

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

NADA HUMANO ME ES AJENO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA LICENCIATURA EN

INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS

INDUSTRIALES

**Propuesta de un grupo electrógeno
con un sistema híbrido bidireccional tipo G2HEV**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

LICENCIADOS EN INGENIERÍA EN SISTEMAS

ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

PRESENTAN

ARTURO LOPEZ DELGADO

LUCIA VAZQUEZ CONTRERAS

DIRECTOR

ING. DAVID VELÁZQUEZ SUÁREZ

Ciudad de México, abril de 2026.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Dedicatorias del estudiante Arturo López Delgado.

María Del Carmen Delgado López

A mi madre

Por ser la guía en este mundo terrenal por los abrazos y las palabras de apoyo que ayudaron a siempre enfocarme y luchar por mis metas y sueños. Para ser una persona mejor cada día, este trabajo es dedicado a ti y a ese amor profundo que existe entre madre e hijo gracias por ayudarme a cumplir mis sueños y escucharme cuando lo necesito eres la mejor madre del mundo.

Adriana del Carmen Ortiz Delgado y Octavio Alejandro Ortiz Delgado

A mis hermanos

Por ser parte esencial de mi vida y de mi formación. Adriana, gracias por impulsarme a ser una persona segura y enfocada, que contribuyeron a quien soy hoy. Octavio, gracias por los momentos compartidos, por tu ejemplo de compromiso y por enseñarme a vivir con pasión lo que amo. Los quiero mucho.

Joselyn Rodríguez Vázquez

A mi pareja

Por ser mi guía en este camino del conocimiento, por acompañarme en los días buenos y, sobre todo, en los difíciles. Gracias por ser una persona que siempre busca la superación y la excelencia, por inspirarme con tu dedicación y por el gran futuro que sé que construirás como profesionista y como química; no tengo la menor duda de ello.

Las palabras se quedan cortas para describir el profundo agradecimiento que siento y al maravilloso ser humano que eres, con tus virtudes y defectos, y aun así te elijo en esta y en todas las vidas. Te amo. Gracias por impulsarme en el desarrollo de este trabajo y motivarme a mejorarlo, con la esperanza de que quienes lean esta tesis encuentren en ella un punto de partida para la creación y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Alexa Rodríguez y Alexander Rodríguez

A mis sobrinos

Les comparto este trabajo que es fruto de esfuerzo y dedicación todos los sueños que tengan se pueden lograr con perseverancia. Ustedes son los futuros arquitectos de nuevas metas y sueños no dejen que nada ni nadie les diga lo que puedan lograr y soñar.

Dedicatorias de la estudiante Lucia Vázquez Contreras.

Jorge Alberto Quezada Flores

A mi esposo

Por su amor, comprensión y apoyo incondicional durante esta etapa académica. Gracias por creer en mí y acompañarme en cada momento. Este logro también es tuyo.

Mateo Alberto Quezada Vázquez

A mi hijo

El motor de mi vida y mi mayor inspiración. Tu amor me impulsa a superarme cada día y a no rendirme ante los desafíos. Todo este esfuerzo busca ser un ejemplo para ti, para que siempre creas en tus sueños y luches por alcanzarlos. Mi amor por ti es infinito.

Margarita Contreras, Rosalba, Josefina y Lourdes

A mi madre y hermanas

Son pilares fundamentales y representan el apoyo matriarcal que me ha sostenido con amor, fortaleza y palabras de aliento a lo largo de mi vida.

Virgilio Neri Contreras

A mi cuñado

Por su confianza, apoyo y acompañamiento durante este ciclo académico y en mi vida.

Con amor y gratitud para quienes han sido mi fortaleza en cada paso de este camino.

Dedicatoria general de los estudiantes Arturo López Delgado y Lucia Vázquez Contreras.

Ing. David Velázquez Suárez

Le agradecemos por su orientación, paciencia y constante disposición durante el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y conocimientos fueron fundamentales para la adecuada estructuración y realización de este proyecto.

Ing. Antonio Rodríguez Molina

Le expresamos nuestro agradecimiento al apoyarnos con material didáctico e información técnica fundamental para la realización de esta tesis. Su apoyo fue de gran valor para fortalecer el contenido y la calidad del presente trabajo con orientación y su vasta experiencia como asesor senior de ingeniería en servicios y mantenimiento.

UACM

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma de la Ciudad de México por brindarnos la formación, el conocimiento y las herramientas necesarias para culminar esta etapa académica. De igual manera, agradecemos a nuestras familias y amigos por su apoyo, comprensión y motivación constante a lo largo de este proceso. Su acompañamiento ha sido fundamental para alcanzar este logro.

El diseño de ingeniería se ha definido como “El proceso de aplicar las diversas técnicas y principios científicos con el propósito de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficientes detalles que permitan su realización.

El diseño puede ser simple o muy complejo, fácil o difícil, matemático o no matemático; puede implicar un problema trivial o uno de gran importancia”

“La ingeniería es encontrar una solución donde no hay solución”

CONTENIDO:

RESUMEN	8
JUSTIFICACIÓN	10
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS PARTICULARES	17
CAPÍTULO 1	18
CONCEPTOS GENERALES DE MAQUINAS Y GENERADORES ELÉCTRICOS.....	18
1.1 DEFINICIÓN DE MÁQUINA.....	19
1.2 PRINCIPIO DE LA CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA.....	20
1.3 CONCEPTOS GENERALES DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS	21
1.4 CONCEPTOS GENERALES DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS	22
1.5 FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES MECÁNICO-ELÉCTRICO (DINAMO Y ALTERNADOR)	24
1.6 FUNDAMENTOS DE MAGNETISMO	25
1.7 DIRECCIÓN DE LA FEM [] REGLA DE FLEMING []	27
1.8 FUERZA ELECTROMOTRIZ.....	27
1.9 FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA (PRIMERA LEY DE FARADAY)	30
1.10 DINAMO	32
1.11 F.E.M. INDUCIDA SOBRE UN CUADRO DE ROTACIÓN.....	34
1.12 F.EM. GRAFICA DE LA FUERZA ELECTROMOTRIZ DE INDUCCIÓN DEL ALTERNADOR.	36
1.13 FACTOR DE POTENCIA.	37
CAPÍTULO 2	42
GRUPOS ELECTRÓGENOS, INSTALACIÓN Y RED DE CONEXIÓN ELÉCTRICA EN EL GENERADOR	42
2.1 GRUPOS ELECTRÓGENOS	43
2.2 EJEMPLO, GRUPO ELECTRÓGENO, COMPONENTES, DIAGRAMA GENERAL DE INSTALACIÓN ...	44
2.3 TRANSFERENCIA DEL GRUPO ELECTRÓGENO	50
2.4 DERRATEO DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS	52
2.5 TIPOS DE GRUPOS ELECTRÓGENOS	53
2.6 ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS DEL SISTEMA	54
2.7 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICOS EN LOS GENERADORES.....	56
2.8 CONEXIONES ELÉCTRICAS EN LOS GENERADORES.....	57

2.9 CONEXIÓN ESTRELLA.....	58
2.10 CONEXIÓN DELTA.....	61
CAPÍTULO 3	65
MOTORES PARA LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.....	65
3.1 MOTORES DIESEL	66
3.2 MOTORES A GAS	68
3.3 MOTORES DE BIOCOMBUSTIBLE.....	69
CAPÍTULO 4	70
GENERADORES PARA GRUPOS ELECTRÓGENOS.....	70
4.1 GENERADORES SINCRÓNICOS.....	71
4.2 GENERADORES ASÍNCRONOS.....	74
4.3 GENERADORES DE IMÁN PERMANENTE	76
4.4 COMPARACIÓN ENTRE GENERADOR SINCRÓNICO Y ASÍNCRONO	78
CAPÍTULO 5	80
PROCEDIMIENTO PARA LA ESPECIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS ELECTRÓGENOS... 80	
5.1 LA POTENCIA NECESARIA PARA CUBRIR NECESIDADES PRESENTES Y FUTURAS	81
5.2 LOS ELEMENTOS QUE DEBE INCORPORAR EL EQUIPO	81
5.3 NORMA LEGALES QUE SE DEBEN CUMPLIR	81
5.4 ESPACIO DE INSTALACIÓN.....	81
5.5 ANÁLISIS DE INSTALACIÓN ACTUAL	82
5.6 CONSUMO DE POTENCIA ELÉCTRICA	83
5.7 ELECCIÓN DE GRUPO ELECTRÓGENO A PARTIR DEL CONSUMO DE POTENCIA ELÉCTRICA TRIFÁSICO	84
5.8 CABLEADO PARA LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.....	86
5.9 SELECCIÓN DE LA CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE	87
5.10 LEY DE OHM PARA CONDUCTORES DE LÍNEA.	88
5.11 EJEMPLO DE APLICACIÓN: DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA PLANTA ELECTRÓGENA EN UNA ESTACIÓN DE PAQUETERÍA DE AMAZON-QUERÉTARO.	89
CAPÍTULO 6	92
PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL PARA UN GRUPO ELECTRÓGENO.....	92
CAPÍTULO 7	97
PROPUESTA DE GRUPO ELECTRÓGENO CON UN SISTEMA HÍBRIDO BIDIRECCIONAL.....	97
7.1 LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS	98

7.2 LOS SISTEMAS BIDIRECCIONALES.....	101
7.3 SISTEMA HÍBRIDO BIDIRECCIONAL CON RESPALDO A LA RED ELÉCTRICA.....	102
7.4 VEHÍCULOS HÍBRIDOS TIPO V2G	103
7.5 TOPOLOGÍAS DE CONVERTIDORES BIDIRECCIONALES PARA LOS SISTEMAS V2G. []	103
7.5.1 CONVERTIDOR BIDIRECCIONAL DE PUENTE COMPLETO Y CONVERTIDOR DC-DC REVERSIBLE	103
7.5.2 CONVERTIDOR DE OCHO CONMUTADORES	105
7.5.3 CONVERTIDOR DE TRES NIVELES.....	106
7.5.4 CONVERTIDOR DE TOPOLOGÍA DE ETAPA SIMPLE.....	107
7.5.5 CONVERTIDOR DE TOPOLOGÍA EN ARREGLO MATRICIAL NO AISLADO	110
7.5.6 CONVERTIDOR DE TOPOLOGÍA EN ARREGLO MATRICIAL AISLADO.....	111
7.5.7 COMPARACIÓN DE VARIOS TIPOS DE CONVERTIDORES.....	112
7.6 CONVERTIDOR DE TRANSFERENCIA BIDIRECCIONAL DE ENERGÍA INDUCTIVA.	113
CONCLUSIONES.....	119

RESUMEN

En este proyecto se plantea conocer que es un grupo electrógeno, estudiar los tipos y características, además: proponer y aplicar un grupo o equipo electrógeno y finalmente proponer de manera conceptual un sistema GE [¹] con tecnología Híbrida.

En la introducción hacemos un resumen de las formas en que se genera energía eléctrica, con énfasis en las máquinas rotatorias; que son objetivo de este documento. Se busca mostrar las bases de los generadores eléctricos en la teoría y la relación con los grupos electrógenos, de tal manera que, los ingenieros o estudiantes de una carrera afín sepan calcular los parámetros necesarios para un equipo electrógeno a partir de una carga. También dentro del desarrollo y análisis de un GE ir relacionando la normatividad a cumplir NOM [²]; además generar los procedimientos para las aplicaciones con la documentación relativa y de planificación.

Actualmente, numerosos procesos comerciales e industriales requieren de sistemas de respaldo energético que garanticen la continuidad operativa ante interrupciones del suministro eléctrico CFE [³]. Si ocurre una interrupción, el equipo electrógeno es capaz de compensar esta pérdida y/o suministrar energía eléctrica, evitando frenar la operación, funcionamiento o manufactura; dar continuidad a la operación, sin atrasos; detener los procesos por la falta de energía eléctrica se refleja en diferentes áreas, por ejemplo, pérdida económica.

Hacemos un ejemplo de aplicación en la empresa con razón social Servicios Comerciales Amazon México, S. de R.L. de C.V planta ubicada en QUERÉTARO, quien solicita un equipo electrógeno capaz de alimentar los equipos que se encuentran en la estación de trabajo. Para ello se proporcionan los diagramas unifilares, para determinar la carga instalada en la estación de trabajo y proponer un grupo electrógeno apto para respaldar este consumo en la estación y no frenar el proceso de manufactura en dado caso que exista un corte del suministro eléctrico.

¹ GE, Grupo Electrónico. Coloquialmente denominada como “planta de emergencia”

² NOM, Norma Oficial Mexicana

³ CFE, Comisión Federal de Electricidad, Organismo Público responsable de la generación y distribución de electricidad en México.

Dentro de los objetivos de este proyecto es proponer un equipo, como una muestra de aplicación práctica de la ruta propuesta por el presente documento.

Finalmente se investiga, documenta sobre sistemas híbridos y hacemos una propuesta de GE usando los componentes centrales del sistema híbrido bidireccional.

Capítulo 1 Conceptos generales de máquinas y generadores eléctricos.

En este capítulo se describe la generación de energía y como se relacionan con las maquinas rotativas dando un poco de contexto histórico y explicando las teorías más importantes que relacionan el funcionamiento de los grupos electrógenos con conceptos de electromagnetismo y el factor de potencia.

Capítulo 2 Grupo electrógenos instalación y Red de conexión eléctrica en el generador.

En este capítulo se describen los componentes del grupo electrógeno, así como las posibles configuraciones de conexión eléctrica para el generador (alternador) y las diferentes redes derivadas de ella como la red monofásica, bifásica y trifásica. También se explicará el concepto de triangulo de potencia definiendo lo que es potencia aparente, activa y reactiva, el arreglo estrella y delta en el generador.

Capítulo 3 Motores para los grupos electrógenos.

En este capítulo se describen los tipos de combustibles que se utilizan regularmente en los motores de combustión interna y las cualidades de cada uno y el por qué el motor a Diesel es el más utilizado en la industria.

Capítulo 4 Generadores para grupos electrógenos.

En este capítulo se describen los dos diferentes tipos de generadores síncronos y asíncronos ya que estas máquinas eléctricas tienen la capacidad de generar energía eléctrica a partir de dispositivos acoplados a los motores de combustión. Además, se presentan gráficos y ecuaciones para especificar estos GE generadores de electricidad hacia una carga.

Capítulo 5 Procedimiento para la especificación e implementación de equipos electrógenos.

En este apartado documentamos los pasos a seguir para especificar un grupo electrógeno

con base a los requerimientos de una instalación. En este mismo capítulo realizamos un ejemplo de cálculo de un sistema electrógeno.

Hablaremos sobre los conceptos aplicados en los grupos electrógenos como las pérdidas de potencia debido a la altura a nivel del mar donde se aplica el GE y la temperatura en el alternador, derrateo [4]. Información de las cargas conectadas al tablero principal, analizando su diagrama unifilar, Cálculo de la potencia aparente para sistemas trifásicos, utilizando los datos proporcionados por el proveedor de suministro eléctrico. Los diferentes estados de funcionamiento del grupo electrógeno (Standby y Prime) y en qué se diferencian uno del otro.

Capítulo 6 Plan de mantenimiento general para un grupo electrógeno.

En este capítulo se describe los diferentes planes de mantenimiento para los equipos electrógenos, así como las fallas más comunes en el sistema: fallas en la generación de la planta, fallas por cuestiones de temperatura, fallas por baja presión de aceite, fallas por un largo tiempo de arranque, entre otras.

Capítulo 7 Propuesta de grupo electrógeno con un sistema híbrido bidireccional

En este capítulo documentamos sobre los vehículos eléctricos, los sistemas bidireccionales y convertidores electrónicos bidireccionales. Finalmente hacemos una propuesta de un grupo electrógeno con sistema híbrido bidireccional.

JUSTIFICACIÓN

Hoy en día muchos de los procesos comerciales e industriales requieren contar con un respaldo de energía eléctrica para dar continuidad a sus actividades sin depender totalmente del suministro de energía eléctrica del proveedor (CFE) [5]. Si existe una interrupción el sistema de respaldo que genera el suministro de electricidad se denomina “grupo electrógeno” GE, el cual es capaz de sustituir esta pérdida del suministro de energía eléctrica, evitando frenar la operación, funcionamiento o manufactura; da continuidad al trabajo, evita atrasos o detener los procesos por la falta del suministro eléctrico. Sin lugar a

⁴ Derrateo: Reducción intencional de la capacidad nominal de un Grupo Electrógeno

⁵ CFE. Comisión Federal de Electricidad

dudas las pérdidas económicas son centrales para implementar estos GE en donde son necesarios.

Los sistemas de potencia eléctrica también han ido cambiando con el tiempo, debido a diferentes factores, entre algunos: Nuevos componentes, materiales, combustibles, etc. Tanto qué se requiere actualizar la información, adoptar, complementar la investigación y desarrollo de nuevos productos.

Por otro lado, es importante distinguir entre un GE y los sistemas de respaldo a baterías, denominados UPS [⁶]. Mientras que el GE tiene un tiempo más largo de respuesta que el UPS para suministrar la energía eléctrica interrumpida, la UPS debe suministrar la ausencia de inmediato; Este último sistema está dirigido a procesos y áreas que requieren de suministro eléctrico ininterrumpido; casos como Quirófanos o Centros de Cómputo son un buen ejemplo. Así qué, el sistema GE está dirigido a las áreas donde una ausencia de suministro eléctrico no es de tiempo de respuesta crítico, el sistema de respaldo puede tardar en “entrar” desde segundos a minutos, sin riesgos graves.

Los GE son esenciales para garantizar la continuidad de las operaciones cuando la red eléctrica falla. Proveen energía a instalaciones como fábricas, edificios gubernamentales o centros de trabajo no críticos, asegurando que sistemas automáticos de seguridad y protección sigan funcionando, evitando accidentes y pérdidas operativas. Además, muchas industrias están obligadas por normativas y regulaciones a contar con un sistema de respaldo eléctrico, lo que convierte a los grupos electrógenos en una necesidad para cumplir con los requisitos legales. Estos GE también ayudan a prevenir pérdidas económicas al evitar paradas en la producción, afectaciones en el servicio al cliente y daños a equipos.

Aunque la inversión inicial puede ser alta, los GE ofrecen rentabilidad a largo plazo al evitar los costos derivados de interrupciones operativas, paradas imprevistas o fallos en sistemas críticos. Así, se convierten en una inversión estratégica para asegurar la estabilidad y autonomía energética de las instalaciones.

