación sin ser compartidas o sincronizadas.

2.4.3.1 Modos de Operación:

- a) Operación Normal:** Ambos módulos de SFI están disponibles, operando de manera normal y alimentan las cargas conectando al tablero de distribución. Las cargas que necesitan doble alimentación podrán ser energizadas siempre y cuando exista un balance de cargas.
- b) Falla Energética en Algún Módulo:** El módulo con falla de suministro trabaja con su banco de baterías, por lo que no existen baterías en común, y se retransfiere al sistema de By – pass cuando la falla se corrija; así el otro módulo trabaja de manera normal.
- c) Falla Energética en Ambos Módulos:** Ambos módulos trabajan con el banco de baterías y se descargan conforme a la demanda de la carga conectada, pero no actúan de manera coordinada entre ellos dos.

- d) **Falla Eléctrica en una Unidad:** El sistema trabaja con dicha falla y trata de suministrar la energía en cualquier modo posible, hasta que la falla sea corregida.

2.4.4 Unidad de SFI en Cascada:

Este tipo de configuración resulta ser la combinación de dos módulos de SFI conectados en serie, cada uno con sus componentes individuales, la importancia de esta configuración reside en que antes de que existiera un gran avance en la tecnología de la electrónica de potencia y microprocesadores, así como la aplicación de las computadoras se tenían que instalar estos componentes de dicha manera, pero resultaba más costoso y no presentaba grandes virtudes para la alimentación de la carga.

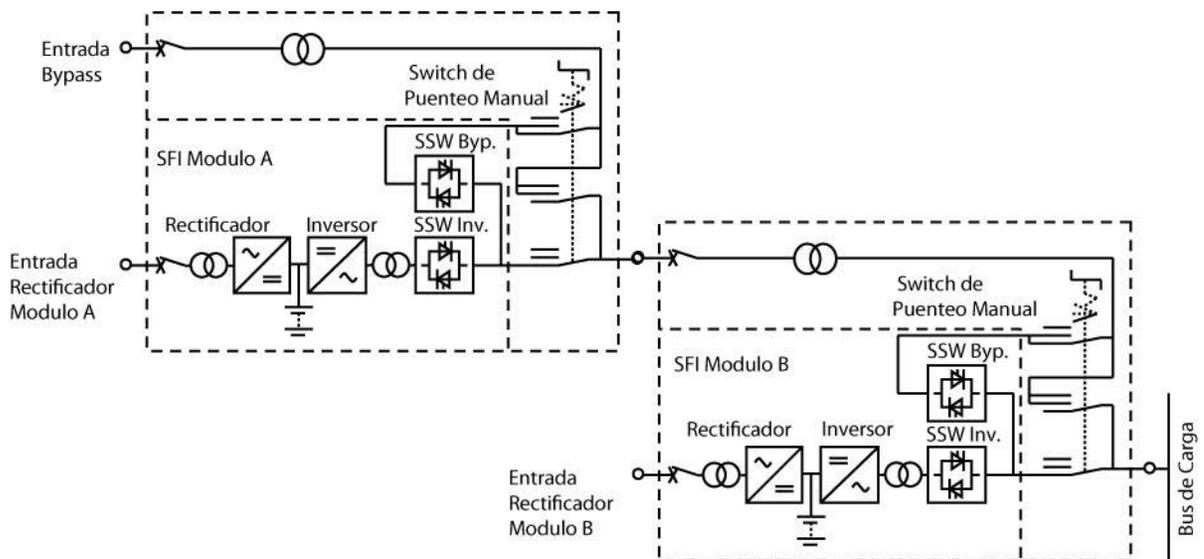


Figura 2.5 Configuración en Cascada de un SFI.

La salida de un módulo se conecta a la entrada del otro cuando se presenta una falla energética a la entrada del primer módulo el sistema de baterías actúa y seguía alimentando al segundo SFI que tenía en su salida la carga conectada, así si el banco de baterías del primer módulo se agota entra el banco de baterías del segundo módulo, evitando así la interrupción

en el sistema de energía, pero esto no comparte las características óptimas que un sistema redundante, ya que existe el comportamiento de “Master – Eslave” o sistema maestro y esclavo donde el primer módulo de SFI gobierna al segundo, con lo que se tiene que priorizar cada módulo para su trabajo en condiciones nominales, si se necesita de más potencia se tiene que diseñar los sistemas con mas elementos para otorgar tal demanda, incrementando el costo; en caso de alguna avería por parte de algún módulo es necesario desconectar todos para el mantenimiento y no existe un reparto equitativo de las cargas, no se ahorra energía en el consumo del banco de las baterías.

Los problemas con esta configuración también consisten en la falta de comunicación entre ambos módulos, ya que uno es el que actúa y el otro se encuentra en modo de espera, por todo esto esta configuración ha venido desapareciendo en sistemas industriales y sustituidos por alguna de las anteriores.

2.5 Diagrama Unifilar Detallado de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible.

El siguiente diagrama (figura 2.6) corresponde a un SFI tipo industrial, cuya empresa fabricante es GUTOR¹⁸, donde se integran los componentes físicos del sistema así como la forma de operar, monitorear y diagnosticar la entrada y salida de la fuente de energía.

18. GUTOR, una de las empresas internacionales destacada por sus sistemas energéticos que se aplican en varias empresas alrededor del mundo con actividades petrolíferas.

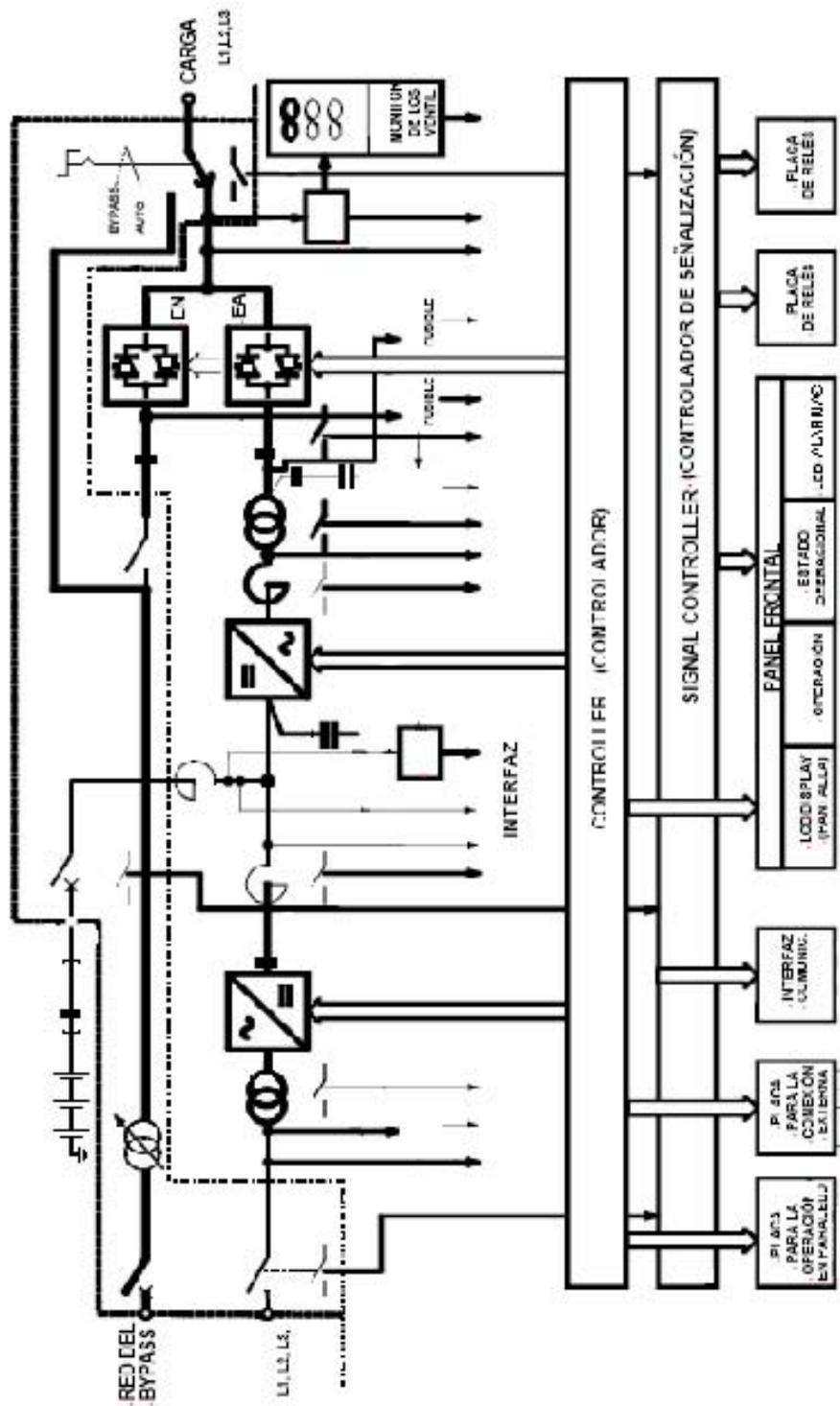


Figura 2.6 Diagrama Detallado.