Por otro lado, y de carácter fundamental es el avance tecnológico que se ha dado en vehículos eléctricos VE [⁷] y sus nuevas versiones, como: HEV [⁸], PHEV [⁹], entre otras;

⁶ UPS, Uninterruptible Power Supply. Fuente Ininterrumpida de Energía

⁷ VE del inglés EV, Electric Vehicle

⁸ HEV Vehículo Híbrido, con motor de combustión y Eléctrico.

⁹ PHEV Vehículo Híbrido conectable a red.

Son sistemas que integran un GE y de funcionamiento muy superior, ya que el sistema de control y conversión bidireccional va a posicionarlos como la siguiente etapa en el desarrollo e implementación de GE para soporte de Energía ante la ausencia del suministro de la red.

Este proyecto se justifica plenamente por la propuesta de un GE usando la tecnología actual de sistema híbrido del tipo vehículo eléctrico; en su conceptualización.

El documento presente integra:

Conocer que es, los tipos y características; dar un resumen de los aspectos teóricos y principios de funcionamiento de los GE; documentar y proponer esquemas de mantenimiento de los GE, proponer como ejemplo un grupo o equipo electrógeno a nivel industrial con sus procedimientos de selección adecuada.

En este trabajo recepcional hacemos un resumen de las formas en que se genera energía eléctrica, con énfasis en las máquinas rotatorias que lo integran y que son objetivo de este documento.

El objetivo general de este proyecto es proponer un GE usando tecnología de los sistemas híbridos bidireccionales, para soportar una carga crítica, ante la ausencia del suministro eléctrico. Se propone una ruta específica en este documento para el entendimiento de los GE, bases y principios de funcionamiento, sistemas actuales, su selección, especificación y mantenimiento y finalmente la propuesta de un sistema híbrido bidireccional en función como GE.

Se busca mostrar las bases de los generadores eléctricos en la teoría y, la relación con los grupos electrógenos de tal manera que los ingenieros o estudiantes de una carrera afín puedan calcular los parámetros necesarios para un equipo electrógeno a partir de una carga. También se complementa con el cumplimiento de la normatividad aplicable a estos sistemas, NOM [¹⁰].

En resumen:

El suministro de energía eléctrica es fundamental en la sociedad, está vinculada a todo el quehacer de actividades del ser humano; es evidente en procesos industriales, médicos, de alimentos, entre muchos otros. En el suministro, aunque sus niveles de confiabilidad

¹⁰ NOM, Norma Oficial Mexicana

son altos, se presentan ausencias del mismo o eventos fuera de norma; por lo cual en áreas sensibles a la falta del suministro se requieren sistemas de respaldo y también, la falta de documentación en los GE y procedimientos para cálculo y mantenimiento; además del avance tecnológico JUSTIFICA el proyecto objetivo de este documento.

El desarrollo tecnológico, la necesidad de suministro eléctrico, la falta de información, el conocimiento de principios de funcionamiento, componentes, elementos formativos, de los GE y la propuesta; JUSTIFICA plenamente el presente proyecto. La figura J.1 muestra el diagrama a bloques de un sistema electrógeno.

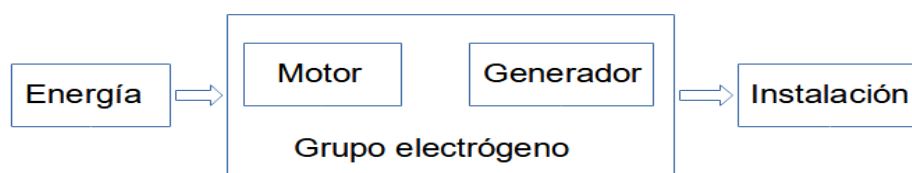


Figura J.1 Diagrama a bloques de grupo electrógeno. Realización propia.

INTRODUCCIÓN

Generación eléctrica.

La energía eléctrica para el uso en las actividades del ser humanos, requieren del concepto de conversión de la energía, es decir, usar una energía existente para transformarla en electricidad. Se puede partir del siguiente conjunto de procesos de conversión para generar electricidad, estos pueden ser:

1. Químicos
2. Térmicos
3. Mecánicos
4. Nucleares
5. Luminosos

Ejemplos de conversión que utilizan estos procesos son: Los procesos químicos que se llevan a cabo en baterías, los motores de combustión usan procesos térmicos, asimismo generar vapor de agua por calentamiento para alimentar turbinas generadoras de electricidad; los ríos y cascadas generan a través de elementos mecánicos rotatorios, la fusión de átomos genera el proceso térmico para generar vapor y mover al generador, finalmente, los paneles solares provocan el movimiento de electrones en semiconductores para generar electricidad.

Para el caso específico de grupos electrógenos GE los convertidores de energía utilizan los primeros dos elementos de energía de entrada, es decir, la química y térmica o ambos, para posteriormente con una conversión mecánica del par motor-generator obtener energía eléctrica, lo que se muestra en la figura I.1.



Figura I.1 Diagrama a bloques de grupo electrógeno GE, convertidores de energía

Diagrama a bloques ampliado de un GE

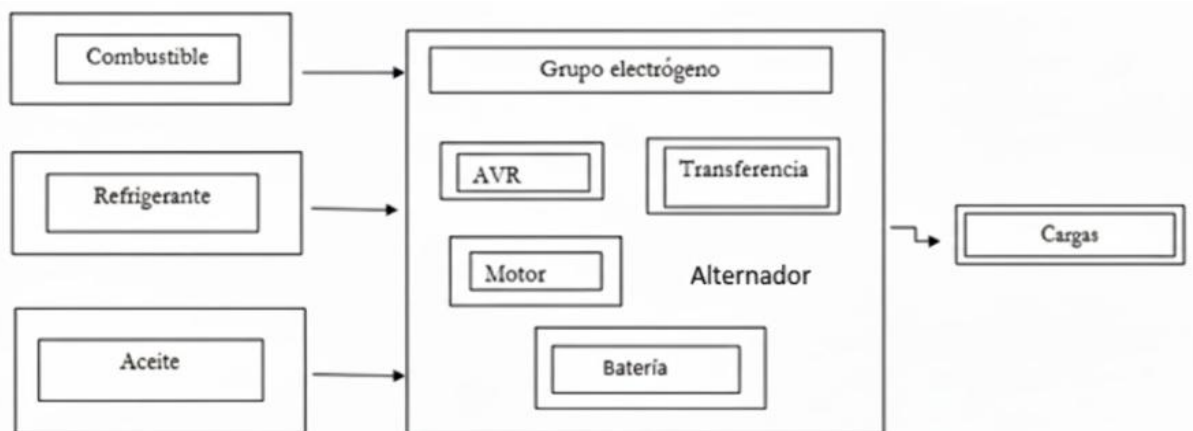


Figura I.2 Diagrama a bloques de grupo electrógeno GE típico, realización propia, revisar definición

Combustible: El combustible es la fuente de energía que, al quemarse, impulsa el movimiento del motor. Es una sustancia que libera energía al oxidarse, típicamente mediante un proceso de combustión interna. Esta energía se convierte en movimiento mecánico, permitiendo que el eje del alternador gire.

Refrigerante: Es un fluido, también conocido como anticongelante, que circula por el sistema de refrigeración para mantener la temperatura del motor en un rango óptimo. Su principal función es absorber el calor del motor y evitar tanto sobrecalentamiento en verano como el congelamiento de las piezas de invierno.

Aceite: Es un lubricante esencial para el funcionamiento de un motor de combustión interna. Su función principal es de reducir la fricción entre las partes móviles del motor, lo que ayuda a protegerlas del desgaste, controla la temperatura y mejora el rendimiento.

AVR: Es un sistema electrónico que mantiene el voltaje de salida en un nivel constante y preciso (Regulador de Voltaje Automático). Este regulador ajusta automáticamente la tensión de salida del generador para compensar variaciones en la carga y otras condiciones como la temperatura.

Transferencia: Se refiere al proceso de cambio automático de la fuente de energía principal (red eléctrica) a una fuente de respaldo (generador) cuando se detecta una interrupción o fallo en la energía principal.

Motor: Es la máquina que proporciona la energía mecánica para hacer girar el alternador

Alternador: Es la máquina que convierte la energía mecánica en energía eléctrica, generando corriente de (CA)

Batería: Es un dispositivo que almacena energía eléctrica y la libera cuando es necesaria. En generadores, la batería suele ser utilizada para alimentar el sistema de arranque y para proporcionar energía a otros componentes electrónicos cuando el generador no está en funcionamiento.

Cargas: Dispositivos, equipos o sistemas que se conectan al generador para consumir la energía eléctrica que este produce.

Las energías más utilizadas para conversión a eléctrica son:

Energías eólicas

Energía hidráulica

Energía nuclear

Energía térmica

Los generadores eléctricos transforman energía mecánica a energía eléctrica por medio de máquinas rotatorias, formadas por el par motor-generador, las variaciones del campo magnético generado en las bobinas del estator del generador al girar el rotor, alteran su estado en reposo; ya que si el rotor permanece en su estado de equilibrio no habrá una generación eléctrica.

Las máquinas rotatorias son dispositivos mecánicos que convierten energía de una forma a otra a través del movimiento rotativo. Son fundamentales en diversos sectores industriales, desde la generación de energía hasta la manufactura y el transporte. La tabla I.1 muestra en resumen los tipos principales de las máquinas rotatorias.

Motores eléctricos	Convierten energía eléctrica en energía mecánica
Generadores eléctricos	Convierten energía mecánica en energía eléctrica
Turbinas	Utilizan fluidos para generar movimiento rotativo
Compresores rotativos	Aumentan la presión de un gas a través del movimiento giratorio

Tabla I.1 Tipos principales de máquinas rotativas

Los grupos electrógenos son sistemas de generación de energía eléctrica que utilizan motores de combustión interna acoplados a generadores rotativos. Estos generadores son un tipo de máquina rotativa fundamental para convertir la energía mecánica en electricidad. La influencia de las máquinas rotativas en los grupos electrógenos es clave para su eficiencia, estabilidad y confiabilidad. La tabla I.2 describe los dos componentes principales del conjunto GE.

Motor de combustión interna	Utiliza combustible (Diesel, gas o gasolina, entre otros) para generar energía mecánica en forma de movimiento rotatorio
Generador eléctrico	Una maquina rotativa que convierte energía mecánica en energía eléctrica a través de la inducción electromagnética

Tabla I.2 Funcionamiento en conjunto motor y alternador

El eje del motor este acoplado directamente al rotor del generador, lo que permite que el movimiento rotatorio se transfiera eficientemente, generando corriente alterna.

OBJETIVO GENERAL

Investigar y documentar sobre los sistemas de conversión de energía híbridos, hacer una propuesta de grupo electrógeno usando tecnología hibrida con convertidores bidireccionales.

OBJETIVOS PARTICULARES

Definir que es un grupo electrógeno.

Documentar sobre Generadores y Motores para los grupos electrógenos.

Documentar las leyes físicas y modelos matemáticos que se aplican en la parametrización e implementación de un grupo electrógeno.

Generar un procedimiento para la especificación e implementación de equipos electrógenos, realizar un ejemplo.

Hacer una propuesta de programas y procedimientos de mantenimiento a los grupos electrógenos.

Proponer una innovación tecnológica aplicando como base un grupo electrógeno similar a los de los vehículos híbridos.

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES DE MAQUINAS Y GENERADORES ELÉCTRICOS

1.1 DEFINICIÓN DE MÁQUINA

“Una máquina es un conjunto de elementos móviles y fijos cuyo funcionamiento posibilita aprovechar, dirigir, regular transformar energía, o realizar un trabajo con un fin determinado. Se denomina maquinaria al conjunto de máquinas que se aplican para un mismo fin y al mecanismo que da movimiento a un dispositivo.”^[1]

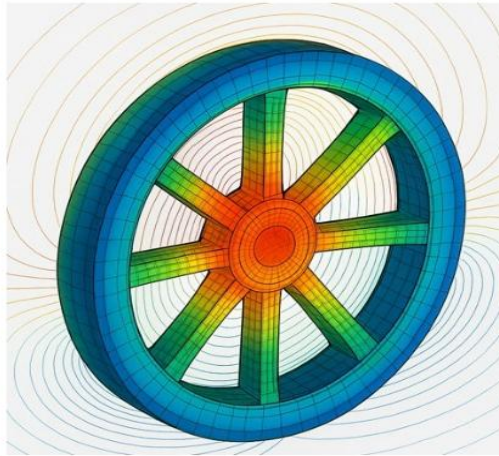


Figura 1.1 Invento de la rueda 3500 A.C. Generado en ANSYS Maxwell [11] versión estudiante.

“La invención de la rueda es considerada una de las primeras y más importantes máquinas en la historia de la humanidad. Se cree que apareció alrededor del año 3500 a.C. en Mesopotamia, una región que hoy corresponde a Irak. Al principio, la rueda no se utilizó para el transporte, sino en la alfarería, ayudando a los artesanos a crear piezas de cerámica de manera más rápida y uniforme. Esta versión inicial de la rueda se conocía como torno de alfarero y facilitó mucho el trabajo artesanal, marcando un gran avance en la fabricación de objetos.

Con el tiempo, las personas se dieron cuenta de que la rueda también podía ayudar a mover cargas pesadas. Así, empezaron a montarla en un eje fijo para crear los primeros carros con ruedas. Esta innovación cambió completamente la forma de transportar

¹¹ ANSYS Maxwell es un software de simulación electromagnética basado en el método de elementos finitos (FEM), utilizado para analizar y diseñar dispositivos eléctricos y electromecánicos. Permite modelar en 2D y 3D el comportamiento de campos eléctricos y magnéticos en condiciones estáticas, de corriente alterna y transitorias.

mercancías y materiales, haciendo el trabajo mucho más fácil y rápido. Además, permitió el desarrollo del comercio, ya que se podía llevar más carga a mayores distancias. También ayudó en la agricultura y la construcción, al facilitar el transporte de herramientas, alimentos y materiales de construcción.

A medida que pasó el tiempo, se mejoró el diseño de las ruedas para hacerlas más eficientes y duraderas. Se empezaron a fabricar con madera más resistente y, más adelante, se reforzaron con metal. También se inventaron las ruedas con rayos, que eran más ligeras, pero igual de fuertes, lo que permitió construir carros más rápidos y fáciles de manejar. Estas mejoras fueron muy importantes para el desarrollo de los primeros vehículos de transporte y de guerra, como los carros utilizados por egipcios, griegos y persas.”^[ii]

En resumen, la invención de la rueda fue un gran avance que cambió la historia de la humanidad. Al principio, ayudó a los alfareros a fabricar cerámica, pero con el tiempo revolucionó el transporte, el comercio y la agricultura. Además, sentó las bases para otros inventos en ingeniería y mecánica. La rueda es un claro ejemplo de cómo una idea simple puede transformar el mundo, facilitando la vida de las personas y permitiendo el desarrollo de las civilizaciones.

1.2 PRINCIPIO DE LA CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA

- a.** La energía se presenta en la naturaleza en diferentes formas. El objetivo de las maquinas eléctricas consiste en convertir la energía mecánica a energía eléctrica.
- b.** La conversión electromecánica de la energía para obtener energía eléctrica en grandes cantidades.
- c.** La conversión electromecánica de energía permite transmitir, consumir, modificar o transformar la energía electromagnética de una forma en otra, pero no es posible almacenarla en cantidades importantes.

El segundo concepto físico importante en los fenómenos de conversión de energía es la fuerza. La fuerza en un sistema físico se manifiesta mediante la presencia de interacciones entre la materia. Aun cuando parece que las fuerzas pueden ser de muy diferentes formas y tipos, se conocen en la actualidad solo cuatro fuerzas, que se muestran en la tabla 1.1

Interacciones	Elemento
Interacciones gravitacionales	Gravitones
Interacciones eléctricas entre las cargas	Electrón-protón-fotón
Interacciones nucleares débiles	Bosones intermedios
Interacciones nucleares fuertes	Protón-neutrón-pión

Tabla 1.3 Generación de la energía a nivel molecular

La conversión de la energía en los motores de combustión ocurre al transformar la energía química del combustible (gasolina, diésel, gas natural, etanol, etc.) en energía mecánica. Este proceso se lleva a cabo comúnmente en los motores de 4 tiempos, los cuales operan en 4 fases que se describen en la tabla 1.4.

Admisión	Se introduce una mezcla de aire y combustible en el cilindro. En motores Diesel, solo entra aire y el combustible se inyecta después.
Compresión	El pistón comprime la mezcla, aumentando la presión y la temperatura. Esta compresión eleva la eficiencia térmica.
Combustión	En motores Diesel, el combustible se auto inflama por la alta temperatura generada durante la compresión, en otros se requiere una chispa.
Escape	Los gases quemados se expulsan del cilindro a través de la válvula de escape, preparándolo para el siguiente ciclo.

Tabla 1.4 Conversión de la energía en los motores de combustión

La conversión de la energía en el alternador, ocurre al transformar energía mecánica en energía eléctrica mediante el principio de inducción electromagnética. Esto se logra gracias al movimiento relativo entre un campo magnético y un conductor eléctrico por el cual circula una corriente.

1.3 CONCEPTOS GENERALES DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Las máquinas eléctricas se han desarrollado en un proceso evolutivo que comienza a mediados del siglo XIX y que aún continúa en la actualidad. Innumerables patentes de conocidos inventores como Edison y Tesla, entre muchos otros, realizaron contribuciones significativas que lograron eficacia y eficiencia en la conversión electromecánica de

energía. Después de todo este desarrollo, las máquinas convencionales presentan características comunes que permiten generalizar la descripción matemática de su comportamiento. Los modelos analíticos de las máquinas eléctricas pueden ser notablemente simplificados cuando se realizan las hipótesis apropiadas y se utilizan transformaciones de las coordenadas de las variables de estado a sistemas de coordenadas, donde el comportamiento de estos convertidores se independiza de la posición angular del rotor.

Las máquinas eléctricas rotativas convencionales presentan generalmente las siguientes características comunes:

Poseen un eje mecánico a través del cual se realiza el intercambio de energía.

Tienen una pieza estática o inmóvil denominada estator.

Disponen de una pieza móvil denominada rotor, en el caso particular de las máquinas cilíndricas.

Generalmente son cilíndricas.

El flujo en el entrehierro de la máquina es de tiempo periódico.

La mayor parte de las máquinas eléctricas convencionales son cilíndricas porque en esta geometría se obtiene una disposición de todos los conductores en la cual la velocidad, el campo magnético y los conductores son perpendiculares entre sí.

En una máquina cilíndrica se garantiza la periodicidad del flujo porque de forma ideal la divergencia de la densidad de campo magnético es nula ($\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$), de lo cual explicaremos posteriormente.

1.4 CONCEPTOS GENERALES DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS

Los generadores eléctricos son dispositivos que convierten energía mecánica en energía eléctrica mediante el principio de inducción electromagnética. Se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde centrales eléctricas hasta portátiles.

Generadores	Nombre de Generador
Generador de corriente continua	Dinamo
Generador de corriente alterna.	Alternador

Tabla 1.5 Tipos de generadores mecánico-eléctrico

Tanto el dinamo como el alternador descrito en la tabla 1.5 son conocidos como máquinas rotativas ya que constan de partes giratorias. Los elementos de estas máquinas rotativas eléctricas, son de manera general dos, conocidos como: estator y rotor.

Estator:

Parte fija exterior de la máquina, está formado por una carcasa metálica que sirve de soporte; en su interior encontramos el **núcleo del inducido**, consta de material magnético (ferromagnético comúnmente) y el **inducido** que se constituye de una bobina de alambre conductor eléctrico (cobre comúnmente), el estator tiene una forma de corona y ranuras longitudinales. El estator es donde se alojan los conductores del enrollamiento inducido y está formado para conducir las trayectorias del flujo magnético que provocarán la inducción en las bobinas, que serán las salidas del potencial eléctrico o llamado voltaje del generador y causante de corriente eléctrica.

Rotor:

Parte móvil que gira dentro del estator, contiene el sistema inductor y los anillos de rozamiento, mediante los cuales se alimenta el sistema inductor.

La figura 1.2 muestra estator y rotor del generador eléctrico.

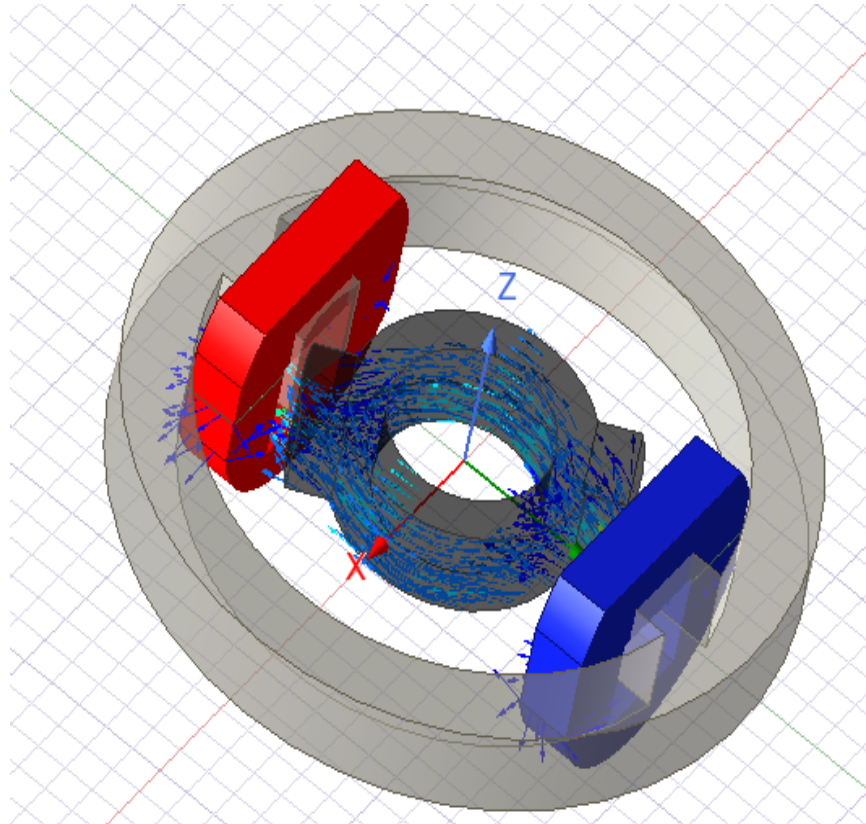


Figura 1.2 generada en ANSYS Maxwell versión estudiante: Estator e inductor, generación de corriente en el rotor.

1.5 FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES MECÁNICO-ELÉCTRICO (DINAMO Y ALTERNADOR)

La tabla 1.6 siguiente resume descripción y diferencias entre los dos tipos principales de los generadores eléctricos.

Generador	Rotor	Estator	Descripción
Alternador	Elemento inductor	Elemento inducido	El alternador es una máquina que actúa como un generador eléctrico. Este artefacto es capaz de convertir la energía mecánica en energía eléctrica, y como consecuencia, genera una corriente alterna a la que se le puede dar uso.
Dinamo	Elemento inducido	Elemento inductor	El dinamo es una máquina rotativa que genera energía eléctrica a medida que va girando. Cuanto mayor sea el número de revoluciones a las que se produce este giro, mayor será la tensión y, por lo tanto, aportará más energía. El dinamo absorbe la energía mecánica y la transforma en eléctrica de corriente continua.

Tabla 1.6 Funcionamiento electromecánico del alternador y dinamo.

A continuación, se muestran las energías utilizadas por los generadores.

Energías eólicas

Energía hidráulica

Energía nuclear

Energía térmica

1.6 FUNDAMENTOS DE MAGNETISMO

En un generador eléctrico, la energía mecánica se convierte en energía eléctrica. Esto ocurre cuando un rotor (conjunto de bobinas o imanes) gira dentro de un estator (bobinas estacionarias), generando un campo magnético variable. De acuerdo a la Ley de Faraday de Inducción Electromagnética, este campo produce un voltaje en las bobinas del estator.

El flujo magnético es el concepto fundamental para el funcionamiento de las máquinas rotativas. Este flujo se genera utilizando imanes permanentes o electro-imanés. Los imanes permanentes crean un campo magnético constante, mientras que los electro-imanés dependen de la corriente eléctrica que pasa por sus bobinas.

El estator y el rotor están diseñados para guiar el flujo magnético de manera eficiente. Esto asegura que el campo magnético interactúe correctamente con las bobinas para inducir un voltaje efectivo. Un diseño eficiente maximiza el acoplamiento electromagnético entre el rotor y el estator.

Para mejorar el rendimiento, se utilizan materiales ferromagnéticos como el hierro laminado. Estos materiales canalizan el flujo magnético con alta eficiencia. Además, el laminado se mejora en su composición de carbón lo que reduce las corrientes parásitas, que son corrientes inducidas no deseadas que generan pérdidas de energía en forma de calor.

También se minimizan las pérdidas por histéresis, que ocurren debido a la resistencia interna del material al cambio de polaridad magnética. Utilizando aleaciones especiales con baja histéresis, se reduce la pérdida de energía en cada ciclo de magnetización.

El diseño magnético es crucial para la eficiencia y el rendimiento de las máquinas rotativas. Se optimiza la capacidad de la densidad de flujo magnético que puede manejar el material ferromagnético para maximizar la inducción electromagnética. Además, se optimiza la reluctancia magnética del circuito electromagnético para reducir la resistencia al flujo magnético.

En motores y generadores modernos, se utilizan imanes de tierras raras, como el neodimio. Estos imanes producen campos magnéticos más fuertes en un volumen de material reducido, mejorando la potencia y eficiencia de las máquinas sin aumentar su tamaño.

Gracias a estos avances en diseño magnético y materiales, las máquinas rotativas modernas son más eficientes y compactas, optimizando la conversión de energía y minimizando las pérdidas energéticas.

1.7 DIRECCIÓN DE LA FEM [¹²] REGLA DE FLEMING [¹³]

La regla de la mano derecha de Fleming se utiliza para determinar la dirección de la F.E.M (Dirección de la corriente inducida) en un conductor en movimiento dentro de un campo magnético, de acuerdo a la tabla 1.7.

Pulgar	Dirección del movimiento del conductor
índice	Dirección del campo magnético
Dedo Medio	Dirección de la corriente inducida

Tabla 1.7 Regla de Fleming

Determinar la dirección de la F.E.M. es fundamental para diseñar circuitos eléctricos y sistemas de generación. Se utiliza para analizar el sentido de la corriente alterna en generadores.

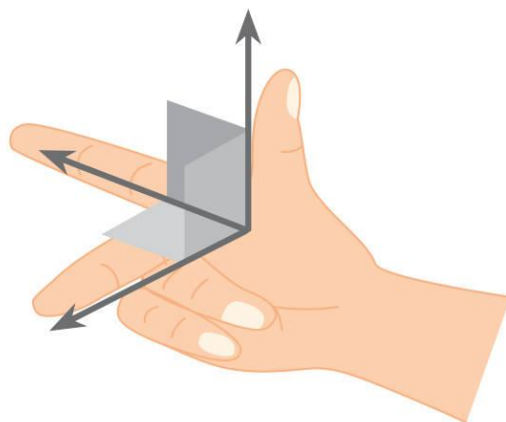


Figura 1.3 Regla de la mano derecha de Fleming, para determinar la Fuerza Electromotriz

1.8 FUERZA ELECTROMOTRIZ

El principio de funcionamiento de un generador eléctrico está en la primera Ley de Faraday. Establece que el potencial eléctrico inducido (voltaje) en un circuito es directamente proporcional al cambio de flujo magnético en un conductor o espira. Significa

¹²FEM Fuerza Electromotriz, definida en la cantidad de trabajo que una fuente realiza para mover una carga eléctrica desde un punto de menor potencial a uno de mayor potencial dentro de un circuito.

¹³ Fleming, se utiliza para motores eléctricos, mientras que la de la mano derecha se utiliza para generadores eléctricos.

que necesitamos un campo magnético generado por un flujo magnético y un circuito formado por espiras para inducir ese potencial.

A continuación, se muestra un ejemplo de operación de la FEM (fuerza electromotriz).

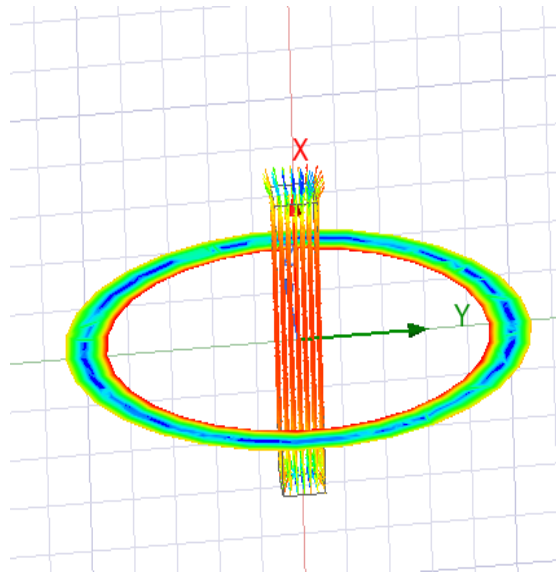


Figura 1.4 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: F.E.M en un conductor en movimiento

A causa de la existencia de esta corriente (Figura 1.4) se ejerce una fuerza hacia la izquierda sobre el conductor móvil por el campo y en consecuencia, es necesaria una fuerza exterior, suministrada por algún agente que produzca trabajo, para mantener el movimiento. El trabajo realizado por este agente es el efectuado sobre la carga circulante y por tanto, mediante este dispositivo se obtiene la transformación directa de la energía mecánica en energía eléctrica.

A continuación, se hace la demostración matemática y la relación de movimiento campo magnético y corriente para la generación de la FEM inducida con respecto al conductor [iii].

La fuerza ejercida sobre el conductor dentro del campo magnético.

$$\mathbf{F} = i\mathbf{L}\mathbf{B} \rightarrow \text{Fuerza sobre el conductor móvil} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

$\mathbf{F}$: fuerza ejercida sobre el conductor móvil

i : corriente inducida sobre el conductor móvil

$\mathbf{B}$: Campo magnético inducido sobre conductor móvil

Distancia recorrida por el conductor debido a la fuerza ejercida sobre el.

$$ds = vdt \rightarrow \text{La distancia recorrida en un intervalo de tiempo 't'}$$

Ecuación 1.2

s: desplazamiento del conductor móvil

v: velocidad con la que se desplaza el conductor móvil

t: tiempo en el que se desplaza el conductor móvil

Trabajo realizado sobre el conductor.

$$dW = Fds \rightarrow \text{Trabajo realizado al conductor}$$

Ecuación 1.3

w: trabajo realizado sobre el conductor móvil.

Sustituyendo valores en la ecuación de 'Trabajo realizado al conductor'

$$dW = ilBvdt \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Sabemos que: $idt = dq$; Donde dq = Es la variación de la carga con respecto al tiempo.

Por lo tanto, la ecuación 1.4 se modifica de la siguiente forma:

$$dW = lBvdq \quad \text{Ecuacion 1.5}$$

Aplicando variables separables en la ecuación 1.5, la expresión queda de la siguiente forma:

$$\frac{dW}{dq} = Blv \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Donde $\frac{dW}{dq}$ es igual a ξ llamada FEM por lo tanto la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\xi = Blv \quad \text{Ecuación 1.7}$$

A partir de las relaciones del campo magnético la corriente generada y la velocidad de desplazamiento del conductor encontramos la ecuación importante para el estudio de la F.E.M.

$$\xi = Blv \rightarrow \text{Fuerza electromotriz} \quad \text{Ecuación 1.8}$$

En conclusión, la fuerza electromotriz se define como la variación del trabajo con respecto a la variación de carga eléctrica.

1.9 FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA (PRIMERA LEY DE FARADAY)

Ya que el conductor se encuentra en movimiento empieza a generar una afectación en el área del campo magnético y por ende existirá una variación del flujo magnético con respecto al desplazamiento del conductor generando una F.E.M inducida.

El científico británico Michael Faraday interpreta este fenómeno y genera el principio que da origen a la primera ley que lleva su apellido: **la primera ley de Faraday o ley de inducción electromagnética.**

A continuación, se muestra un ejemplo con el que se busca mostrar la demostración de la ley de inducción electromagnética.

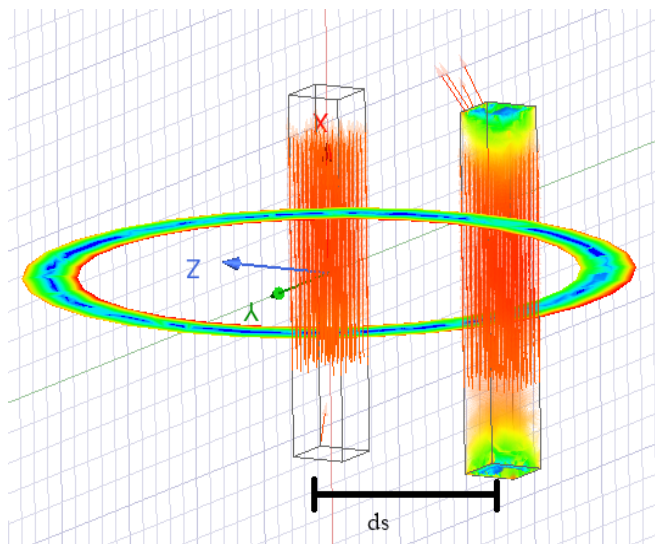


Figura. 1.5 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: fuerza electromotriz inducida en un conductor

Observando que el conductor se ha movido hacia la derecha una distancia ‘ds’ el área abarcada por el circuito cerrado, se hace la demostración de la ley de inducción electromagnética.

Tomando en cuenta las siguientes ecuaciones para la demostración de la ley:

$$\Phi = (\vec{B} \cdot \vec{A}) \rightarrow \text{flujo magnetico en una superficie cerrada} \text{ Ecuación 1.9}$$

Φ : flujo magnético generado a partir del área del conductor en movimiento

$\vec{B}$: Vector del campo magnético del conductor en movimiento

$\vec{A}$: Vector de Área del conductor en movimiento

Ya que el conductor se va moviendo va delimitando una superficie ‘A’ por lo tanto a este fenómeno lo podemos asociar a la siguiente ecuación:

$$dA = lds \rightarrow \text{variación del área al movimiento del conductor}$$

Ecuación 1.10

A continuación, se reescribe la ecuación del flujo electromagnético en su forma polar:

$$\Phi = BA \cos(\theta) \quad \text{Ecuación 1.11}$$

Se observa en la figura 1.5 que el campo magnético (B) es paralelo al área (A) por lo tanto el valor del Ángulo es:

$$\theta = 0^\circ$$

Por lo tanto, la ecuación 1.11 se simplifica de la siguiente manera:

$$\Phi = BA \quad \text{Ecuación 1.12}$$

Existe una variación del flujo magnético debido a un campo magnético constante; la única forma en que pueda variar ese flujo es que “exista” una variación de superficie o área a partir del movimiento del conductor, por lo tanto:

$$d\Phi = BdA \quad \text{Ecuación 1.13}$$

A continuación, si el flujo magnético va de punto a $\rightarrow$ b. Por la regla de la mano derecha, el flujo entra perpendicular a la hoja y por lo tanto el campo es negativo. Reescribiendo la ecuación de forma siguiente.

$$d\Phi = -BdA \quad \text{Ecuación 1.14}$$

Como el conductor se desplaza durante un intervalo de tiempo ‘t’ se puede expresar la ecuación 1.14 (dividiendo ambos lados por ‘dt’)

$$\frac{d\Phi}{dt} = -B \frac{dA}{dt} \quad \text{Ecuación 1.15}$$

Sustituyendo la ecuación 1.10 en la ecuación 1.15:

$$\frac{d\Phi}{dt} = -B \frac{d(lds)}{dt} \quad \text{Ecuación 1.16}$$

Desarrollando la ecuación 1.16, queda de la forma siguiente:

$$\frac{d\Phi}{dt} = -B \left(l \frac{ds}{dt} + \frac{dl}{dt} ds \right) \quad \text{Ecuación 1.17}$$

Tomando a ‘l’ como constante, la expresión $\frac{dl}{dt} ds = 0$, por lo tanto la ecuación 1.17 queda

de la forma siguiente:

$$\frac{d\Phi}{dt} = -Bl \frac{ds}{dt} \quad \text{Ecuación 1.18}$$

Donde el término $\frac{ds}{dt}$ se refiere a la velocidad del conductor, por lo tanto:

$$\frac{d\Phi}{dt} = -Blv \quad \text{Ecuación 1.19}$$

Si se compara con la ecuación 1.7 se encuentra que el cambio del flujo magnético con respecto al tiempo induce una fuerza electromotriz o mejor conocida como F.E.M inducida.

$$\xi = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \text{Ecuación 1.20}$$

Por lo tanto, la ecuación 1.20 relaciona la variación de flujo magnético, la cual es proporcional a la F.E.M inducida.