CAPITULO 3

Aplicación de un SFI.

3.1 Sistema Energético.

En instalaciones petroleras el sistema energético se denomina Sistema de Distribución Secundario Selectivo¹⁹, que esta diseñado para mantener en constante alimentación a los edificios y complejos que requieran del suministro eléctrico.

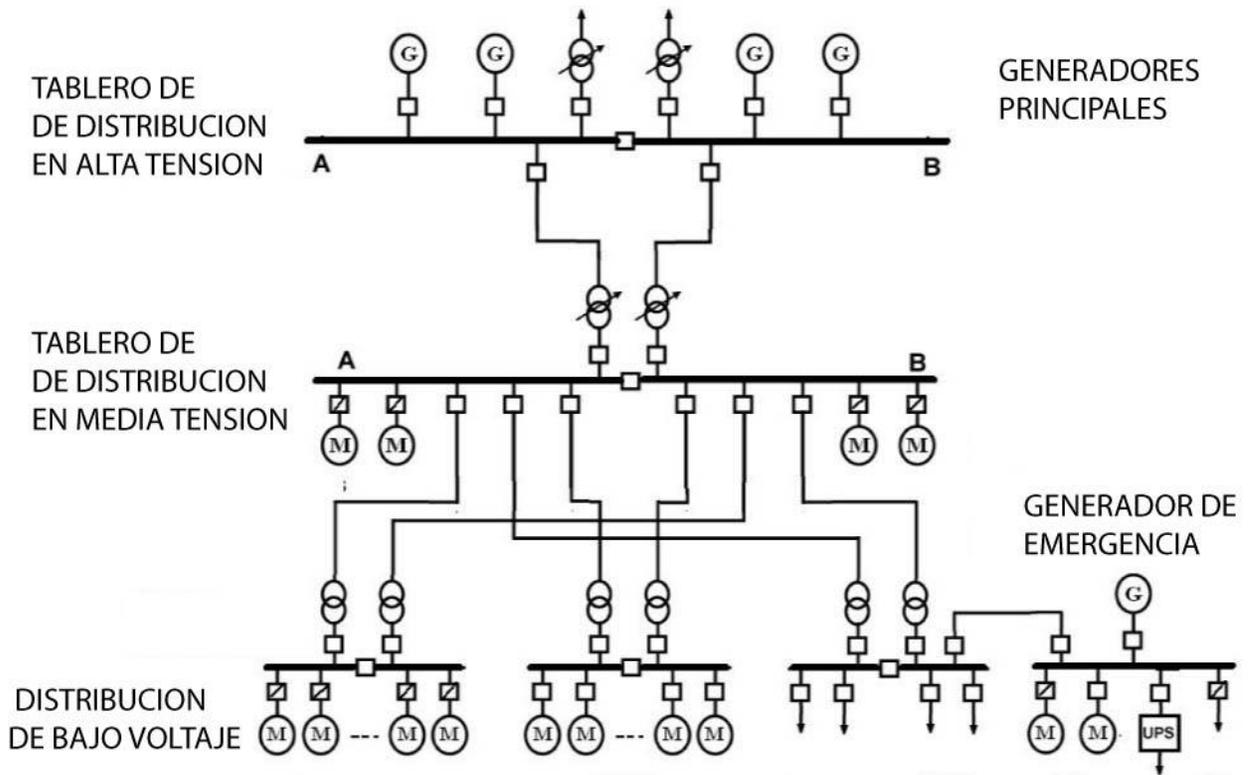


Figura 3.1 Diagrama Unifilar de un Sistema Secundario Selectivo.

El arreglo de un Sistema Secundario Selectivo se caracteriza por tener doble sistema de alimentación (en un diseño simple), y mediante interruptores de transferencia manuales o automáticos se permite mantener la constante energía eléctrica hacia los buses requeridos que energizan los tableros o centro de control de motores.

La energía puede estar provista por acometidas principales o generadores, por lo que es, en algunos casos, necesario contar con generadores internamente en las plantas, generando en alto voltaje para ir disminuyendo a través del sistema mediante los transformadores según se necesite el voltaje especificado.

Este sistema eléctrico se encarga de dirigir el ciclo energético, que permite optimizar el uso de la energía eléctrica generada y utilizada para prevenir disturbios y fallas eléctricas. En este sistema se incluyen un centro de control de motores y energía de emergencia (SFI, generador de emergencia), además dentro de las funciones está la priorización de cargas, desplazar cargas y encender generadores ante la necesidad de más potencia, entre algunas otras cosas.

Un tablero de distribución de emergencia, separado del sistema principal, con un grupo generador o un sistema de fuerza ininterrumpible provee energía a aquellos sistemas que contienen cargas críticas.

3.2 Cargas Eléctricas.

Se puede definir una carga eléctrica como todo aquel elemento que consume energía eléctrica y que debe conectarse a un sistema de alimentación. Por ejemplo, iluminación, sistema de aire acondicionado, telecomunicaciones, servidores y computadoras, máquinas eléctricas, equipos médicos, por mencionar algunos.

Las cargas críticas están muy ligadas a un correcto funcionamiento sin interrupciones y deben estar alimentadas bajo una onda eléctrica de óptimas condiciones, teniendo una alta seguridad de suministro.

En la actualidad estas cargas críticas están presentes en una gran variedad de aplicaciones:

- Instalaciones médicas como quirófanos, unidades de terapia intensiva, maquinas de respiración artificial y otras instalaciones médicas.
- Centros de control marítimo, aéreo y terrestre.
- Equipos de comunicaciones de uso en radio frecuencia.
- Centros de adquisición y proceso de información.
- Ventas y gestiones bancarias.
- Control de centrales eléctricas.
- Procesos industriales continuos.

Es en este último punto donde la investigación se enfoca, en las empresas industriales y plantas de manufactura las cargas críticas pueden llegar a ser de suma importancia para continuar con las labores cotidianas o de emergencia y prevención, así como mantener a salvo y sin peligro a las personas que trabajan en dichas zonas de proceso.

Para el caso de la industria petrolera las cargas eléctricas críticas se encuentran según el área como lo es alumbrado de emergencia, comunicaciones, sistemas de monitoreo, control y protección, sistemas instrumentados de seguridad, sistemas de gas y fuego, alarmas, cuartos de control, equipo de medición, servidores y computadoras, circuito cerrado de televisión, telefonía, telecomunicaciones, intercomunicación y voceo, válvulas motorizadas y otras cargas eléctricas de acuerdo a las necesidades de la instalación.

Estas cargas críticas se verán sujetas a la disponibilidad del servicio eléctrico que pueda ofrecer tanto la alimentación principal como el grupo generador de emergencia o los sistemas de fuerza ininterrumpible, en el SFI se conectan la mayor parte de las cargas críticas debido a su características mencionadas y su alta confiabilidad en situaciones de alimentación energética de respaldo o emergencia.

3.3 Sistemas en un Complejo Petrolero.

Según las características que posean las instalaciones de un complejo dedicado a actividades petroleras, serán los sistemas que se instalen y que demanden una gran cantidad de energía y deben estar provistos de sistemas que prolonguen sus actividades ante la falta del suministro eléctrico; lo que los puede llegar a convertir en cargas críticas, estos sistemas pueden ser:

3.3.1 Sistemas de Seguridad y Control.- Un sistema de control de proceso se utiliza para el monitoreo y control de los equipos con que cuenta la planta de proceso, en instalaciones pequeñas se puede llegar a encontrar equipos hidráulicos y neumáticos, pero para plantas más prominentes se instalan equipos que requieren de sistemas de control específicos como:

- Instrumentación en campo: donde se alojan sensores e interruptores que monitorean el proceso como la temperatura, presión y flujo, conectados a un par de trenzado eléctrico (hardwired) o bus de comunicaciones (fieldbus).
- Dispositivos de Control: pueden ser actuadores para válvulas, interruptores eléctricos, excitadores de maquinas y bombas eléctricas o indicadores, de igual manera conectados al trenzado o par eléctrico o monitoreados por el circuito de bus de comunicaciones.

- Controladores que ejecutan algoritmos para designar las acciones a realizar, así estos controladores generan los eventos que basados en alarmas preparan a los sistemas de información o a los operadores y de alguna forma alteran las condiciones de estado del sistema en general.
- Servidores: encargados del proceso digital de señales, como las señales de proceso y manufactura, exposición de resultados y valores del ciclo, archivos de eventos, procesamiento de señales de alarma y cambios en la ingeniería. En ocasiones estos cuentan con sistemas de interfaz humana (computadoras, pantallas, teclados táctiles, entre otros).
- Comunicaciones: pueden estar para implementar acciones y diferentes configuraciones para facilidades remotas en soporte y mantenimiento o similares.

Así la función principal del sistema de control es el asegurar que la producción, procesamiento y utilidades del sistema operen eficientemente sin contratiempos o límites de alarmas. El control está basado típicamente en programas que resultan de una combinación de bloques de control lógico con operaciones como AND, OR, NOT, con variaciones según las necesidades y los eventos a cubrir.

Estos sistemas operan desde cuartos implementados con procesos gráficos como pantallas, lista de alarmas, reportes y curvas características, en combinación con grandes y largos monitores en donde se presenta toda esta información con controles remotos en locación y salones aclimatados.

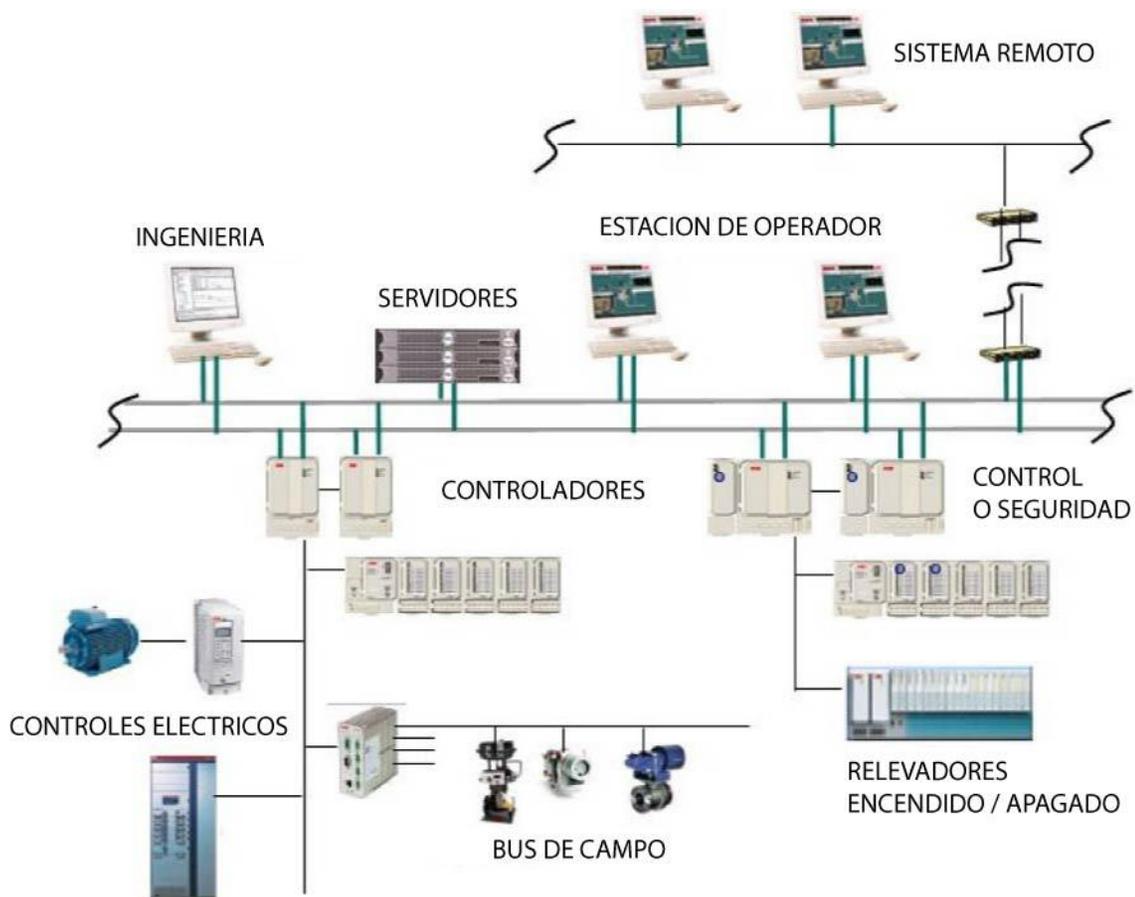


Figura 3.2 Ejemplo de un Sistema de Control.

3.3.2 Sistemas de Fuego y Gas.- Los sistemas de Fuego y Gas no necesariamente se encuentran ligados a algún proceso en particular, por lo que se encuentran instalados en áreas geográficamente específicas, cada área debe estar asegurada mediante este sistema de prevención, que a través de diversos sensores de fuego y gas se monitorea además de contar con protección contra fuego.

La manera de actuar de los sistemas de fuego y control en caso de fuego es cerrar parcialmente la zona afectada y cortar la ventilación, a su vez abrir paso a los rociadores contra incendio ejecutados electrónicamente y emitiendo su alarma correspondiente.

De una manera independiente se encuentra un pequeño sistema relacionado con el sistema de fuego y gas donde se localizan bombas de agua accionadas eléctricamente y alarmas tanto sonoras como luminiscentes. El tipo y número de dispositivos para detección, protección y combate depende del equipo así como del tamaño de la zona de riesgo y si esta destinado para área de proceso, cuarto de energía eléctrica u otra índole. Para la detección de fuego se cuentan con elementos como:

- Sensores de Gas mediante sensores ópticos infrarrojos, electrocatalíticos para la presencia de gas tóxico o combustible.
- Sensores de Llamas: se realizan mediante sensores ópticos infrarrojos o ultravioletas.
- Sensor de Fuego: mediante detectores de humo ionizados o de calentamiento.
- Interruptores Manuales.
- Dispositivos ajenos eléctricamente como, extinguidores rociadores, mantas, salidas de emergencia.



Figura 3.3 Sensor de Sistema Fuego y Gas.

3.3.3 Sistemas de Telemetría y SCADA.- Actualmente existe un enorme avance en sistemas electrónicos de comunicaciones y procesamiento digital de señales así como envío y recuperación de las mismas, en complejos petroleros estos sistemas se han convertido en la solución mas adecuada al monitoreo y control de los procesos así como su registro, por otra parte las instalaciones petroleras se pueden encontrar a miles de kilómetros de distancia ya sea en tierra firme o en instalaciones costa fuera (Offshore), por lo que se disponen de sistemas especializados para telemetría, comunicaciones, almacenamiento de datos para su envío o modificación y comparación, sobre oleoductos, condiciones de las instalaciones, eventos de siniestro o mantenimiento en especial, otorgando inmensas facilidades.

Estos sistemas están soportados en plataformas basados en la Adquisición de Datos y Supervisores de Control (SCADA por Supervisory Control and Data Acquisition). Los sistemas SCADA en bajo y alto ancho de banda junto con sistemas telemétricos y de telefonía operan en todas las áreas de comunicaciones a través de servidores de banda ancha, cableado o fibras ópticas y plataformas de red como el Internet.

Las unidades de terminales remotas (RTU por sus siglas en inglés) o sistemas de control locales en pozos, plataformas, compresores y estaciones de bombeo de igual manera están conectados al sistema SCADA, por lo que el sistema SCADA puede tener las mismas funciones que el sistema de control, pero la diferencia consiste en la arquitectura de datos (principalmente digitales y dependientes de un sistema servidor para el envío y recepción de datos) así como el uso de las comunicaciones.