Esta ecuación descrita por el científico Michael Faraday es la base de operación de los generadores eléctrico tanto para el alternador como para el dinamo.

1.10 DINAMO

Generalmente, la potencia mecánica disponible se encuentra sobre el eje de alguna máquina giratoria tal como una turbina o un motor de combustión interna, y por ello se prefiere algún mecanismo en el cual la F.E.M. se produzca en un conductor en rotación. Uno de los primeros dispositivos de este tipo fue ideado por Faraday y denominado dinamo de disco, se muestra en la figura 1.6

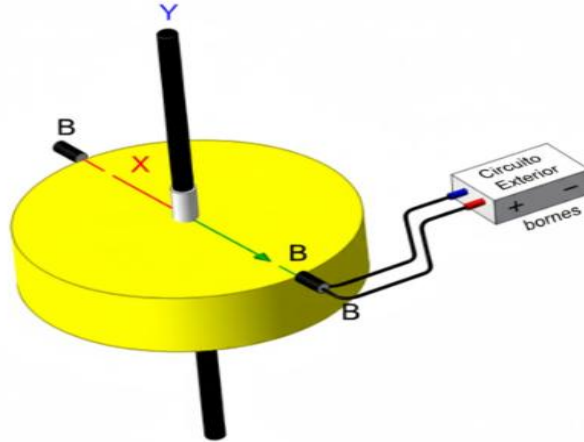


Figura 1.6 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: Dinamo de disco de Faraday

Representa un disco metálico de radio 'R' girando alrededor de un eje que pasa por su centro. El disco se encuentra en un campo magnético uniforme perpendicular al plano de la figura 1.6. Las escobillas B-B hacen contacto deslizante con el eje Y el borde del disco, y están conectados a los bornes del circuito exterior.

Consideremos un elemento radial del disco que se encuentra entre ambas escobillas y que un segmento de longitud 'dr' se mueve perpendicularmente al disco con una velocidad. A continuación, se hacen las ecuaciones de una F.E.M. inducida en un dinamo.

$$d\xi = (\vec{B} \times \vec{v}) \cdot d\vec{l} \rightarrow \text{Ecuación vectorial de variación de la F.E.M}$$

Ecuación 1.21

Reescribiendo la ecuación vectorial de variación de la F.E.M en coordenadas polares se expresa de la siguiente forma.

$$d\xi = Bvdr \quad \text{Ecuación 1.22}$$

Donde $v=v_t=wr$ y por tanto:

$$d\xi = Bwrdr \quad \text{Ecuación 1.23}$$

Integrando la ecuación 1.23 por el segundo teorema fundamental del cálculo, por ser

funciones inversas se anulan. La ecuación 1.23 queda de la siguiente forma:

$$\xi = \int_0^R B w r dr \quad \text{Ecuación 1.24}$$

Donde w y B son constantes durante todo el movimiento del disco, por lo tanto:

$$\xi = B w \int_0^R r dr \quad \text{Ecuación 1.25}$$

Por lo tanto, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\xi = \frac{B w R^2}{2} \quad \text{Ecuación 1.26}$$

A causa de las fuerzas electromotrices relativamente pequeñas que pueden obtenerse con este aparato no se utiliza en aplicaciones industriales, solo en la academia.

1.11 F.E.M. INDUCIDA SOBRE UN CUADRO DE ROTACIÓN.

Un cuadro rectangular ‘abcd’ de N espiras muy próximas gira alrededor de un eje ‘o’ y en un campo magnético uniforme cuya densidad de flujo es B . Las terminales del cuadrado están conectados a anillos rozantes S-S, concéntricos con el eje, anillos de metal con espacios entre ellos anidados uno dentro del otro y giran con él; de manera aislada estos anillos conectan el cuadrado a un circuito exterior, el cuadro e muestra en la figura 1.7 y su posición dentro de los anillos rozantes en la figura 1.8

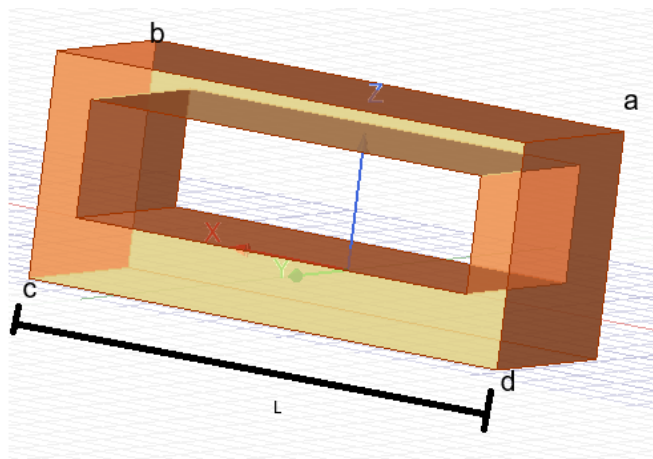


Figura 1.7 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: Espira Rectangular

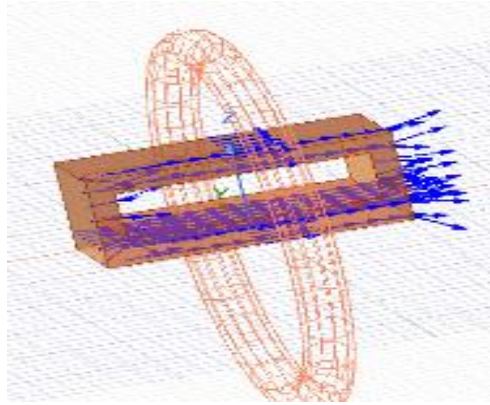


Figura 1.8 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: Espira rectangular girando dentro un campo magnético

A continuación, se plantean las ecuaciones siguientes para un cuadro en rotación, partiendo de:

$$\Phi = (\vec{B} \cdot \vec{A}) \rightarrow \text{flujo magnetico en una superficie cerrada}$$

Ecuación 1.27

Reescribiendo la ecuación del flujo electromagnético de una ecuación vectorial a su forma polar:

$$\Phi = BA \cos(\theta) \quad \text{Ecuación 1.28}$$

En este caso del campo magnético 'B' en el área del cuadrado (A) es constante; en un intervalo de tiempo solamente variara el ángulo de rotación del cuadrado ' θ '.

Derivando la ecuación 1.28 con respecto al tiempo obtendremos la ecuación siguiente.

$$\frac{d\Phi}{dt} = -AB \sin(\theta) \frac{d\theta}{dt} \quad \text{Ecuación 1.29}$$

Donde:

$$\frac{d\theta}{dt} = w; \quad w = \text{velocidad angular} \quad \text{Ecuación 1.30}$$

Por lo tanto, la ecuación 1.29 queda de forma siguiente:

$$\frac{d\Phi}{dt} = -AwB \sin(\theta) \quad \text{Ecuación 1.31}$$

La ecuación 1.31 expresa la F.E.M. inducida en cada vuelta de hilo del cuadrado, que es

igual a $\frac{d\Phi}{dt}$, y si el cuadrado tiene ‘N’ espiras, la F.E.M. inducida valdrá:

$$\xi = \frac{-d\Phi}{dt} = N(AwB\text{sen}(\theta)) \quad \text{Ecuación 1.32}$$

Se puede observar de la ecuación 1.32, que el flujo magnético inducido tiene una forma senoidal periódica, de aquí que se denomina como alternador, a continuación, mostramos gráficamente el comportamiento de la FEM inducida en este elemento.

1.12 F.E.M. GRAFICA DE LA FUERZA ELECTROMOTRIZ DE INDUCCIÓN DEL ALTERNADOR.

Cuando el plano del cuadro es paralelo al campo.

$$\xi_{max} = \xi \quad \text{Ecuación 1.33}$$

Cuando el plano del cuadrado es perpendicular al campo.

$$\xi = 0 \quad \text{Ecuación 1.34}$$

A continuación, en la figura 1.9 se muestra un ciclo de la variación del voltaje generador por el alternador descrito. En la tabla 1.8 el campo en cuatro posiciones del ciclo.

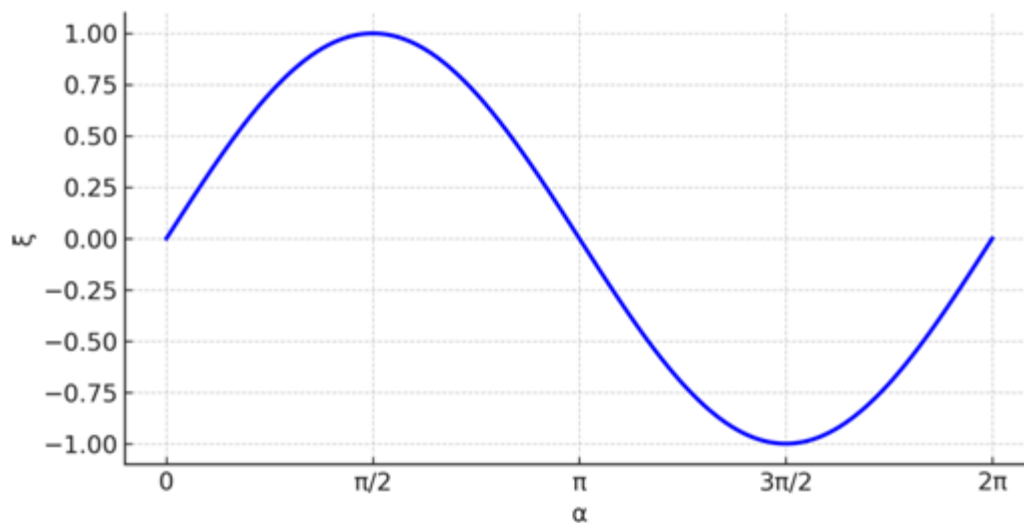


Figura 1.9 Generado en Excel office LTS: Grafica de la F.E.M inducida del alternador.

α	ξ
$\pi/2$	1
π	0
$3\pi/2$	-1
2π	0

Tabla 1.8 Valores α vs ξ en un período

El cuadro giratorio es la forma más sencilla de generador de corriente alterna o alternador.

1.13 FACTOR DE POTENCIA.

Un elemento que se desprende de la Potencia eléctrica, que es entregada a una carga por el generador, es el denominado factor de potencia, se genera por el consumo (corriente eléctrica) que tienen cargas compuestas por circuitos resistivos-inductivos-capacitivos (RLC). En su forma simple estas cargas generan el llamado triángulo de potencias, por el desfaseamiento entre Voltaje y Corriente.

Para el proyecto presente solo haremos un resumen del concepto de factor de potencia, ya que influye en determinar el grupo electrógeno requerido para una carga específica.

El factor de potencia es una medida de la eficiencia o rendimiento de nuestro sistema eléctrico, es un indicador que mide el aprovechamiento de la energía; es la cantidad de calidad de aprovechamiento para convertirla en trabajo. Los receptores eléctricos (carga) convierten la energía eléctrica en otro tipo de energía (mecánica, luminosa y calorífica); el problema es que estas cargas no logran transformar en trabajo toda la energía demandada por ellas.

De la potencia aparente a la energía que se convierte en energía útil durante el proceso se conoce como potencia activa. Durante el proceso de transformación de energía existe una cantidad que no se convierte en energía útil si no que se almacena en los componentes “imaginarios” de la carga (inductores y capacitores), como campos eléctricos y magnéticos. Solo la potencia que se convierte en trabajo se consume y se denomina potencia activa.

El factor de potencia es la relación entre la potencia aparente y la potencia activa y por normatividad se trata que la potencia activa tenga la misma magnitud que la potencia aparente.

En circuitos puramente resistivos la tensión (V) está en fase con la corriente (I), siendo algunos de estos artefactos lámparas incandescentes, planchas, estufas eléctricas etc. Toda la energía la transforma en energía lumínica o energía calorífica.

Mientras que en un circuito inductivo o capacitivo la tensión y la corriente están desfasadas 90 ° una respecto a la otra. En un circuito puramente inductivo la corriente está atrasada 90 ° respecto de la tensión. En un circuito puramente capacitivo la corriente va adelantada 90 ° respecto de la tensión. Se muestran estas potencias en los diagramas de vectores en la figura 1.9

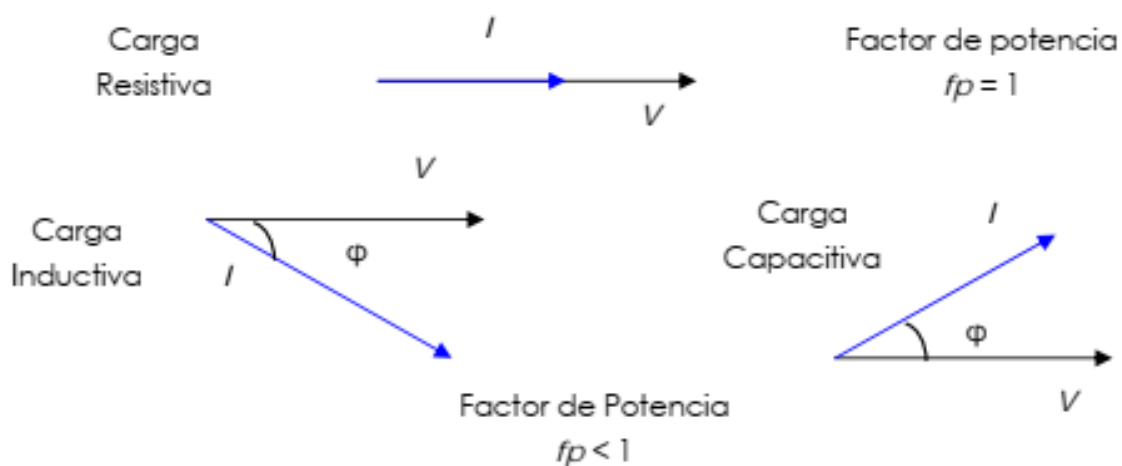


Figura 1.10 Representación vectorial, para cargas; Resistiva, Inductiva y capacitiva.

Existen tres tipos de potencia:

Potencia Activa.

Esta energía corresponde a la energía útil o potencia activa o simplemente potencia, similar a la consumida por una resistencia. Expresada en watts.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \text{Ecuación 1.35}$$

Potencia Reactiva.

Los motores, transformadores y en general todos los dispositivos eléctricos que hacen uso del efecto de un campo electromagnético, requieren potencia activa para efectuar un trabajo útil, mientras que la potencia reactiva es utilizada para la generación del campo magnético, almacenaje de campo eléctrico que, en sí, no produce ningún trabajo. La potencia reactiva

esta 90 ° desfasada de la potencia activa. Esta potencia es expresada en volts-amperes reactivos. (VAR)

$$Q = V \cdot I \cdot \text{Sen}\varphi \quad \text{Ecuación 1.36}$$

Potencia Aparente.

Es la que resulta de considerar la tensión aplicada al consumo de la corriente que éste demanda. Es también la resultante de la suma de los vectores de la potencia activa y la potencia reactiva. Esta potencia es expresada en volts-amperes (VA)

$$S = V \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} < \tan^{-1}(Q/P) \quad \text{Ecuación 1.37}$$

El factor de potencia (fp) es la relación entre las potencias activa (P) y aparente (S) si las corrientes y tensiones son señales senoidales. Si estas son señales perfectamente seno el factor de potencia será igual al $\cos \varphi$, o bien el coseno del ángulo que forman los fasores de la corriente y la tensión, designándose en este caso como $\cos \varphi$ el valor del factor de potencia. De acuerdo a la figura 1.10.

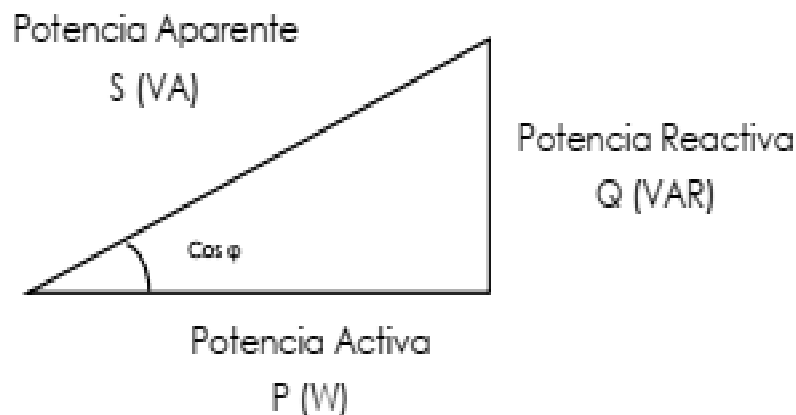


Figura 1.11 Triángulo de potencias

En el diagrama vectorial de la figura 1.11, que se muestra para un circuito inductivo, se observa que la corriente está atrasada a la tensión, existen dos componentes y uno de ellos es el vector AB, en fase con la tensión y es la potencia activa vista en la carga, la otra componente AC la cual está atrasada 90 ° representa la potencia reactiva, por lo tanto, la

relación entre la potencia activa y aparente es llamado factor de potencia.

$$FP = \cos \phi \quad \text{Ecuación 1.38}$$

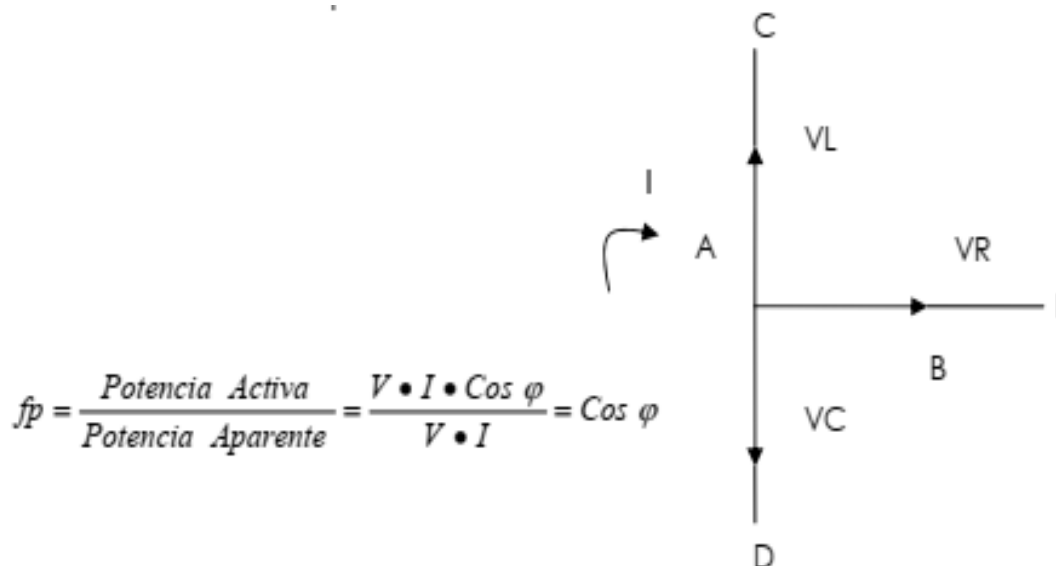


Figura 1.12 Diagrama vectorial de un circuito inductivo, ejemplifica el factor de potencia.