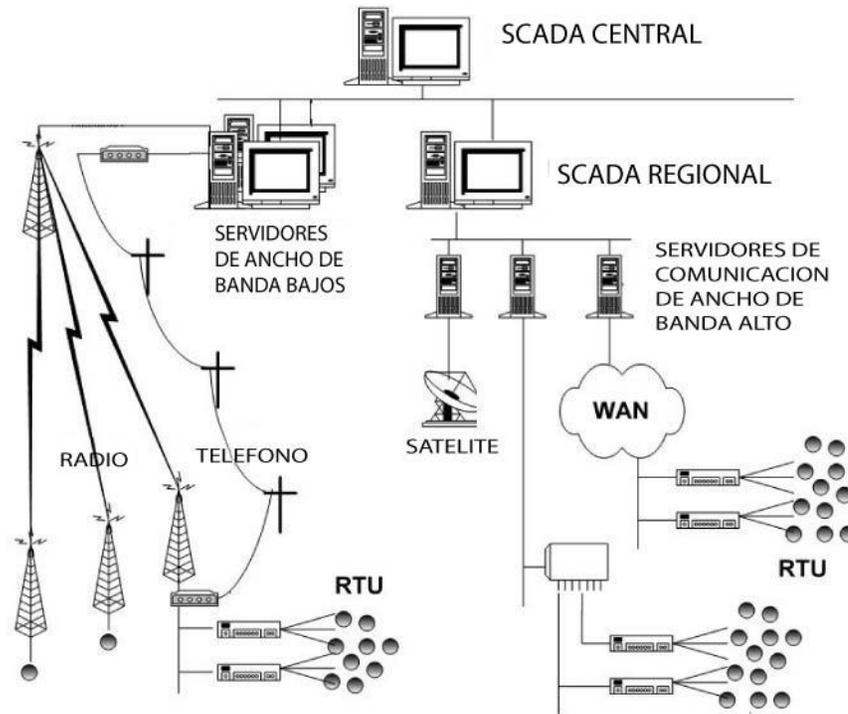


Figura 3.4 Sistema SCADA

Un específico sistema que proporciona información sobre los sistemas de producción y ejecuta un reporte de los procesos de fuego y gas, seguridad, mantenimiento y registro de eventos se puede encontrar alojado de igual manera al sistema SCADA.

3.3.4 Sistema de Aire Acondicionado, Ventilación y Calor.- el sistema de aire acondicionado, ventilación y calor (HVAC) es el sistema encargado de adecuar las condiciones climáticas de cuartos donde se encuentran alojados instrumentos importantes, al igual que proporcionar atmósferas presurizadas positivamente donde se requiera (previene flujos potencialmente peligrosos por gases en caso de compresión o descompresión), sobre todo en instalaciones ubicadas en regiones tropicales o subtropicales, este sistema se encuentra igualmente supervisado por elementos eléctricos – electrónicos para su correcto funcionamiento.

3.3.5 Telecomunicaciones.- Los sistemas de telecomunicaciones se encuentran integrados por una variedad de subsistemas para el enlace entre

humanos y las computadoras, así como consta de comunicaciones inalámbricas, monitoreos, observación y entretenimiento, algunos de estos subsistemas pueden llegar a ser:

- Sistemas de alarmas en dominios públicos y habitacionales, integración del sistema de fuego y gas.
- Sistemas de intercomunicadores y voice.
- Sistemas de radio frecuencias en UHF.
- Sistema de televisión en circuito cerrado.
- Seguridad de acceso controlado.
- Sistemas meteorológicos y oceánicos.
- Antenas y torres de telecomunicaciones.
- Telefonía.
- Sistema de entretenimiento (cine, televisión, etc.)
- Radares marinos de navegación.
- Computadoras personales y de trabajo.
- Sistemas de rastreo y busca de personal.
- Monitoreo y mantenimiento del sistema de telecomunicaciones.
- Sistemas en radio frecuencia.
- Terminales de fibras ópticas y multiplexaje.

3.4 Sistema de Fuerza Ininterrumpible bajo Cargas Eléctricas.

El SFI debe tener una carga de acuerdo a su diseño y especificación indicado en condiciones nominales, pero para poder acceder a una acción de alimentación de cargas mediante un SFI, se recomienda tener en cuenta ciertos lineamientos de cálculos preestablecidos de manera muy global²⁰.

20. IEC-62040-1. International Standard Uninterruptible Power Systems,

Existe un patrón de cargas generales que demandan energía de un SFI, estas cargas se clasifican como cargas lineales y no lineales. Los tipos de cargas más comunes lineales son:

- ❖ Carga Resistiva.
- ❖ Carga Resistiva – Inductiva.
- ❖ Carga Resistiva – Capacitiva.

En la carga resistiva, el SFI alimenta un elemento resistor al valor nominal de la potencia con lo que se calcula por:

$$R = \frac{U^2}{P} \text{ dado en } [\Omega]$$

Donde:

R = Elemento resistivo.

U = Voltaje de Salida en volts.

P = potencia activa en watts.

Para el caso de una carga resistiva – inductiva conectada en serie se calcula como:

$$R = \frac{U^2}{S} \lambda \text{ Dado en } [\Omega]$$

$$L = \frac{U^2 \sqrt{1 - \lambda^2}}{f 2\pi S} \text{ Expresado en [H]}$$

Y en condiciones de conexión en paralelo esta dado por:

$$R = \frac{U^2}{S\lambda} \text{ Dado en } [\Omega]$$

$$L = \frac{U^2}{f 2\pi S \sqrt{1 - \lambda^2}} \text{ Expresado en [H].}$$

Carga resistiva – capacitiva, de igual forma se pueden encontrar conectadas de forma en serie.

$$R = \frac{U^2}{S} \lambda \text{ Dado en } [\Omega]$$

$$C = \frac{S}{f 2\pi U^2 \sqrt{1-\lambda^2}} \text{ Dado en } [f]$$

Conectado en paralelo.

$$R = \frac{U^2}{S\lambda} \text{ Dado en } [\Omega]$$

$$C = \frac{S\sqrt{1-\lambda^2}}{f 2\pi U^2} \text{ Dado en } [f]$$

Donde:

R = Elemento resistivo.

L = Elemento inductivo.

C = Elemento capacitivo.

U = Voltaje de salida en volts.

S = Indica la potencia aparente de salida en unidades de [VA].

λ = Factor de potencia otorgado por [P/S].

f = Frecuencia en Hertz

Las cargas más comunes no lineales podrían ser:

- ❖ Carga Rectificadora – Capacitiva.
- ❖ Carga Controlada mediante Transductor o Tiristor (control de fase).

Para sistemas de potencia bajos (menores a 3 KVA) la conexión de un puente rectificador con una carga capacitiva es la más común.

Para simular una carga de una sola fase estática se conecta al sistema un puente rectificador a base de diodos que contiene ya sea uno o más circuitos en paralelo con capacitores y resistencias.

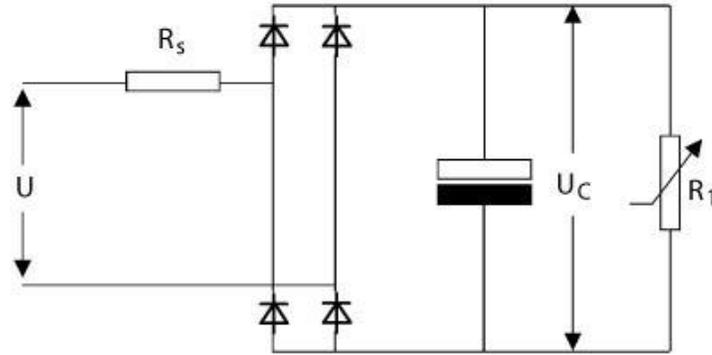


Figura 3.5 Puente Rectificador Estático.

Donde:

U_c = voltaje rectificado en volts

R_1 = es la carga resistiva que representa el 66% de potencia activa del total de la potencia aparente S .

R_s = es la carga resistiva en serie que representa el 4% de potencia activa del total de la potencia aparente S (la resistencia en serie ejemplifica la caída de voltaje que hay en los conductores).

El 5% del voltaje pico a pico que proviene del capacitor equivale a la constante de tiempo expresada por:

$$R_1 \times C = 0.15 \text{ seg.}$$

Entonces si se contempla la caída de voltaje a los conductores, el voltaje pico y la distorsión de línea; el promedio de voltaje U_c será:

$$U_c = \sqrt{2} \times (0.92 \times 0.96 \times 0.975) \times U = 1.22 \times U$$

Donde los elementos de carga se pueden calcular como:

$$R_s = 0.04 \times \frac{U^2}{S} \text{ Expresado en } \Omega$$

$$R_1 = \frac{U_c^2}{0.66 \times S} \text{ Expresado en } \Omega$$

$$C = \frac{0.15}{R_1} \text{ Expresado en } f$$

Todo esto se lleva a cabo para dar una referencia en comportamiento de un SFI determinado con cargas. El voltaje de salida y forma de onda del sistema no pueden estar distorsionadas más allá de un 8%; la carga conectada debe estar evaluada para el tipo y valor de potencia especificada en el sistema a evaluar. Este protocolo de evaluación se aplica tanto a sistemas monofásicos y trifásicos²¹.

3.5 Aplicación en la Industria Petrolera.

La crisis energética contemporánea ha contribuido en buena parte a acelerar las actividades de la exploración de los yacimientos petrolíferos en el mar, y el rápido desenvolvimiento de la tecnología en muy diversos campos.

Para México la extracción de petróleo en el mar representa aproximadamente más del 75% del crudo nacional²², concretamente en la zona del Golfo de México, sonda de Campeche, donde se han instalado una muy considerable cantidad de plataformas marinas (aproximadamente más de 202 plataformas) para la extracción del hidrocarburo desde 1975.

21. IEC-62040-1. International Standard Uninterruptible Power Systems.

22. PEMEX . datos arrojados hasta el 2005.



Figura 3.6 Ubicación Geográfica.

En esta zona se encuentra localizado el campo de hidrocarburos más grande denominado “Cantarell”, llamado así en honor a un pescador habitante del lugar que reportó la presencia de “chapopoterías” en el área que llevaba ese nombre.

En el complejo de producción denominado **AKAL – G1**, (AKAL palabra en maya que significa Tierra Siempre Húmeda), se contempla la creación de una plataforma marítima con módulo habitacional.

Donde los sistemas que conforman al módulo habitacional se conforman por:

- Sistema de Monitoreo y Control
- Sistemas de Seguridad
- Sistemas Eléctricos
- Sistemas de Telecomunicaciones
- Sistemas de HVAC

- Sistemas de Servicios Auxiliares
- Sistema de Grúa de Plataforma
- Áreas de Alojamiento y Trabajo

Los que a su vez se integran por:

- ◆ Bombas Contra Incendio.
- ◆ Agua Contra Incendio.
- ◆ Equipo de Seguridad.
- ◆ Equipo de inundación FM-200.
- ◆ Botes Salvavidas.
- ◆ Gas y Fuego.
- ◆ Agua de Mar.
- ◆ Distribución del Agua de Mar.
- ◆ Agua Potable.
- ◆ Distribución del Agua Potable.
- ◆ Agua Caliente.
- ◆ Distribución del Agua Caliente.
- ◆ Aire de Planta.
- ◆ Aire de Instrumentos.
- ◆ Aguas Residuales.
- ◆ Incinerador.
- ◆ Compactador de Basura.
- ◆ Diesel.
- ◆ Generadores.
- ◆ Tablero de Distribución Principal.
- ◆ Centro de Control de Motores.
- ◆ Energía de Alumbrado y Potencia Menor.
- ◆ Tableros de Distribución (Energía Principal).

- ◆ Sistema de Fuerza Ininterrumpible de C.A.
- ◆ Ayudas a la Navegación.
- ◆ Radio Marina de Muy Alta Frecuencia (VHF).
- ◆ Teléfonos/PABX.
- ◆ Sistema de Altavoces.
- ◆ Circuito cerrado de Televisión (CCTV).
- ◆ Sistema de Entretenimiento.

3.5.1 Características del Módulo Habitacional. La plataforma habitacional, con número de identificación HA-AG-01, proporcionará las instalaciones necesarias para 75 personas que incluyen dormitorios, baños, comedor, entretenimiento, lavandería, vestuarios, talleres y primeros auxilios, ubicados en un Módulo Habitacional de dos pisos, la plataforma esta diseñada para una vida útil de 20 años.

El Módulo Habitacional está soportado por una subestructura de cuatro patas (Tetrápodo) e incluye también un helipuerto que está ubicado arriba del Modulo Habitacional y permite su utilización normal teniendo dos helicópteros, uno estacionado y otro en servicio, así mismo, un puente de interconexión con la Plataforma de Producción AKAL-G, atracadero y módulo de servicios ubicado en la parte inferior del Módulo Habitacional.

Las instalaciones que se tienen por nivel, son las siguientes:

Nivel 1 (Modulo de Servicios).- cubo de escalera, cuartos de limpieza, baño, casilleros, almacén, taller de plomería y del sistema de ventilación, aire acondicionado y calefacción, taller mecánico, taller de carpintería y elevador.

Nivel Mezanine (Modulo de Servicios).- cubo escalera, lavandería, cuartos de baterías, equipo eléctrico, oficina, CCM, vestidores y limpieza.

Nivel 3 (Módulo Habitacional).- cubo de escalera, pasillo, vestíbulo, cuartos de los superintendentes, administradores, baño para 1 persona, cuarto para 4 personas, baño para 4 personas, recreación, guardarropas, cuarto de limpieza, biblioteca, gimnasio – regadera, gimnasio – sauna, gimnasio, hueco de servicio y área exterior.

Nivel Azotea (Módulo Habitacional).- sala de espera y cuarto de control de vuelos, escalera para helipuerto, área para equipo de aire acondicionado.

Nivel 2 (Módulo Habitacional).- cubo de escalera, pasillo, vestíbulo, oficinas del superintendente, administración, salas de espera, conferencia, oficina, cuarto de control, comedor, área de preparación, cocina y panadería, despensa, cámaras frigorífica, congelación, cuarto de control inteligente, consultorio médico, cuarto del médico, baño del médico, cuarto de la limpieza, cine, cuarto de telecomunicaciones, teléfono, cuarto de baño para mujeres, cuarto de baño para hombres, hueco de servicio y área exterior (terraza).

3.5.2 Características del SFI instalado.- El SFI está diseñado para suministrar energía eléctrica de C.A. que no puede ser interrumpida por situaciones anormales del suministro de electricidad. Está diseñado según el principio de “conversión doble”, trifásico.

El Sistema consta de dos equipos conectados en paralelo y redundante para compartir la carga. Cada unidad está diseñada individualmente para soportar la carga plena. Si cualquiera de estos módulos falla, entonces la unidad restante soportará la carga plena sin interrupción.

Cada equipo consta de cuatro partes principales, el Rectificador/cargador, Banco de Baterías, el Inversor con tecnología de PWM senoidal y el Interruptor estático (sistema de puenteo).

La energía de reserva se realiza mediante un transformador y, opcionalmente, un regulador de tensión o estabilizador de línea.

El Banco de Baterías trabaja en modo de flotación, es un modo de carga a voltaje constante, de modo que la corriente de carga de la batería tenderá a disminuir gradualmente a casi cero a medida que la batería se carga completamente.

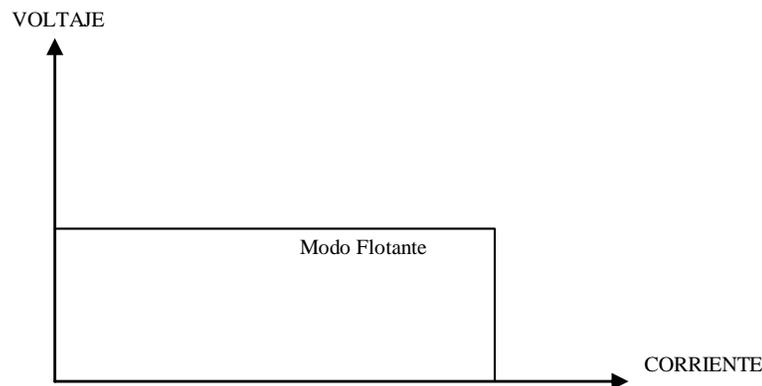


Figura 3.7 Gráfica de voltaje en el banco de baterías.

El voltaje escogido es el valor para el cual las pérdidas internas son compensadas por la corriente de carga en una batería cargada. La batería es mantenida completamente cargada, sin embargo permanece por debajo de la tensión de gasificación de modo que la velocidad de pérdida del electrolito es despreciable.

Cuando la alimentación al cargador se interrumpe, el cargador se detiene y sin que ocurra ningún tipo de conmutación o intervención del operador, la batería alimenta el inversor y por lo tanto la carga.

El voltaje de salida del SFI instalado se mantiene constante regulado a $\pm 1\%$ para una carga entre 0 y 105%. Para efectos de sobrecarga será del 105% a 150% de la carga nominal, pero puesto en marcha con un temporizador de 10 minutos; al cabo de los cuales se parará el inversor. Éste es un tiempo suficiente para controlar las sobrecorrientes de arranque y las corrientes de entrada en la carga. Cuando la carga excede el 105%, el interruptor estático normalmente transferirá la carga a la reserva energética (si está disponible) de modo que las sobrecargas del inversor deberían ser raras y escasas.