De la Norma Oficial **NOM-058-SCFI-2017**, ejemplificamos el requerimiento de factor de potencia para Controladores para fuentes luminosas artificiales, con propósitos de iluminación en general.

“El factor de potencia (fp) de un controlador debe estar acorde a lo siguiente:

- Alto factor de potencia con un fp mayor o igual que 0.9*
- Factor de potencia corregido con un fp mayor o igual que 0.85 y menor que 0.9*
- Bajo factor de potencia con un fp menor que 0.85*

El fp se determina mediante el método establecido en la versión vigente de las normas siguientes:

- La NMX-J-198-ANCE-2015 para controladores de lámparas fluorescentes.*
- La NMX-J-230-ANCE-2011 para controladores de lámparas DAI.*
- La NMX-J-198-ANCE-2015 o la NMX-J-230-ANCE-2011 para cualquier otro tipo de*

controlador.”

Las consecuencias de operar con un bajo factor de potencia pueden afectar la producción y la eficiencia de sistema de forma considerable sin mencionar que pueden hacer muy costosos por el sobrecalentamiento de los conductores, sobrecargas en líneas de distribución reduce su vida útil, produce caídas de tensión y el aumento en la factura de consumo eléctrico, también tener un bajo factor de potencia tiene efectos en la generación y distribución de la energía eléctrica

Para el mejoramiento del factor de potencia se utilizan bancos de capacitores ya que regularmente la potencia reactiva es generada por equipos inductivos; los capacitores al igual que las cargas inductivas generan potencia reactiva, con la diferencia de que la potencia reactiva generada por los capacitores va en contra de la potencia reactiva de las cargas reactivas provocando que la potencia reactiva con la potencia aparente sea menor esto da como resultado que por la misma cantidad demanda de potencia aparente se tenga una menor potencia reactiva y una mayor potencia activa, el efecto se denomina: corregir el factor de potencia a una cantidad más cercana a la ideal (fp cercano a 1).

En conclusión, la corrección del factor de potencia ayuda a un mejor aprovechamiento de la energía y la disminución de consumos eléctricos mitigando el calentamiento de conductores y aumento en la vida útil de los equipos.

CAPÍTULO 2

GRUPOS ELECTRÓGENOS, INSTALACIÓN Y RED DE CONEXIÓN ELÉCTRICA EN EL GENERADOR

2.1 GRUPOS ELECTRÓGENOS

Los grupos electrógenos son Sistemas que convierten la capacidad calorífica en energía mecánica y por último en energía eléctrica.

Están compuestos por un motor y un alternador, que se acoplan. El motor mayormente utilizado es el de combustión; tanto el motor como el alternador se montan en una base con otros elementos.

Los grupos electrógenos se utilizan para suministrar energía en situaciones en las que la red eléctrica no puede hacerlo, como en caso de cortes de energía, cuando el suministro es insuficiente o cuando no hay red eléctrica.

Son indispensables en muchos sectores, desde emergencias hasta plantas industriales.

Los grupos electrógenos pueden ser portátiles o instalarse en un lugar fijo. Pueden funcionar con combustible como Diesel, gas natural o gas LP. ^[14]

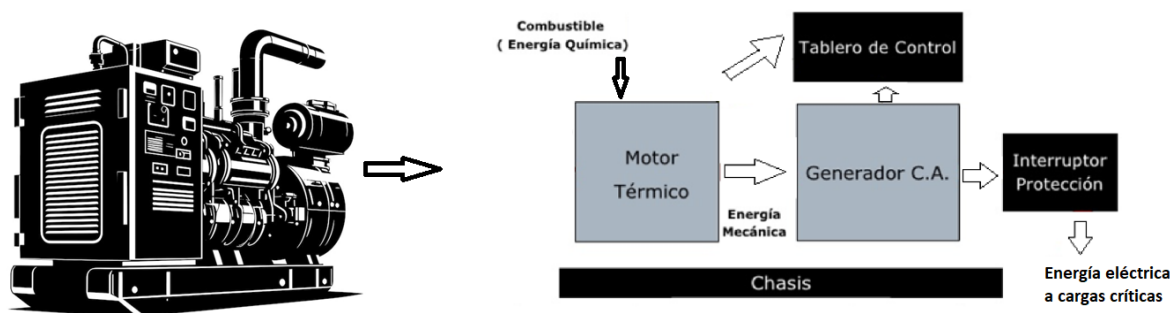


Figura 2.1 Representación física y diagrama a bloques de un grupo electrógeno

¹⁴ LP, Gas Licuado de Petróleo

2.2 EJEMPLO, GRUPO ELECTRÓGENO, COMPONENTES, DIAGRAMA GENERAL DE INSTALACIÓN

A Continuación, partiendo de generador y motor ejemplificamos un sistema grupo electrógeno.

Alternador: Tomando la hoja de especificaciones un alternador industrial marca ‘STAMFORD’ [¹⁵] para el planteamiento del problema con las especificaciones mostradas en la tabla 2.1

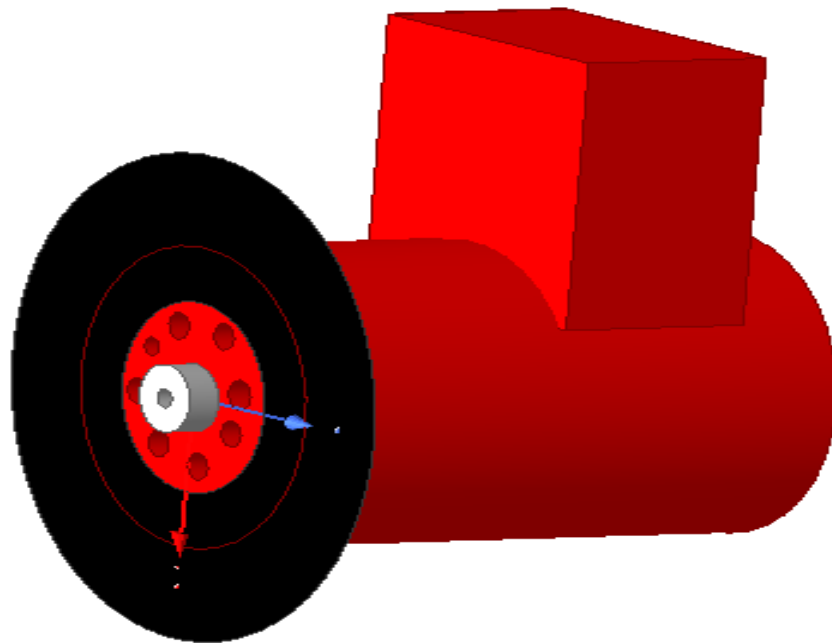


Figura 2.2 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: Dibujo de alternador industrial marca STAMFORD Modelo SOL2M1

¹⁵ STAMFORD es una marca reconocida internacionalmente por la fabricación de alternadores síncronos de alta eficiencia utilizados en sistemas de generación eléctrica. Sus equipos se emplean en aplicaciones industriales, comerciales y de emergencia, destacando por su confiabilidad, estabilidad de voltaje y capacidad de operación continua bajo diferentes condiciones de carga.

DESCRIPCIÓN	Especificaciones	Unidades
Marca	STAMFORD	
Tipo	SOL2M1	
	26.4	Kw
Potencia-servicio emergencia	33	Kva
	25.6	Kw
Potencia-servicio continuo	32	Kva
Voltaje nominal entre fases	220/127 – 480/277	Volts
ajuste $\pm 10\%$		
Eficiencia	0.875	
Factor de potencia	0.8	
Frecuencia	60	Hz
Velocidad angular	1800	RPM
Auto excitado	SI	
Autorregulado	SI	
Regulación de voltaje; de vacío	± 1.5	%
a plena carga		
Equilibrio de fases con carga	1	%
equilibrada.		
Modulación uniforme de	- $\frac{1}{2}$ DE 1	%
voltaje que no excederá de		
Capacidad de sobrecarga para	200	% / Kva
el arranque de motores		

Tabla 2.1 Especificaciones del generador SOL2M1

Motor: De combustión interna Diesel de 4 tiempos. Es la fuerza mecánica que acciona al generador de la planta de emergencia o grupo electrógeno. Estos motores están equipados con todos los elementos necesarios para una óptima operación y para un suministro de potencia confiable.

En la figura 2.3 se muestra el motor del GE ejemplificado, sus especificaciones en la tabla 2.2, el diagrama esquemático de instalación en la figura 2.4 y en la tabla 2,2 las especificaciones del GE.

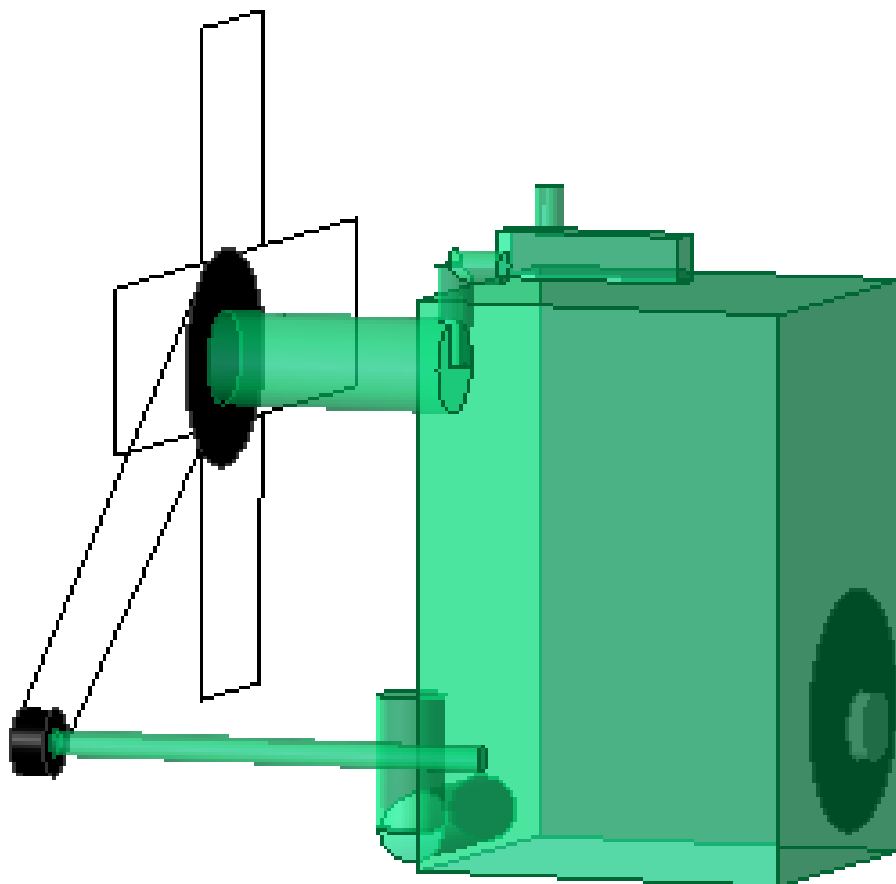


Figura 2.3 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: Dibujo del motor industrial (X2.5G4)

DESCRIPCION	ESPECIFICACIONES	UNIDADES
Modelo	X2.5G4	
Numero de cilindros	3	
Diámetro del embolo	91.7	mm
Carrera del embolo	127	mm
Capacidad embolar	2.5	Litros
Velocidad del embolo	7.62	m/segundo
Velocidad angular	1800	RPM
Colocación de los cilindros	3 LINEA	
Potencia máxima efectiva a 1800 RPM	28.7(38.5)	Kw (HP)
Potencia continua efectiva a 1800 RPM	25.8(34.6)	Kw (HP)
Relación de compresión	18.5:1	
Presión medida efectiva a plena carga	904.54	KPa
Consumo de combustible a plena carga	8.0	L/h
Tipo de aspiración	NATURAL	
Succión de la bomba de combustible	1.5	m
Capacidad del Carter	7	Lt
Capacidad del radiador	7.2	Lt
Factor de temperatura	1 x 5.5	% x ° C
Factor de ajuste por altitud	3 x 300	% x M

Tabla2.2 Especificaciones del motor Diesel X2.5G4

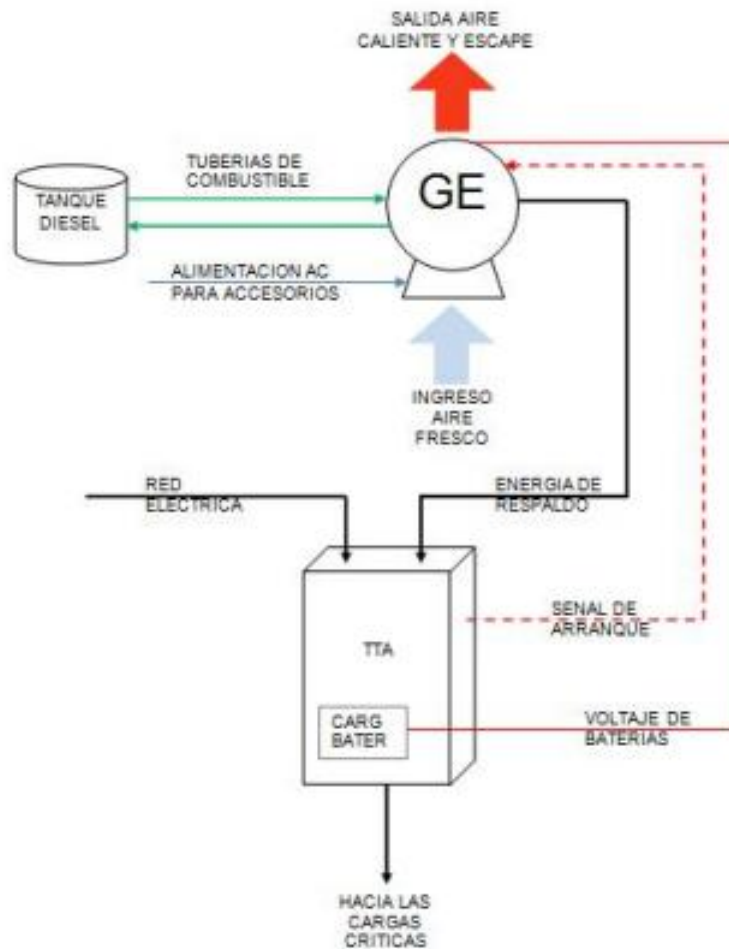


Figura 2.4 Generado en Cadesimu [16]: parámetros de instalación del grupo electrógeno,

¹⁶ Cadesimu: es una herramienta de simulación orientada al diseño y verificación de circuitos de control eléctrico y neumático. Permite construir diagramas, ejecutar lógicas de mando y observar el comportamiento de componentes en tiempo real, lo que facilita la validación previa de sistemas de automatización y el análisis didáctico de sus secuencias de operación.

Especificación de parámetros del sistema

Nombre	¿Que lo define?	prefijo
Voltaje	El diseño del sistema eléctrico o de las cargas eléctricas del cliente. es importante para calcular la corriente nominal	V
Corriente	El voltaje y la carga eléctrica total del cliente. Es importante para seleccionar interruptor del grupo electrógeno, la capacidad del tablero de transferencia automática y para dimensionar los cables eléctricos.	A
Temperatura	La Temperatura del GE debe estar en un rango de Temperatura de 70°C y 90°C este rango de temperatura depende del tipo de enfriamiento del GE (agua, aceite, aire).	°C
Diesel	Es el combustible utilizado para la ignición del motor de 4 tiempos y su funcionamiento regularmente se mide en octanajes	MJ/kg
Carga	Es el consumo o demanda de corriente eléctrica Conectado al GE para mantener alimentados los equipos (Luminarias, maquinaria, aires acondicionados, etc.)	A

Tabla 2.3 Parámetros de la capacidad de la instalación del grupo electrógeno

2.3 TRANSFERENCIA DEL GRUPO ELECTRÓGENO

Otro elemento primordial en el funcionamiento de un grupo electrógeno es el sistema de TRANSFERENCIA, se refiere al proceso mediante el cual se activa y conecta el grupo electrógeno para suministrar energía eléctrica en caso de que falle la red eléctrica principal. Esto suele implicar el uso de un sistema de transferencia automática (ATS, por sus siglas en inglés), que gestiona el cambio entre la red eléctrica y el generador. Es un sistema esencial que monitorea la red eléctrica y transfiere automáticamente la carga de la alimentación principal a un generador cuando falla el suministro, restableciéndose al volver la energía de la red. Este sistema garantiza la continuidad del suministro eléctrico, evitando cortes en las operaciones críticas; mediante un controlador electrónico, coordina el arranque, la operación y paro del generador, además de conmutadores que gestionan la conexión entre la red y el grupo electrógeno.

Este sistema es vital para controlar de manera automática entre el suministro de CFE y del grupo electrógeno ya que, si hay una caída o corte de tensión en una de las líneas, este sistema de transferencia automática es capaz de detectar la caída y en un intervalo de tiempo, desconecta el suministro de CFE y conecta el grupo electrógeno o en caso opuesto interrumpiendo el grupo electrógeno y conectando el suministro de CFE.

El funcionamiento de este sistema de transferencia lleva 5 elementos:

Monitoreo de la Red: El ATS supervisa constantemente el voltaje y la frecuencia de la red eléctrica.

Falla en la Red: Si se detecta una interrupción o falla en la red principal, inicia la secuencia de transferencia.

Arranque del Generador: El controlador electrónico activa el grupo electrógeno para que comience a operar.

Transferencia de Carga: Una vez que el generador alcanza la potencia adecuada, los interruptores conmutan la carga de la red al generador.

Retorno a la Red: Cuando la red eléctrica se restablece y se estabiliza, el ATS transfiere la carga nuevamente a la red y apaga el generador.

Este sistema está formado de tres componentes, principalmente:

Controlador Electrónico: Monitorea las fuentes de energía, detecta fallas, y controla el arranque, la operación y la detención del grupo electrógeno.