Se instalan en el SFI limitadores de corriente para que cuando la carga es del 150% o más del valor nominal, entonces el inversor cambia a una característica de corriente constante para protegerse a sí mismo. Esto puede resultar en una caída drástica del voltaje de salida. Si hay una reserva disponible, habrá una transferencia inmediata. Si las transferencias están inhibidas por cualquier motivo, entonces el inversor seguirá en límite de corriente hasta que la carga regrese a su valor normal o que termine el temporizador de 10 minutos.

El interruptor estático es un conmutador inversor automático de estado sólido con una acción de cierre antes de corte de modo que no hay ninguna interrupción hacia la carga. Por lo tanto, el inversor estará permanentemente sincronizado con la reserva a fin de evitar saltos de fase o incluso inversiones de fase hacia la carga en el instante de la transferencia. La lógica de operación selecciona uno de los siguientes dos modos: ya sea INVERSOR A CARGA o RESERVA A CARGA.

Inversor a Carga.- es el modo normal para la unidad y es seleccionado automáticamente siempre que sea posible.

Reserva a Carga.- la transferencia a la reserva ocurre automáticamente cuando prevalecen ciertas condiciones anormales especificadas. Regresa al inversor 10 segundos después de la desaparición de las condiciones de la alarma.

Tomando en cuenta estos aspectos las transferencias pueden ocurrir en cualquier parte del ciclo: no tienen que estar en un punto de cruce del cero.

Por otra parte el SFI instalado cuenta con una derivación de mantenimiento, que por seguridad durante el mantenimiento y la reparación, se ha incorporado una derivación manual envolvente al equipo. Sólo puede ser seleccionada por el operador y no por la lógica de control. Esta derivación suministra aislamiento de seguridad para las principales piezas internas.

3.5.3 Métodos de Funcionamiento del SFI Instalado.

Modo Normal.- Los dos inversores alimentan la carga en paralelo compartiendo la carga entre ellos. Cada uno está sincronizado con la alimentación de reserva.

Modo de Falla de la Alimentación de CA Primaria.- La alimentación de reserva puede o no estar disponible según la configuración de las fuentes de alimentación del SFI. Cada cargador detiene y sus respectivas baterías alimentan cada una al inversor y por lo tanto la carga. El voltaje de CD ò CC cae y ocurren las siguientes alarmas.

- ◆ Alarma de CC Durante una Falla de la Alimentación Primaria: el cargador se pondrá en marcha en el modo Flotación después de una falla corta, o en el modo de carga después de una falla larga.

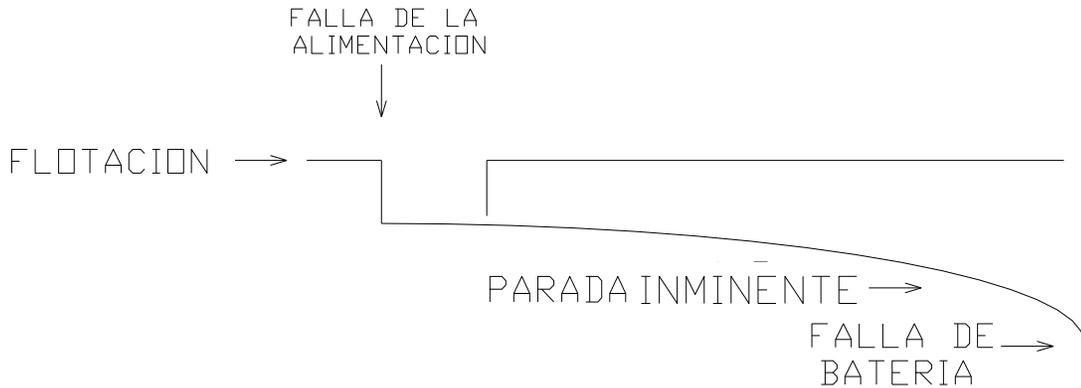


Figura 3.8 Alarma de Fallas.

Modo de Reserva a Carga: el modo de reserva a carga se da cuando hay una sobrecarga de salida de 105% o más, enviando la carga a la alimentación alternativa y ocurre un retorno a los inversores cuando cae por debajo del 100%; de igual forma se selecciona este modo cuando los inversores paran o están en el límite de corriente y cuando hay mantenimiento.

Modo de falla de un SFI: cuando un sistema falla será aislado por su propio interruptor estático. El sistema restante seguirá soportando la carga sin interrupción.

3.5.4 Operación del SFI Instalado.

Situación inicial de Primer Arranque: todos los interruptores, disyuntores y aisladores están en "APAGADO".

- a) La alimentación primaria se encuentra energizando el sistema por lo que la alarma del panel frontal indica ENCENDIDO.
- b) El interruptor de ENCENDIDO/APAGADO del CARGADOR, se coloca en ENCENDIDO.
- c) El voltaje de salida del cargador aumentará hasta el valor normal.

- d) Se usa un voltímetro portátil para verificar la presencia y valor de voltaje en el cargador, el voltaje de salida de la batería, la polaridad correcta de los cables de la batería al SFI.
- e) Con lo que se dispone a situar en ENCENDIDO el interruptor aislador de la batería.
- f) Por otra parte el interruptor aislador de entrada de reserva energética se cierra.
- g) Y se verifica el voltaje y la frecuencia de la energía de reserva.
- h) También se observa y verifica que la distribución de salida este alimentada correctamente usando un voltímetro portátil.
- i) Con lo que el inversor es encendido indicando en el panel respectivo ENCENDIDO.
- j) El inversor se pone en marcha. Al cabo de 30 segundos todas las alarmas deben desaparecer.
- k) Se verifica el interruptor estático en el modo de prueba y se pulsa su interruptor de apertura/cierre durante al menos 10 segundos y verificando los indicadores luminiscentes (Leds) en las tarjetas montadas dentro de la puerta frontal.
- l) Se dispone el interruptor de paso en TRANSICIÓN AUTOMÁTICA.

m) Por lo que los indicadores deben estar presentes sin alarmas o fallas y el sistema en operación, por lo que el SFI se encuentra ahora encendido.

Para una transferencia por mantenimiento:

- a) Se verifican las alarmas.
- b) Si el inversor no está sincronizado Y está alimentando la carga, no se procede puesto que esto podría poner en peligro la carga. Lo mismo se aplica si la reserva está fuera del límite.
- c) Se pone el interruptor de paso en TRANSICIÓN.
- d) Se acciona y se cierra el switch manual en PRUEBA y luego en MANTENIMIENTO.
- e) Por lo que el Inversor cambia a un estado APAGADO.
- f) Se aísla la batería y se detiene el cargador.

Para un retorno de mantenimiento:

- a) El Inversor entra nuevamente a ENCENDIDO.
- b) El inversor se debe poner en marcha. Al cabo de 30 segundos todas las alarmas deberían desaparecer.
- c) El switch manual se cierra en PRUEBA y se verifica el interruptor estático pulsando su cierre durante al menos 10 segundos y verificando los Leds del panel frontal montada dentro de la puerta.

- d) Se pone el interruptor de paso en TRANSICIÓN.
- e) Se verifica el voltaje y la frecuencia de la reserva energética.
- f) Y se completa la TRANSICION AUTOMÁTICA.

Para un Paro de Emergencia: se debe usar en caso de emergencia tal como incendio o un siniestro, por lo que este procedimiento interrumpe la alimentación a la carga.

- a) Se sitúa el switch en MANTENIMIENTO.
- b) El Inversor se apaga.
- c) El interruptor aislador de la batería se apaga, así como el cargador.
- d) Se interrumpe la alimentación al SFI.
- e) Y se abre el interruptor de paso de la alimentación alternativa.

CONCLUSIONES.

La Electrónica de Potencia permite gobernar, mediante dispositivos muy pequeños y económicos, grandes corrientes y altos voltajes, desenvolviéndose con el manejo de altas demandas energéticas con empresas industriales muy complejas y de alto desarrollo tecnológico.

Los dispositivos como el IGBT y el SCR han demostrado su alta capacidad y aplicación en sistemas energéticos, así como en la conversión de energía tanto en corriente continua como en alterna.

La Modulación por Ancho de Pulso (PWM) ofrece la mejor oferta en cuanto a técnicas de manipulación de señales, siendo la PWM Senoidal la más aplicada en actividades industriales, dentro de la PWM Senoidal destaca la Modificada (MSPWM) como la mejor modulación en base al incremento de componente fundamental, el nivel de armónicas y el tiempo de conmutación de los dispositivos electrónicos.

Un Sistema de Fuerza Ininterrumpible (SFI) demuestra ser una conveniente propuesta y solución ante fallas y errores de suministro energético, mediante elementos de fácil mantenimiento, de diseño óptimo y confiable así como de uso de fuentes electroquímicas (baterías) dando una creación de energía eléctrica muy similar a la suministrada por las compañías de fuerza y energía.

Un SFI además de ser instalado en empresas con actividades de petróleo e hidrocarburos, puede llegar a ser implementado en otras actividades que tengan una semejante o muy superior carga energética y donde se necesite de un estado de alta confiabilidad sin interrupciones.

Debe profundizarse en la participación del Ingeniero Mecánico Electricista en actividades industriales, para que le permitan abrir su panorama multidisciplinario, con la vinculación de los fabricantes de tecnología y su desenvolvimiento en prácticas aún mas diseñadas con elementos muy característicos que se asemejen a los que se encuentran implementados en procesos y lugares de alto desarrollo tecnológico.

BIBLIOGRAFÍA.

- ◆ Boylestad, Robert. Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos; Pearson Educación: México, 2003.
- ◆ Lander, Cyril W. Power Electronics; Mc Graw Hill: England, 1993.
- ◆ Seguí Chilet, Salvador. Fundamentos Básicos de la Electrónica de Potencia; Alfaomega: México, 2004.
- ◆ Malvino, Albert Paul. Principios de Electrónica; Mc Graw Hill: España, 2007.
- ◆ Chapman, Stephan J. Máquinas Eléctricas; Mc Graww Hill: México, 2005.
- ◆ Rashid, Muhammad H. Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones; Pearson Educación: México, 2004.
- ◆ Vega Ruíz, Jose Alredo. Tesis: Convertidor CA-CA Basado en DSP; IPN; México, 2007.
- ◆ Devold, Havard. Oil & Gas Production Handbook; ABB Oil & Gas; Oslo, 2006.
- ◆ Q320.110-1. AC UPS System Guide Specification; Gutor.
- ◆ Norma Oficial Mexicana NOM-001. Instalaciones Eléctricas (utilización); SEDE, 2005.

- ◆ Norma de Referencia NRF – 091. Sistemas Eléctricos de Emergencia; PEMEX, 2007.
- ◆ Norma de Referencia NRF – 181. Sistemas Eléctricos en Plataformas Marinas; PEMEX, 2007.
- ◆ Norma de Referencia NRF – 048. Diseño de Instalaciones Eléctricas; PEMEX, 2007.
- ◆ Norma de Referencia NRF – 196. Cargador y Banco de Baterías; PEMEX, 2008.
- ◆ Norma de Referencia NRF – 046. Protocolos de Comunicación en Sistemas Digitales de Monitoreo y Control; PEMEX, 2003.
- ◆ Norma de Referencia NRF – 105. Sistemas Digitales de Monitoreo y Control; PEMEX, 2005.
- ◆ International Standard, 62040-1. Uninterruptible Power Systems (UPS) Part 1: General and Safety Requirements for UPS; IEC, 2008.
- ◆ International Standard, 62040-2. Uninterruptible Power Systems (UPS) Part 2: Electro magnetic Compatibility (EMC) Requirements; IEC, 2005.
- ◆ International Standard, 62040-3. Uninterruptible Power Systems (UPS) Part 3: Method of Especificing the Performance and Test Requirements; IEC, 1999.

- ◆ GNT –SSNP-E003. Sistema de Fuerza Ininterrumpible de Tecnología Modulación de Ancho de Pulso (PWM); PEMEX, 2005.

Cibergrafía.

- <http://elpetroleo.aop.es/Tema10/Index1.asp>
- <http://www.tecnociencia.es/especiales/petroleo/petroleo1.htm>
- <http://www.slp-eng.com>
- <http://www.schneider-electric.com.mx>
- <http://www.oilandgas.org.uk>
- http://www.eia.doe.gov/pub/oil_gas/analysis_publications/natural_gas_1998_issues_trends/pdf/Appb-pdf.
- <http://www.imp.mx>
- <http://www.gutor.com>
- <http://geindustrial.com.mx>
- <http://www.slb.com>
- <http://www.naturalgas.org>
- <http://www.pemex.com>
- <http://www.alcad.com>
- <http://en.wikipedia.org>

ANEXO

A.1. Ejemplo de la hoja de datos del sistema de fuerza ininterrumpible de modulación de ancho de pulso (PWM) y su banco de baterías. Así como su cuestionario técnico para la adquisición e instalación en PEMEX

		HOJA DE DATOS		SISTEMA DE FUERZA ININTERRUMPIBLE DE MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO (PWM)	
No. de proyecto		Lugar		Planta	
Claves		SFI:		Cantidad de equipos	
		Banco de baterías:			
SFI y banco de baterías para servicio a sistema de:					
SFI y banco de baterías para uso interior tipo 1:					
<input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Telecomunicaciones					

Condiciones ambientales:			
Temperatura:		Humedad relativa:	
Nivel de ruido máximo:	65 dB (A) a 1 m de distancia	Altitud de operación:	

Banco de baterías:			
Banco de baterías: níquel cadmio de placa de acero, sellada, 20 años sin adición de agua, recombinación de gas interna, regulada por válvula de baja presión.			
V.c.c. nominales:	Amperes-hora (Ah):	No. de celdas:	
Tiempo de respaldo de baterías:	<input type="checkbox"/> 30 minutos <input type="checkbox"/> minutos	Tensión de descarga final:	1,0 V/celda
Tensión nominal por celda:	1,2 V/celda	Temperatura de operación:	20° a 35°C
Tipo de descarga:	Media	Tensión óptima de flotación a 25 °C:	1,42 V/celda
Tensión óptima de carga rápida a 25 °C:	1,45 V/celda	Tensión de descarga final:	1,00 V/celda
Tensión mínima del banco de baterías:	Indicar	Tensión máxima del banco de baterías:	Indicar
Accesorios o requerimientos adicionales			
Notas:			
1) El número de celdas está en función de la tensión mínima del sistema a una tensión mínima de descarga de 1,00 V/celda. 2) La tensión de carga rápida para el banco de baterías debe ser igual a la tensión máxima del sistema (No. de celdas x 1,45 V/celda).			
3) La tensión nominal del banco de baterías debe ser la más conveniente de acuerdo a la tensión de salida del SFI, a menos que exista algún requerimiento específico establecido por PEMEX, para un proyecto en particular.			

Sistema de Fuerza Ininterrumpible:	
Sistema de Fuerza Ininterrumpible:	<input type="checkbox"/> Tipo PWM Capacidad: kVA:
Sistema de Fuerza Ininterrumpible:	<input type="checkbox"/> Monofásico <input type="checkbox"/> Trifásico
Tensión de alimentación de línea normal y alternativa (V ± 10 por ciento, Hz ± 5 por ciento)	
SFI con salida monofásica:	<input type="checkbox"/> 127 V c.a., 1 F, 2 H, 60 Hz <input type="checkbox"/> 220 V c.a., 2 F, 2 H, 60 Hz <input type="checkbox"/> 480 V c.a., 2 F, 2 H, 60 Hz
SFI con salida trifásica:	<input type="checkbox"/> 220 V c.a., 3 F, 3 H, 60 Hz <input type="checkbox"/> 480 V c.a., 3 F, 3 H, 60 Hz
Tensión de salida (Con salida trifásica, la alimentación debe corresponder a la misma tensión y fases):	<input type="checkbox"/> 120 V c.a., ± 1 por ciento, 1F, 1 neutro, 1 hilo de tierra, 60 Hz ± 0,1 por ciento. <input type="checkbox"/> 220 V c.a., ± 1 por ciento, 3 F, 1 neutro, 1 hilo de tierra, 60 Hz ± 0,1 por ciento. <input type="checkbox"/> 480 V c.a., ± 1 por ciento, 3 F, 1 hilo de tierra, 60 Hz ± 0,1 por ciento.
Altura de Instalación m s.n.m.:	Indicar
Entrada o salida de cables al gabinete de SFI:	<input type="checkbox"/> Normal, parte inferior <input type="checkbox"/> Especial, parte lateral <input type="checkbox"/> Superior
Protocolo de comunicación:	Modbus y Ethernet TCP/IP
Panel de control:	<input type="checkbox"/> Panel mímico <input type="checkbox"/> Pantalla digital LCD
Accesorios o requerimientos adicionales:	Indicar