Interruptores/Conmutadores: Son los mecanismos, comúnmente contactores, que desconectan la carga de la fuente de energía y la conectan a la otra.

Sistema de comunicación: Permite monitorear y configurar el sistema de forma remota desde una PC.

La secuencia de operación de un GE en modo standby (modo espera) se muestra en la figura 2.5

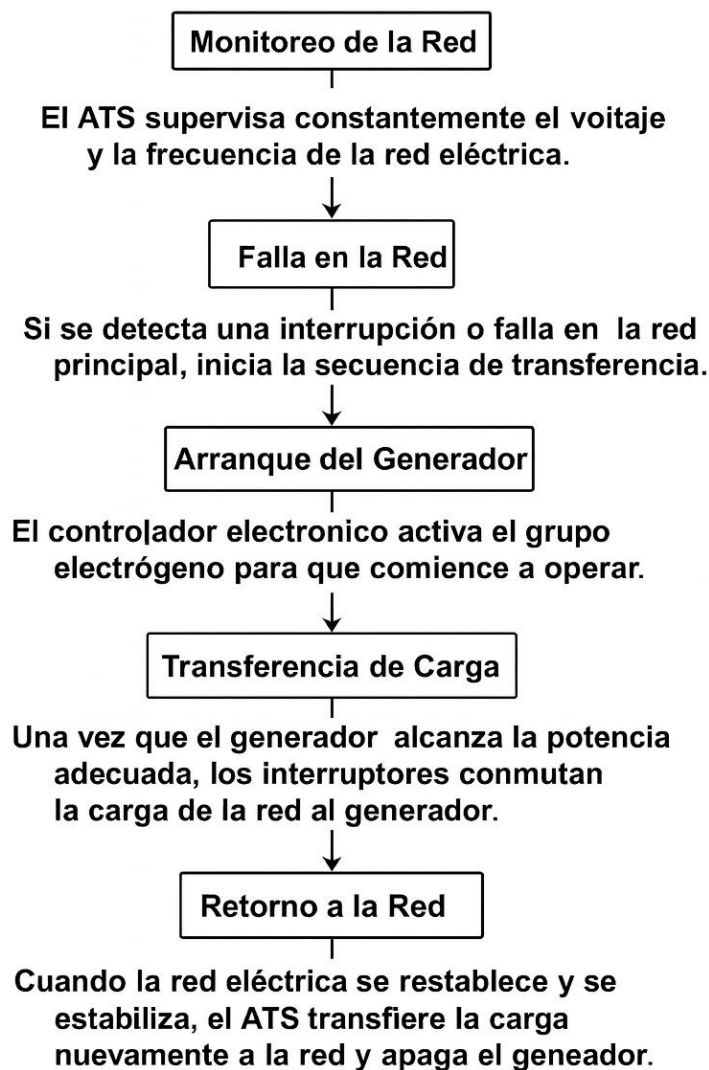


Figura 2.5 Secuencia de operación de un GE

2.4 DERRATEO DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS

Un factor a considerar es que los grupos electrógenos pueden sufrir pérdidas de eficiencia que se reflejan por el factor de potencia, la altitud o temperatura ambiente; se tienen que tomar en cuenta estos factores.

Para hacer una compensación debido a la pérdida de eficiencia se ajusta a un motor con un 10% de más potencia por cada 1000 metros de altura del nivel del mar; en el generador la pérdida de potencia es a partir de los 1500 metros sobre el nivel del mar y suele ser de 3% por cada 500 metros de altitud.

En general, la temperatura afecta a los motores de Diesel, a partir de los 40°C de temperatura ambiente. A partir de ahí, el derrateo en un generador suele ser de un 3% por cada 5°C de más.

Se toma la información de potencia efectiva a 1800 rpm, que se presenta por tabla o por gráfica; un ejemplo se muestra en la figura 2.6 donde se observa la caída de potencia del motor debido a la altura.

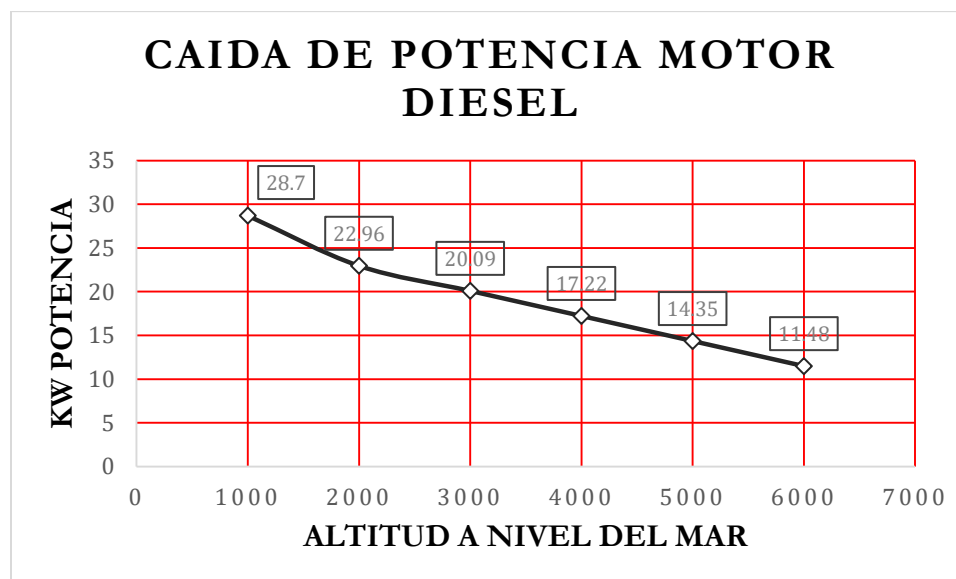


Figura 2.6 Grafica de caída de potencia de un motor Diesel de 4 tiempos respecto a la altitud

Haciendo un análisis semejante para la caída de potencia del Generador utilizando la

Potencia-servicio emergencia, se muestra en la figura 2.7 la caída de potencia de un generador respecto a la temperatura.

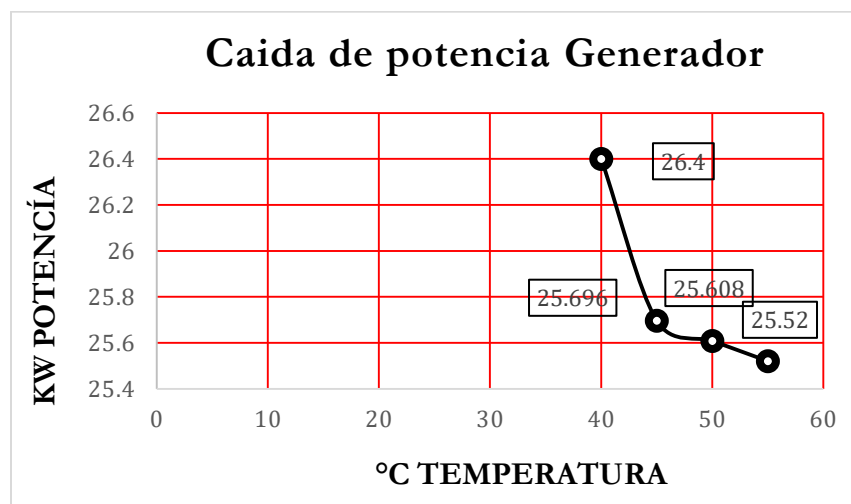


Figura 2.7 Caída de potencia en para el generador

En conclusión, este concepto de derrateo es importante en el diseño del grupo electrógeno ya que relaciona el entorno y temperatura ambiente en el cual se instalará el respaldo de energía (grupo electrógeno) durante el desarrollo del diseño se tomarán estos parámetros para elección del grupo electrógeno más idóneo para la implementación.

2.5 TIPOS DE GRUPOS ELECTRÓGENOS

Los términos Standby y Prime en los generadores eléctricos indican su capacidad de carga y uso previsto. Los generadores en modo Standby están diseñados para operar solo en casos de emergencia, como fallos en el suministro eléctrico, funcionando de manera intermitente y sin capacidad para soportar sobrecargas prolongadas.

Por otro lado, los generadores en modo Prime pueden operar de forma continua con una carga variable durante largos períodos. Están diseñados para manejar fluctuaciones de carga y, en algunos casos, admitir sobrecargas temporales sin afectar su rendimiento.

Los generadores Standby están diseñados como respaldo en caso de fallos en la red eléctrica, proporcionando energía en situaciones de emergencia como cortes de luz o desastres naturales. No están destinados para uso continuo ni como fuente principal, operando generalmente a cargas bajas o intermitentes.

Los generadores Prime están diseñados para ser la fuente principal de energía en lugares sin acceso a la red eléctrica o con suministro inestable, permitiendo operación continua en aplicaciones industriales, comerciales, agrícolas o remotas.

La diferencia principal entre los generadores Standby y Prime está en su uso y capacidad de carga. Los generadores Standby sirven como respaldo en caso de interrupciones en el suministro eléctrico, operando solo en emergencias. En cambio, los generadores Prime están diseñados para ser la fuente principal de energía en lugares sin acceso a la red eléctrica o con suministro inestable, permitiendo un funcionamiento continuo en diversas aplicaciones.

2.6 ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS DEL SISTEMA

La tabla 2.3 muestra las especificaciones básicas de los parámetros que se deben tener para proponer el grupo electrógeno.

Nombre	¿Que lo define?	prefijo
Voltaje	El diseño del sistema eléctrico o de las cargas eléctricas del cliente. es importante para calcular la corriente nominal	V
Corriente	El voltaje y la carga eléctrica total del cliente. Es importante para seleccionar interruptor del grupo electrógeno, la capacidad del tablero de transferencia automática y para dimensionar los cables eléctricos.	A
Temperatura	La Temperatura del GE debe estar en un rango de Temperatura de 70°C y 90°C este rango de temperatura depende del tipo de enfriamiento del GE (agua, aceite, aire).	°C
Diesel	Es el combustible utilizado para la ignición del motor de 4 tiempos y su funcionamiento regularmente se mide en octanajes	MJ/kg
Carga	Es el consumo o demanda de corriente eléctrica Conectado al GE para mantener alimentados los equipos (Luminarias, maquinaria, aires acondicionados, etc.)	A

Tabla 2.3 Parámetros de la capacidad de la instalación del grupo electrógeno

2.7 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICOS EN LOS GENERADORES

Red eléctrica monofásica.

Una red eléctrica monofásica es un sistema de distribución de energía eléctrica que utiliza una sola fase de corriente alterna para transmitir la electricidad. En este tipo de red, la corriente fluye entre una fase activa (también llamada línea o fase) y un neutro.

Fase y Neutro: La red consta de un conductor activo (fase) y un conductor neutro. La fase es donde fluye la corriente, mientras que el neutro sirve como referencia para completar el circuito.

Voltaje común: En la mayoría de los países, el voltaje en una red monofásica es de 120 V o 230 V.

Es adecuada para suministrar energía en viviendas, pequeñas empresas y aparatos eléctricos tipo domésticos que no requieren grandes cantidades de energía. También se usa para cargas pequeñas o medias, como luces, electrodomésticos, o pequeñas herramientas.

La corriente alterna cambia de dirección de forma periódica, lo que significa que en cada semiciclo la corriente fluye en una dirección y luego se invierte.

Las redes monofásicas son más sencillas y económicas de instalar y mantener que otros sistemas más complejos como el bifásico y trifásico.

Son suficientes para aplicaciones domésticas y de baja demanda energética.

La red monofásica no es adecuada para equipos que requieran mucha potencia, como motores industriales grandes o maquinaria pesada, ya que las pérdidas eléctricas son muy significativas y el calentamiento de cables conlleva riesgo.

En conclusión, la red monofásica es la opción más simple y accesible para la mayoría de los hogares, proporcionando un suministro de energía eficaz para una amplia gama de dispositivos de uso común.

Red eléctrica bifásica.

La red eléctrica bifásica es un tipo de sistema de distribución de energía eléctrica que utiliza dos fases (también conocidas como líneas activas) para transportar electricidad.

Dos fases activas

La tensión entre las dos fases es mayor que la tensión entre una fase y el neutro (si está presente). Puede o no incluir un conductor neutro. Si lo tiene, facilita la conexión de cargas

monofásicas.

Esta red es adecuada para suministrar energía en sistemas residenciales o industriales pequeños donde se requiere más potencia que la ofrecida por una red monofásica, pero sin necesidad de una red trifásica completa.

La corriente en las dos fases puede tener una diferencia entre fases, por ejemplo 90 grados. Puede entregar más potencia que un sistema monofásico.

Red eléctrica Trifásica.

Una red eléctrica trifásica es un sistema de suministro eléctrico que utiliza tres corrientes alternas (AC) desfasadas 120 grados entre sí. Es ampliamente usada en la distribución de energía eléctrica, especialmente en aplicaciones industriales y comerciales, debido a su eficiencia y capacidad de manejar mayores potencias.

Voltaje entre dos fases (por ejemplo, 380 V o 440 V en sistemas comunes).

Voltaje entre una fase y el neutro (por ejemplo, 220 V o 240 V).

Cada una de las tres fases (L1, L2, L3) está desfasada en el tiempo 120 grados respecto a las otras, lo que permite un flujo constante de energía.

Mayor eficiencia en la transmisión de energía.

Permite utilizar motores eléctricos trifásicos, que son más eficientes y confiables que los monofásicos. Reduce las vibraciones y el desgaste en equipos eléctricos. (Motores industriales y maquinaria pesada). La figura 2.8 muestra los voltajes y el desfase entre voltajes de la red trifásica.

2.8 CONEXIONES ELÉCTRICAS EN LOS GENERADORES.

Para que el sistema trifásico funcione correctamente es importante que el circuito eléctrico este equilibrado. Para ello, cada una de las corrientes monofásicas que lo forman, debe tener una diferencia de fase simétrica de 120° eléctricos. Si esto no pasa, se dice que el sistema esta desbalanceado.

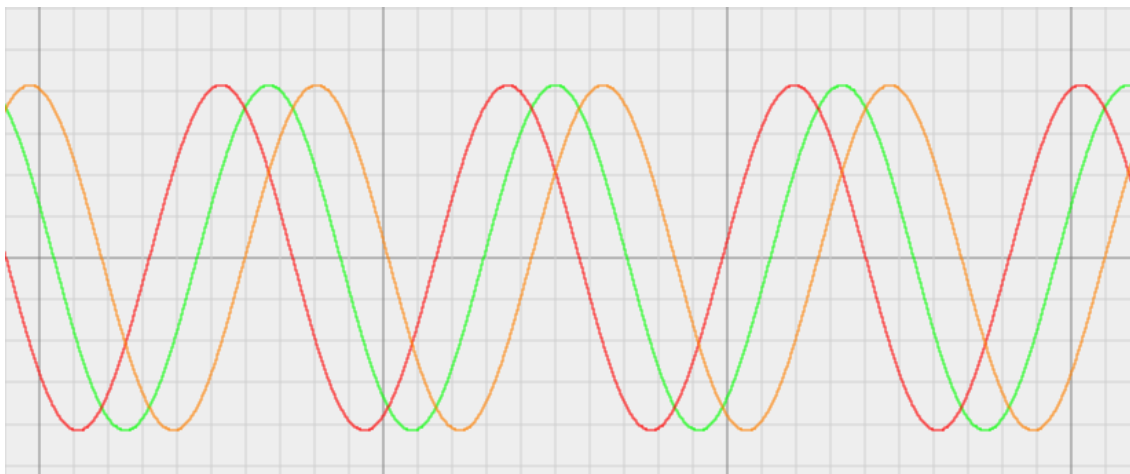


Figura 2.8 Generado en el simulador master PLC online: Desfase entre líneas de 120°.

Por otro lado, existen dos modos comunes de conectar un grupo electrógeno trifásico, con una conexión de estrella o con una en delta.

2.9 CONEXIÓN ESTRELLA

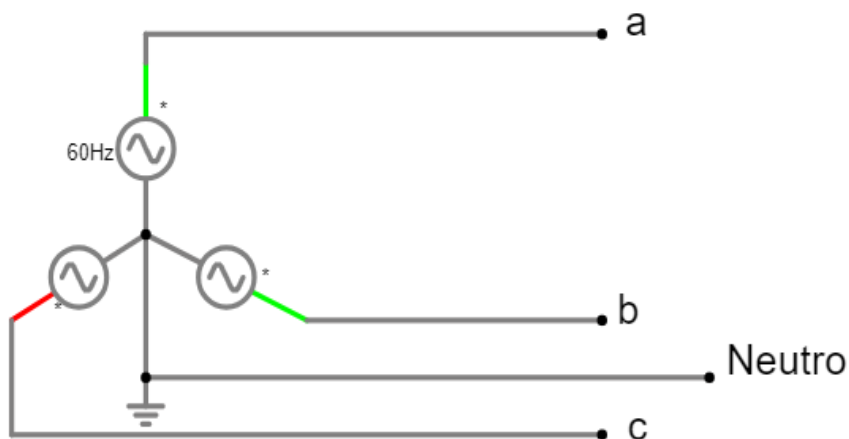


Figura 2.9 Generado en el simulador master PLC online [17]: Arreglo en estrella

En la conexión en estrella mostrada en la figura 2.9 se unen los terminales negativos de los tres generadores (o de las tres bobinas de un alternador) a un punto común, llamado punto

¹⁷ simulador master PLC online: es una plataforma web que permite programar y probar PLC en lenguajes estándar como Ladder y FBD, simulando entradas, salidas y funciones básicas de control. Es utilizado para la verificación rápida de lógicas y la formación en automatización industrial.

neutro y los terminales positivos se conectan a las líneas de distribución. El neutro se suele conectar a tierra como medida de protección. Del punto neutro se puede sacar un hilo denominado neutro. Si el sistema es equilibrado, circulará por este neutro una intensidad de corriente igual a la suma de la intensidad en las tres fases, que será igual a cero.