	CUESTIONARIO TÉCNICO	SISTEMA DE FUERZA ININTERRUMPIBLE DE MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO (PWM)
DESCRIPCIÓN	REQUERIDO	COTIZADO
DATOS GENERALES		
No. de proyecto:	Indicar	
Lugar:	Indicar	
Planta:	Indica	
Clave del equipo:	Indicar	
Cantidad de equipos:	Indicar	
Servicio:	Interior	
Operación:	En línea, doble conversión	
Servicio a sistema de:	Indicar	
Uso:	Industrial Telecomunicaciones	() ()
Tiempo de vida garantizada del SFI y banco de baterías:	20 años	
Cumple con:	800-18111-SNTNR-0115-2008	
BANCO DE BATERÍAS		
Tipo de baterías:	Níquel-Cadmio de placa de acero, sellada, 20 años sin adición de agua, recombinación de gas interna, regulada por válvula de baja presión.	
Tensión nominal c.c.:	Indicar	
Capacidad Ampere-hora (Ah):	Indicar	
Tiempo de respaldo para la carga a alimentar:	Indicar	
Número de celdas:	Indicar	
Tensión nominal por celda:	1,2 V/ celda	
Temperatura de operación:	20-35°C	
Tipo de descarga:	Media	
Tensión óptima de flotación a 25°C:	1,42 V/celda	
Tensión óptima de Carga rápida a 25°C:	1,45 V/celda	
Tensión de descarga final:	1,00 V/ celda	
Tensión mínima banco de baterías:	Indicar	
Tensión máxima banco de baterías:	Indicar	
Accesorios adicionales:	Indicar	
Tensión de flotación por celda:	1,41 – 1,43 V/ celda	
Tensión de carga rápida por celda:	1,44 – 1,46 V/ celda	
Tensión de flotación banco de baterías:	Indicar mínimo y máximo	
Tensión de carga rápida banco de baterías:	Indicar mínimo y máximo	
Vaso y cubierta de la batería:	Polipropileno, traslucido	
Características de las baterías:	De acuerdo a 800-18111-SNTNR-0115-2008	
Bastidor para baterías:	Abierto de acero estructural, soldado. Color verde PEMEX 628 (Pantone Matching System PM-577).	
Arreglo del bastidor:	Vertical	
Características del bastidor:	Indicar	
Accesorios y herramientas:	De acuerdo a 800-18111-SNTNR-0115-2008	
Cálculos:	Indicar	
SISTEMA DE FUERZA ININTERRUMPIBLE		
Capacidad en kVA:	Indicar	
Capacidad en amperes del SFI:	Indicar	
Tecnología SFI:	PWM	()
SFI:	Monofásico Trifásico	() ()

A.2. Abreviaturas

°C	Grados Celsius (Centígrado).
Ω	Ohm.
A	Amperes.
C. A.	Corriente alterna.
C. C.	Corriente continua.
CCM	Centro de control de motores.
dB	Decibel.
FET	Field Effect Transistor (Transistor de Efecto de Campo).
Hz	Hertz (Frecuencia, ciclos por segundo).
IEC	International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional).
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistors. (Transistor Bipolar de Compuerta Aislada).
kVA	Kilo volt ampere (potencia aparente).
kW	Kilowatt (potencia activa).
LED	Light emission diode (Diodo emisor de luz).
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
MVA	Mega Volt Ampere.
NMX	Norma Mexicana.
NOM	Norma Oficial Mexicana.
NRF	Norma de Referencia.
PLC	Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable).
s	Segundo.
SCR	Silicon Controllet Rectifier (Rectificador Controlado de Silicio).
SFI	Sistema de fuerza ininterrumpible.

TBJ	Transistor Bipolar Junction (Transistor Bipolar de Unión).
THD	Total Harmonic Distortion (Distorsión Armónica Total).
Vc.a.	Volts Corriente alterna.
Vc.c.	Volts Corriente continua.
V	Volts.

A.3. Glosario.

Acometida: derivación que conecta la red del suministrador de energía eléctrica a las instalaciones del usuario. Se aplica también al punto o lugar de alimentación a equipos o subestaciones eléctricas.

Alarma: dispositivo o función que señala la existencia de una condición anormal del proceso por medio de un cambio discreto visible o audible, o ambos, con el propósito de llamar la atención.

Batería: dispositivo constituido por celdas electroquímicas que almacena y proporciona energía eléctrica de corriente continua.

Carga de flotación: es la carga permanente a baja corriente, aproximadamente igual a la pérdida interna y suficiente para mantener la batería en condiciones de carga completa.

Carga de igualación (Carga rápida para baterías selladas): es la carga prolongada hasta un punto tal que se asegure la completa recuperación de la capacidad de la batería.

Cargador de Baterías: equipo electrónico con alimentación de corriente alterna, que entrega corriente directa a una demanda continua o intermitente y suministrando energía para cargar las baterías.

Distorsión armónica: es el grado de deformación de una onda senoidal, causada por frecuencias armónicas. Generalmente se expresa en porcentaje.

Electrolito: es la solución acuosa en la cual la corriente circula en virtud del movimiento de los iones, producto de la reacción química.

Ethernet: Topología de red de área local basada en la IEEE - 802.3, en la cual los dispositivos que están conectados al canal de comunicación compiten por el acceso al mismo, basado en la detección de portadora de acceso múltiple y detección de colisiones (CSMA/CD).

Factor de cresta: es el cociente entre el valor máximo instantáneo del voltaje o de la corriente, y el valor eficaz del voltaje o de la corriente.

Generador: Máquina que transforma energía mecánica en energía eléctrica.

Instrumento: dispositivo para determinar el valor presente de la variable medida, con propósitos de observación, medición y control.

Interruptor: dispositivo diseñado para abrir y/o cerrar un circuito eléctrico por medios no automáticos y para abrir el circuito automáticamente a una sobre corriente en condiciones predeterminadas, sin dañarse a sí mismo, cuando se aplica apropiadamente dentro de su valor nominal.

Interruptor de transferencia: equipo o dispositivo para conmutar entre dos fuentes de energía eléctrica.

Inversor de corriente: equipo electrónico destinado a cambiar instantáneamente corriente continua en corriente alterna, a valores específicos de salida en voltaje y frecuencia.

Límite de corriente: es el valor especificado de corriente de salida de la fuente de alimentación, que no es sobrepasado gracias al empleo de un limitador de corriente fijo o ajustable.

Línea alternativa: circuito alternativo de alimentación al SFI, para cuando sea necesario transferir la carga a la fuente alternativa, para facilitar el mantenimiento del SFI o por problemas en el rectificador o inversor.

Operación en línea: cuando la carga esta continuamente alimentada del inversor y la batería esta siempre conectada a la entrada del inversor.

Oscilador: dispositivo activo para producir una cantidad periódica de la frecuencia fundamental la cual es determinada por las características del dispositivo.

Pemex: se refiere a petróleos mexicanos y organismos subsidiarios.

Rectificador: dispositivo destinado a cambiar instantáneamente corriente alterna en continua.

Retransferencia de carga: conexión de la carga a la salida del inversor después de que se ha realizado una transferencia de carga a la línea alternativa.

Servicio continuo: funcionamiento con una carga prácticamente constante durante un periodo largo indefinido.

Sincronización: acoplamiento de dos o más dispositivos para que trabajen al mismo tiempo.

Sistema de control: conjunto de elementos interconectados para desarrollar funciones de supervisión y control con el propósito de mantener estables las condiciones del proceso.

Sistema eléctrico de emergencia: es una fuente independiente de respaldo de energía eléctrica, que actúa cuando hay una falla en la alimentación normal, proporcionando automáticamente energía eléctrica confiable, durante un tiempo especificado a equipos y aparatos críticos.

Sistema de fuerza ininterrumpible (SFI): combinación de convertidores, interruptores y dispositivos de almacenamiento de energía (baterías para constituir un sistema de potencia eléctrica para mantener la continuidad del servicio cuando se produce una falla en el suministro normal de energía eléctrica.

SFI monofásico: SFI con salida de corriente alterna monofásica.

SFI trifásico: SFI con salida de corriente alterna trifásica.

Sobrecarga: funcionamiento de un equipo excediendo su capacidad nominal, de plena carga o de un conductor que excede su capacidad de conducción de corriente nominal.

Sobrecorriente: cualquier corriente eléctrica en exceso del valor nominal de los equipos o de la capacidad de conducción de corriente de un conductor.

Transferencia de carga: conexión de la carga a la línea alternativa del SFI cuando ocurre una falla o una sobrecarga en el inversor, generalmente lo debe realizar el interruptor estático.

Uso industrial: equipos que deben ser diseñados y construidos para utilizarse en instalaciones donde las condiciones de temperatura, humedad y corrosión son extremas, y deben funcionar normalmente sin detrimento de ninguna de sus características eléctricas y mecánicas.