La red de distribución quedará de fase y por el neutro, si se utiliza. En las líneas de baja tensión se suele utilizar el neutro, mientras que en alta tensión se pone el neutro a tierra sin que forme parte de la distribución. De acuerdo al diagrama fasorial de la figura 2.10 las tensiones de fase serán:

$$V_a = 120\text{Sen}(wt) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$V_b = 120\text{Sen}(wt - 120) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$V_c = 120\text{Sen}(wt - 240) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$V_{ab} = V_a - V_b \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$V_{bc} = V_b - V_c \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$V_{ca} = V_c - V_a \quad \text{Ecuación 2.6}$$

$$V_N \approx 0V \quad \text{Ecuación 2.7}$$

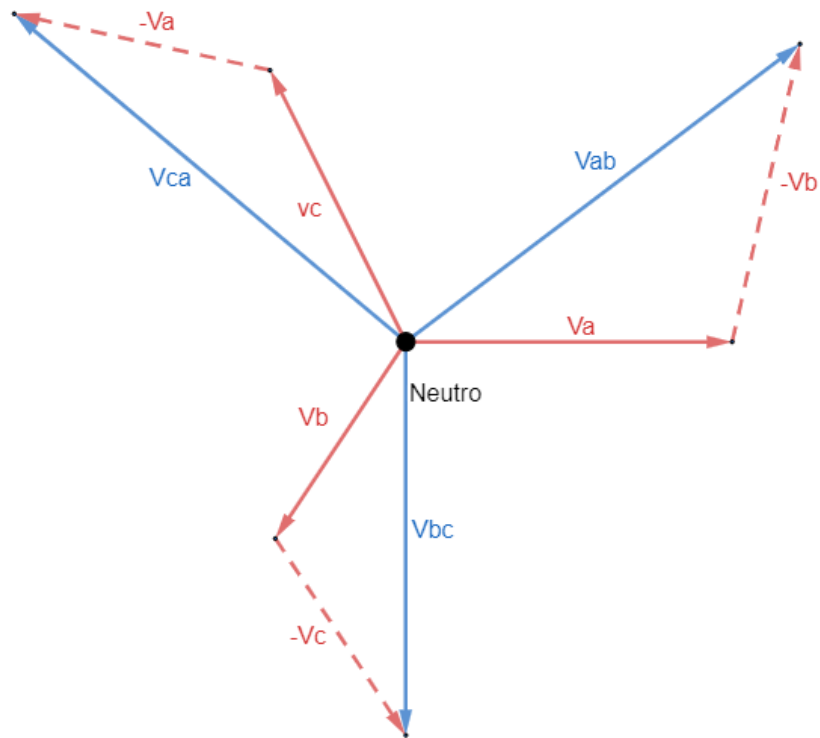


Figura 2.10 Generada en GeoGebra [18]: Diagrama-fasorial en arreglo estrella

Analizando el diagrama vectorial de la figura 2.10 podemos observar que la tensión de línea se obtiene a partir de un triángulo isósceles cuyos dos lados iguales se corresponden con las tensiones de fase. Dividiendo este triángulo isósceles en dos triángulos rectángulos iguales, nos quedara el triángulo siguiente:

¹⁸ GeoGebra: es un software interactivo de matemáticas que integra geometría, álgebra, cálculo y estadística en un mismo entorno dinámico. Permite construir y manipular figuras, funciones y modelos matemáticos en tiempo real, facilitando el análisis visual y la comprensión de conceptos.

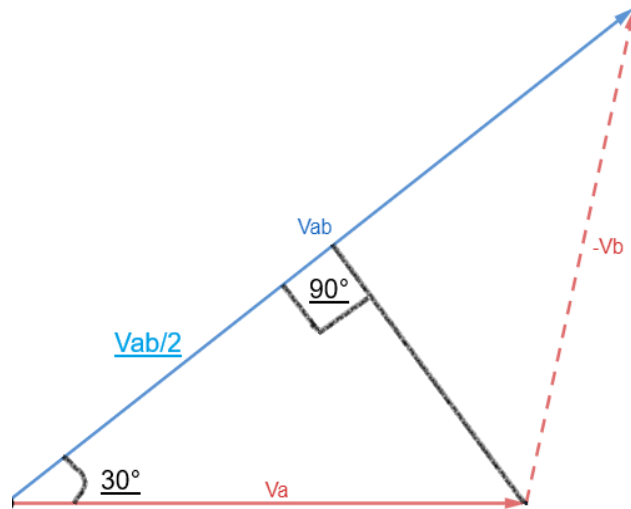


Figura 2.11 Generada en GeoGebra: triangulo isósceles del diagrama -fasorial voltaje

$$\cos(30^\circ) = \frac{\frac{V_{ab}}{2}}{V_a} = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$V_{ab} = \sqrt{3}V_a \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Los tres vectores tienen la misma magnitud, se puede generalizar que una conexión eléctrica en estrella es:

$$V_L = \sqrt{3}V_f \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Ya que cada devanado del alternador se encuentra en serie con el conductor de línea, las intensidades de línea y de fase serán iguales.

$$I_L = I_f \quad \text{Ecuación 2.11}$$

2.10 CONEXIÓN DELTA

Se une el final de cada bobina con el principio de la siguiente, formando un sistema cerrado. En este caso no hay punto neutro. De los vértices del triángulo parten las líneas de distribución como se muestra en la figura 2.12.

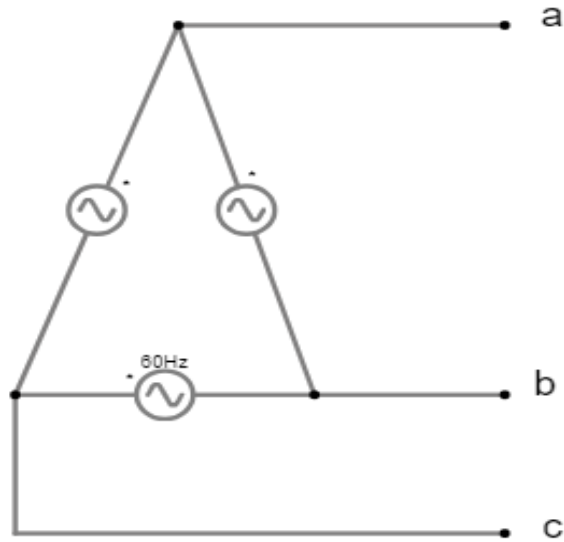


Figura. 2.12 Generado en el simulador master PLC online: Arreglo en Delta

$$V_a = 120\text{Sen}(wt) \quad \text{Ecuación 2.12}$$

$$V_b = 120\text{Sen}(wt - 120) \quad \text{Ecuación 2.13}$$

$$V_c = 120\text{Sen}(wt + 120) \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Es decir, el valor eficaz de las tensiones de línea coincide con el valor de las tensiones de fase:

$$V_L = V_F \quad \text{Ecuación 2.15}$$

En cuanto las intensidades se cumplirán que:

$$I_{ab} = I_a - I_b \quad \text{Ecuación 2.16}$$

$$I_{bc} = I_b - I_c \quad \text{Ecuación 2.17}$$

$$I_{ca} = I_c - I_a \quad \text{Ecuación 2.18}$$

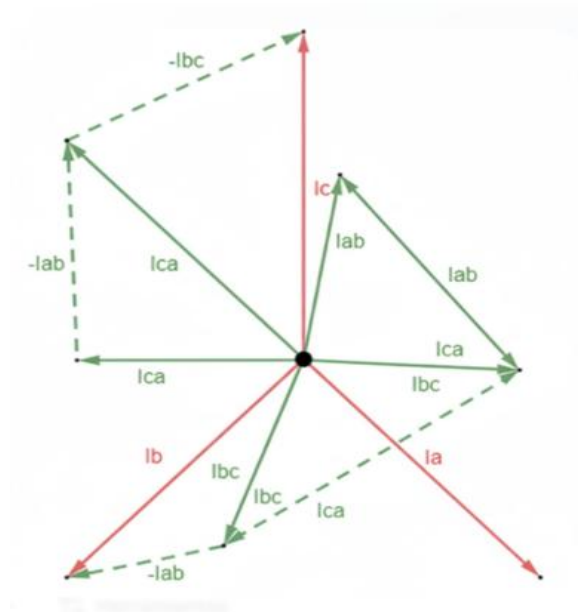


Figura 2.13 Generada en GeoGebra: Diagrama-fasorial arreglo delta, hay un triángulo que no es isósceles

Analizando el diagrama vectorial de la Figura 2.13, podemos observar que la corriente de línea se obtiene a partir de un triángulo isósceles cuyos dos lados iguales se corresponden con las corrientes de fase. Dividiendo este triángulo isósceles en dos triángulos rectángulos iguales, nos quedara el triángulo siguiente:

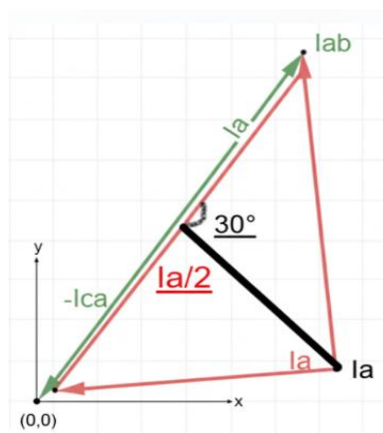


Fig. 2.14: Generada en GeoGebra: Triángulo isósceles del diagrama -fasorial de corriente

$$\cos(30^\circ) = \frac{\frac{I_{ab}}{2}}{I_a} = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

$$I_{ab} = \sqrt{3}I_a \quad \text{Ecuación 2.20}$$

Y como las tres intensidades de línea tienen la misma magnitud de vector, podemos generalizar que, en una conexión de bobinas en triángulo o delta:

$$I_L = \sqrt{3}I_F \quad \text{Ecuación 2.21}$$

CAPÍTULO 3

MOTORES PARA LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.

3.1 MOTORES DIESEL

El Diesel es un combustible fósil derivado del petróleo crudo, y su composición varía ligeramente dependiendo de la fuente de extracción y el proceso de refinación.

La característica principal es que tiene una mayor capacidad calorífica (energía contenida en una unidad de volumen o masa), esto quiere decir que significa que proporciona más energía por litro o kilogramo que otros combustibles.

El Diesel tiene una mayor densidad, lo que contribuye a que los motores Diesel sean más eficientes en términos de consumo de combustible.

Su operación se basa en 4 ciclos o tiempos, los cuales se describen en la tabla 3.1

Motor Diesel de 4 tiempos

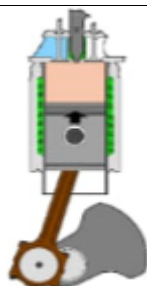
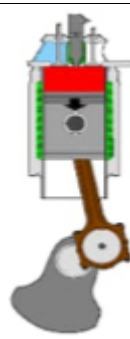
Admisión	El aire entra en el cilindro cuando la válvula de admisión se abre	
Compresión	El aire es comprimido a una presión muy alta, lo que aumenta su temperatura	
Combustión	El combustible Diesel se inyecta en el aire comprimido, y debido a la alta temperatura, se enciende de forma espontánea	
Escape	Los gases de combustión son expulsados del cilindro a través de la válvula de escape	

Tabla 3.1: Funcionamiento de un motor de 4 tiempos

Los motores Diesel son muy eficientes, lo que les permite revolucionar más rápido con un menor gasto de combustible, El diseño de estos motores pueden soportar mayores niveles de compresión, lo que les otorga una vida útil larga.

Aunque los motores a Diesel son de mayor costo inicialmente, requieren menos mantenimiento general a largo plazo. Esto se debe a que los motores Diesel son más simples en cuanto a la construcción de su sistema de encendido y no necesitan bujías, lo que reduce el desgaste en las piezas mecánicas. También los costos operativos son bajos ya que la eficiencia en el consumo de combustible y la durabilidad resulta en un costo operativo más bajo a lo largo del tiempo. Esto lo convierte en una opción rentable para aplicaciones industriales y comerciales.

3.2 MOTORES A GAS

Tomando los dos gases más utilizados para este tipo de motores: El gas GNC (Gas natural) y el gas GLP (Gas licuado de petróleo).

El gas GNC, su extracción es de yacimientos subterráneos, generalmente asociados con petróleo, aunque también puede encontrarse en formaciones de gas natural puro. Los principales lugares de extracción están en áreas geológicas donde los gases se acumulan bajo la superficie terrestre.

Los motores que funcionan con gas GNC tienden a ser más eficientes en comparación con los motores de gasolina o Diesel, principalmente por que el gas natural tiene una capacidad calorífica alta y una combustión limpia, Aunque los motores de gasolina y Diesel son más eficientes en términos de rendimiento por litro.

Por otro lado, el gas GLP tiene una alta densidad energética por volumen, lo que permite una mayor autonomía que el GNC, y una eficiencia energética comparable con la gasolina.

La diferencia en este tipo de motores de 4 tiempos, respecto a motores diésel, es que se necesita un chispazo o ignición en la mezcla de gas con oxígeno para la generación de la combustión, en estos motores se cumple el mismo ciclo de la tabla 3.1, en el proceso de combustión se requiere del dispositivo de nombre bujía que genera la chispa para iniciar el proceso.

En términos generales, los motores GNC y GLP ofrecen mejores beneficios en el medio ambiente y costos operativos más bajos, aunque los motores de gasolina y diésel todavía

tienen una ventaja en términos de autonomía y rendimiento energético por volumen, y el mantenimiento es más rentable en un motor diesel que el motor a gas, ya que es esencial la ignición del gas para el proceso y lleva a un desgaste mayor en la bujía si un grupo electrógeno opera de forma prolongada.

3.3 MOTORES DE BIOCOMBUSTIBLE

Los motores de este tipo son aquellos que funcionan utilizando combustibles derivados de biomasa, como el etanol, el biodiesel o biogás, es una alternativa a los combustibles fósiles tradicionales como la gasolina o el Diesel.

La capacidad calorífica de este combustible varía y depende del tipo y su composición química. En general, los biocombustibles tienden a tener una capacidad calorífica menor que los combustibles fósiles.

El beneficio de los biocombustibles es que es amigable al medio ambiente ya que no produce una cantidad excesiva de dióxido de carbono ayudando a mitigar los efectos invernadero.

Como contiene una menor capacidad calorífica con respecto a los combustibles fósiles, el motor es más grande para dar la misma potencia.

Concluimos que el motor a Diesel sigue siendo mejor opción para los sistemas electrógenos; las alternativas son viables si la decisión de uso es por razones de contaminación.

CAPÍTULO 4

GENERADORES PARA GRUPOS ELECTRÓGENOS.

4.1 GENERADORES SINCRÓNICOS

Las máquinas síncronas transforman la energía mecánica en energía eléctrica o de forma inversa de una energía eléctrica a una energía mecánica, este fenómeno es posible por la ley de inducción electromagnética y la ley de interacciones

La ley de inducción electromagnética relaciona la producción de fuerza electromotriz inducida en un conductor eléctrico cuando está dentro de un campo magnético este fenómeno es descrito por la primera ley de inducción electromagnética o la primera ley de Faraday.

A partir de un transformador podemos incrementar o decrementar un voltaje o corriente alterna de una forma sencilla, estos sistemas son usados para la generación, transmisión y distribución de potencia eléctrica. Para poder generar energía eléctrica a partir de una máquina mecánica se necesita una máquina de corriente alterna conocido como alternador o generador síncrono. Existen máquinas que a partir de la energía eléctrica generan energía mecánica conocidos como motores síncronos, este tipo de máquinas en general se le conoce como máquinas síncronas ya que estas máquinas giran a una velocidad de sincronía determinada por la ecuación 4.1 usando polos y no pares de polos.

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

N_s : Revoluciones por minuto (rpm)

f : Frecuencia de potencia.

P : número de polos de la máquina

En caso de que la máquina funcione como motor solo podrá girar a esta velocidad de sincronía; en el caso de que la velocidad de resolución de sincronía sea diferente puede provocar paros intermitentes en el motor o paro total. Estas máquinas funcionan respetando la ecuación de velocidad de resolución de sincronía.

En el caso del generador o alternador se induce una FEM en los conductores de la armadura del rotor cuando estos conductores pasan por el campo magnético del estator, al cerrar el circuito la corriente fluye a través de los conductores del estator, lo que produce otro campo magnético, la interacción del campo principal con el campo generado en estator que son de

sentido contrarios al giro del rotor. Es esta fuerza contra el movimiento relativo de los conductores que se tiene que mantener por la potencia mecánica del estator por lo tanto esto produce un cambio de una energía mecánica a una energía eléctrica en el generador.

Los elementos en el generador, constan de manera general de dos elementos.

Estator:

Parte fija exterior de la máquina, el estator está formado por una carcasa metálica que sirve de soporte; en su interior encontramos el núcleo del inducido, consta de material magnético (ferromagnético comúnmente); el inducido se constituye de una bobina de alambre conductor eléctrico (cobre comúnmente) con forma de corona y ranuras longitudinales. El estator es donde se alojan los conductores del enrollamiento inducido y está formado para conducir las trayectorias del flujo magnético que provocarán la inducción en las bobinas y serán las salidas del potencial eléctrico o llamado voltaje del generador y causante de corriente eléctrica.

Rotor:

Parte móvil que gira dentro del estator, el rotor contiene el sistema inductor y los anillos de rozamiento, mediante los cuales se alimenta el sistema inductor. El funcionamiento de manera general se explica en la tabla 4.1

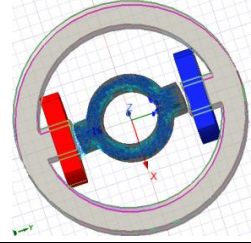
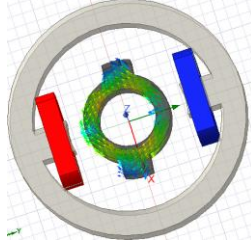
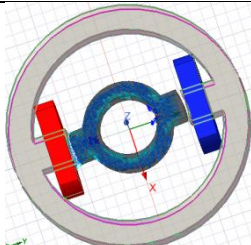
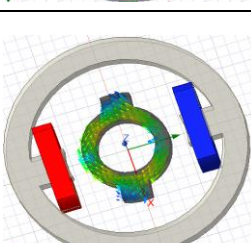
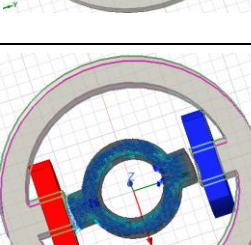
Posición inicial del rotor la fuerza inducida en el campo es de cero	
Posición del rotor en un ángulo de 90° la fuerza inducida es máxima	
Posición del rotor en un ángulo de 180° la fuerza inducida en el campo es cero	
Posición del rotor en un ángulo de 270° la fuerza inducida en el campo es máxima, pero en sentido negativo	
Posición del rotor a un ángulo de 360° la fuerza inducida es cero.	

Tabla 4.1: Generación de la F.E.M en un generador síncrono.

Por lo tanto, se observa que la gráfica generada por el alternador síncrono es igual a la que se generó para FEM Inducida sobre un cuadro de rotación del capítulo 1, la figura 1.9

4.2 GENERADORES ASÍNCRONOS.

Las máquinas asíncronas tienen un circuito magnético sin polos salientes, con estator y rotor ranurados. Estos componentes están sometidos a la acción de campos magnéticos giratorios, lo que genera pérdidas magnéticas. Para reducir estas pérdidas, tanto el estator como el rotor se fabrican utilizando láminas delgadas de acero al silicio apiladas.

El devanado del estator es típicamente trifásico, lo que permite la generación de un campo magnético giratorio. Este campo induce corrientes en el rotor, el cual forma un circuito cerrado que permite el flujo de estas corrientes inducidas.

Existen dos tipos de rotor en las máquinas asíncronas: el rotor de jaula de ardilla y el rotor en corto circuito. Ambos diseños permiten la circulación de las corrientes inducidas, lo que permite el funcionamiento del motor.

El deslizamiento de una máquina asíncrona es la diferencia en sincronías entre el estator y rotor, en condiciones normales de funcionamiento es pequeño; esto significa que la frecuencia en el rotor es pequeña, muy inferior a la del estator por lo tanto se define el deslizamiento como:

$$S = \frac{N_s - N_a}{N_s} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

S : Deslizamiento

N_s : Velocidad de Sincronía

N_a : Velocidad de giro del rotor

En el caso de que nuestra máquina asíncrona funcione como generador se tendrá que cumplir que:

$$N_a > N_s \quad \text{Ecuación 4.3}$$

En este régimen de funcionamiento la velocidad del motor es mayor a la velocidad de sincronismo lo que quiere decir que el deslizamiento es negativo por lo tanto funcionando como generador la velocidad de la máquina es del mismo sentido que la del sincronismo y de mayor valor que esta.

Al ser el deslizamiento negativo da a lugar que la potencia mecánica interna y la potencia en el entre hierro sean negativas; lo cual significa que el sentido de estas potencias es opuesto al funcionamiento del motor. En consecuencia, en un generador de inducción la maquina absorbe potencia mecánica en su eje para convertirla en potencia eléctrica (potencia activa) que se suministra a la red conectada al estator.

En este caso el par es negativo y la velocidad es positiva. Por lo tanto, el par de la máquina de inducción se opone a la velocidad y se trata de un par de frenado.

Deberá existir otro par, por ejemplo, el producido por un motor de gasolina acoplado al mismo eje que la maquina asíncrona, que mueva al grupo y sea el que lo esté obligando a girar a una velocidad superior a la de sincronismo.

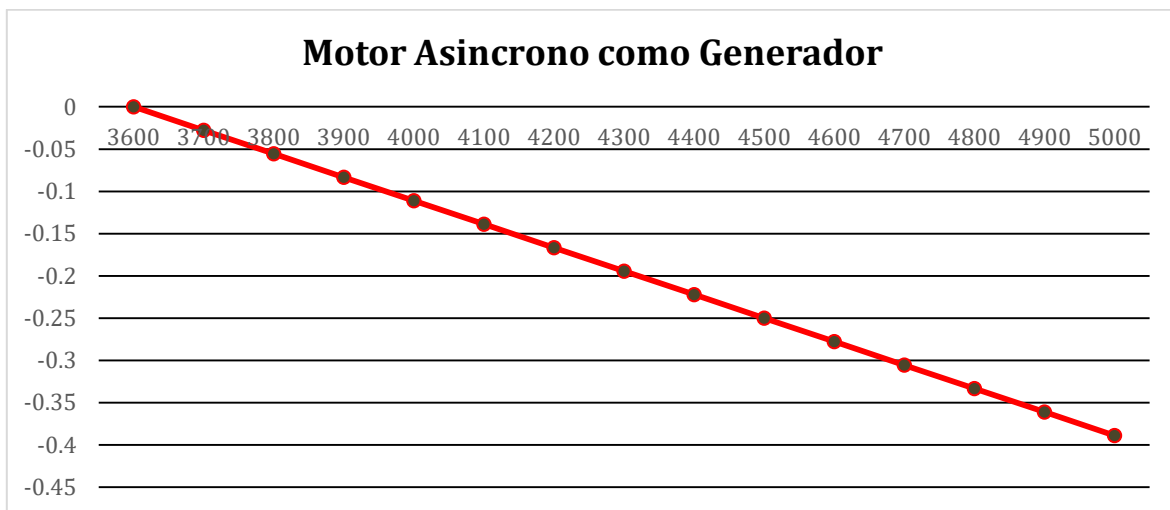


Figura. 4.1. Generado en Excel office LTS: Par de velocidad para un motor asíncrono de 2 polos.

Al observar la gráfica de la figura 4.1 se observa que, al aumentar la velocidad de sincronismo en un motor de 2 polos a una frecuencia de 60 Hz, el deslizamiento empieza ser negativo provocando que el rotor supere los rpm de sincronismo generando una mayor excitación en el campo magnético del estator, y por lo tanto induciendo una corriente en el mismo creando una corriente en las terminales del estator, y hace que la maquina asíncrona se convierta en un generador eléctrico.

Regularmente este tipo de maquina asíncrona es utilizada en sistemas de generación donde

la fuente primaria es muy variable; energía eólica e hidráulica.

4.3 GENERADORES DE IMÁN PERMANENTE

Los generadores de imán permanente o de CC es un dispositivo electromecánico que convierte la energía mecánica en energía eléctrica de corriente continua.

Es un generador donde el campo de excitación lo proporciona un imán permanente en lugar de una bobina.

Tipos de generadores:

Los generadores de imanes permanentes. (GIP)

Alternadores de imanes permanentes. (AIP)

Una de las ventajas de estos tipos de generadores es que no requieren alimentación de corriente continua para el circuito de excitación, ni tienen anillos rozantes ni escobillas de contacto.

La desventaja importante de los GIP y AIP es el flujo de entrehierro ya que no es controlable por lo que la tensión de la maquina no se puede regular fácilmente.

Hay cinco tipos principales de generadores de cd, que se clasifican de acuerdo con la forma en que se produce su flujo de campo:

Generadores de excitación separada.

Generadores en derivación.

Generador en serie.

Generador compuesto acumulativo.

Generador compuesto diferencial.

Nos enfocaremos en los generadores en derivación ya que este tipo de generador de corriente continua consta de un devanado del campo donde está conectado en paralelo con la carga, lo que permite generar tensión principalmente al magnetismo residual y al flujo de corriente de dicho devanado. Se caracteriza por una caída significativa en la tensión en bornes cuando aumenta la corriente de armadura, lo que exige una limitación de la corriente de carga para mantener la estabilidad.

Un generador de imán permanente es la misma máquina básica, excepto que el flujo se deriva de imanes permanentes.

A continuación, en la figura 4.2, se presenta el circuito eléctrico.

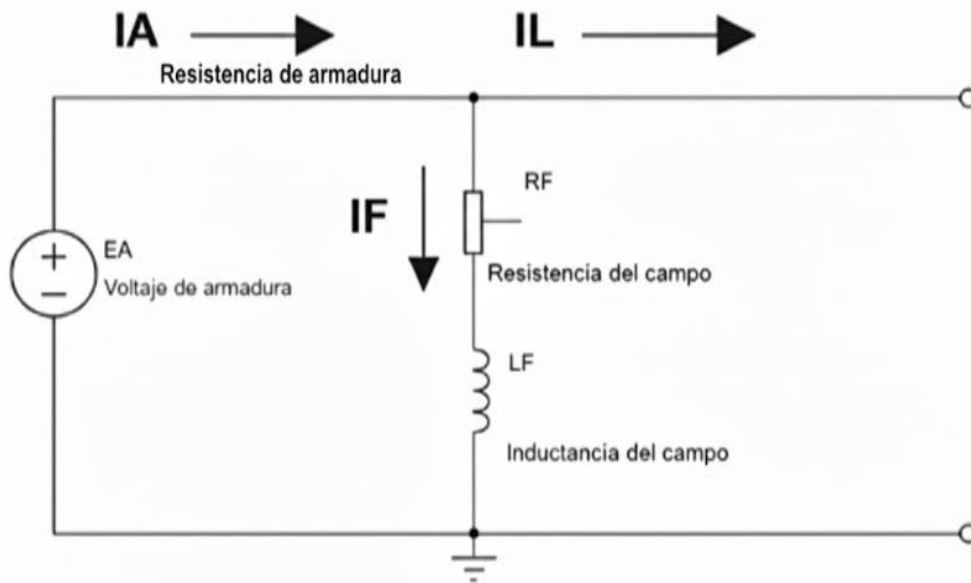


Figura 4.2 Esquema eléctrico del generador en derivación.

Ley de Kirchhoff de corrientes.

$$I_A = I_F + I_L \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Ley de voltajes de Kirchhoff de voltajes.

$$V_T = E_A - I_A R_A \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Para controlar el voltaje de salida del generador de derivación:

Cambiar la velocidad del eje del generador (ω_{eje}).

Cambiar el resistor de campo R_F , lo cual modifica la corriente de campo.

Cambiar la resistencia de campo es el principal método que se utiliza para controlar el voltaje en las terminales en los generadores de derivación reales.

Estos generadores se utilizan principalmente en aplicaciones donde el voltaje de salida relativamente estable como carga de baterías, iluminación, excitación de alternadores y suministro de energía portátil.

4.4 COMPARACIÓN ENTRE GENERADOR SINCRÓNICO Y ASÍNCRONO

La elección entre uno u otro tipo impacta directamente en la operación, costo, mantenimiento y aplicaciones dentro del sistema eléctrico.

Características	Generador síncrono	Generador asíncrono
Velocidad del Rotor	$N_s = N$	$N > N_s$
Excitación	Requiere una fuente de corriente continua independiente (CC)	No requiere fuente de CC externa; extrae potencia reactiva de la red eléctrica
Control de voltaje	Puede regular y mantener el voltaje de salida de forma independiente.	La tensión y la frecuencia están impuestas por la red eléctrica
Potencia Reactiva	Controlable (suministra o consume): Esencial para la estabilidad de la red eléctrica (control de factor de potencia).	Consumidor: normalmente consume potencia reactiva de la red eléctrica para su funcionamiento
Construcción del Rotor	Más compleja: Rotor bobinado o imanes permanentes	Más simple y robusta: típicamente rotor de jaula de ardilla
Mantenimiento	Alto/Moderado: Por la complejidad de la excitación	Bajo: por su diseño robusto y simple
Aplicaciones Típicas	Generación a gran escala: Centrales térmicas hidroeléctricas. Estabilidad y Red principal	Fuentes variables/distribuidas: Parques eólicos simplicidad y flexibilidad

Tabla 4.2 Diferencias entre los generadores síncronos y asíncronos

La distinción esencial radica en la relación entre la velocidad de giro del rotor y la velocidad del campo magnético del estator (velocidad de sincronía).

En conclusión, los generadores síncronos operan en perfecta sincronía con la red eléctrica, siendo la opción predilecta para la generación centralizada a gran escala gracias a su

capacidad de controlar el factor de potencia y la estabilidad del sistema.

En comparación con los generadores asíncronos requiere girar a una velocidad asíncrona (ligeramente superior a la síncrona, destacando por su simplicidad constructiva, robustez y bajo mantenimiento, lo que lo hace ideal para la generación distribuida y fuentes de energía variable como la eólica.

CAPÍTULO 5

PROCEDIMIENTO PARA LA ESPECIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS ELECTRÓGENOS.

El cálculo de potencia de un grupo electrógeno y su configuración son parte central para especificar un grupo electrógeno y también las necesidades del cliente. Cada proyecto resulta de un acuerdo entre el fabricante de los equipos y el cliente, en el cual se definen, de manera básica, los siguientes parámetros:

5.1 LA POTENCIA NECESARIA PARA CUBRIR NECESIDADES PRESENTES Y FUTURAS

Para definir la capacidad del grupo electrógeno a incorporar, se deben medir las potencias a suministrar junto con los tipos de carga para cada una de ellas. Dimensionar la potencia del equipamiento industrial, en Kilowatts (Kw). Esta tarea se realiza con el reporte de consumo de CFE, generalmente viene en el llamado “recibo de consumo”, también se puede hacer con medición de un analizador de redes. Verificar cuáles serán las cargas por alimentar (monofásicas y trifásicas). Comprobar si se conectarán motores eléctricos y cargas reactivas o inductivas; en caso de que se requiera alimentar este tipo de cargas, checar qué tipo de arranque tiene cada uno de ellos (estrella/triángulo, directo o de arranque suave, por ejemplo) y si éstos serán temporales o simultáneos.

5.2 LOS ELEMENTOS QUE DEBE INCORPORAR EL EQUIPO

Los grupos electrógenos para la industria incorporan características como el arranque manual o automático, operación en paralelo con otros equipos o con la red pública, cabina de insonorización, tanques de combustible auxiliar, entre otros.

5.3 NORMA LEGALES QUE SE DEBEN CUMPLIR

Eléctricas, de ruido, de emisión de gases y partículas, entre otras.

5.4 ESPACIO DE INSTALACIÓN

Por último, pero no menos importante, el espacio de instalación es un aspecto clave para la vida del grupo electrógeno. Se puede ubicar bajo techo, a la intemperie, elevados sobre el nivel del mar o en condiciones ambientales específicas.

5.5 ANÁLISIS DE INSTALACIÓN ACTUAL

La empresa Servicios Comerciales Amazon México, S. de R.L. de C.V. pide la instalación de un grupo electrógeno para brindar servicios de paquetería durante los turnos de trabajo sin interrupción de corriente eléctrica para que haya una operación eficiente. Para ello se piden los diagramas unifilares de la planta ubicada en la ciudad de Querétaro. Para observar las cargas alimentadas de la red eléctrica.

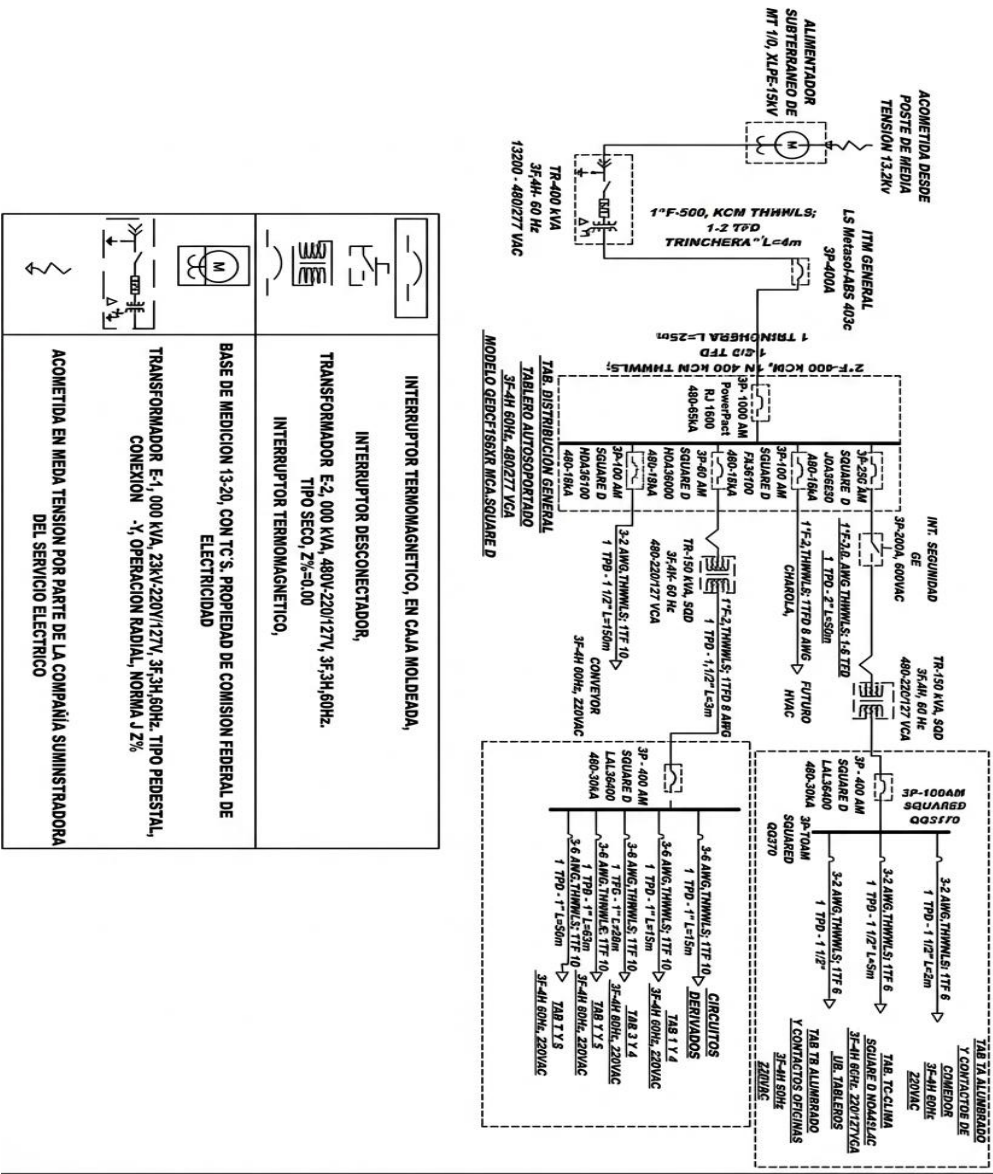


Figura 5.1 Diagrama unifilar de Servicios Comerciales Amazon

A continuación, se desglosa los equipos utilizados y los voltajes de consumo de cada uno de los equipos.

Equipos	Voltaje de consumo
Tableros de distribución 1	220 VAC
Tableros de distribución 2	220 VAC
Tableros de distribución 3	220 VAC
Tableros de distribución 4	220 VAC
Tableros de distribución 5	220 VAC
Tableros de distribución 6	220 VAC
Tableros de distribución 7	220 VAC
Tableros de distribución 8	220 VAC

Tabla 5.1 Voltajes de consumo en la planta Amazon-Querétaro

5.6 CONSUMO DE POTENCIA ELÉCTRICA

A continuación, se muestra el consumo eléctrico de la estación en el año 2024

KW máx.	F.P.	bimestre	No. Bimestre
96,428	92.49%	Abril-Mayo	1
71,261	93.93%	Mayo-Junio	2
61,936	95.87%	Julio-agosto	3
47,181	98.29%	Septiembre-octubre	4
51,692	98.05%	Octubre-noviembre	5

Tabla 5.2 Consumo eléctrico de la planta Amazon-Querétaro

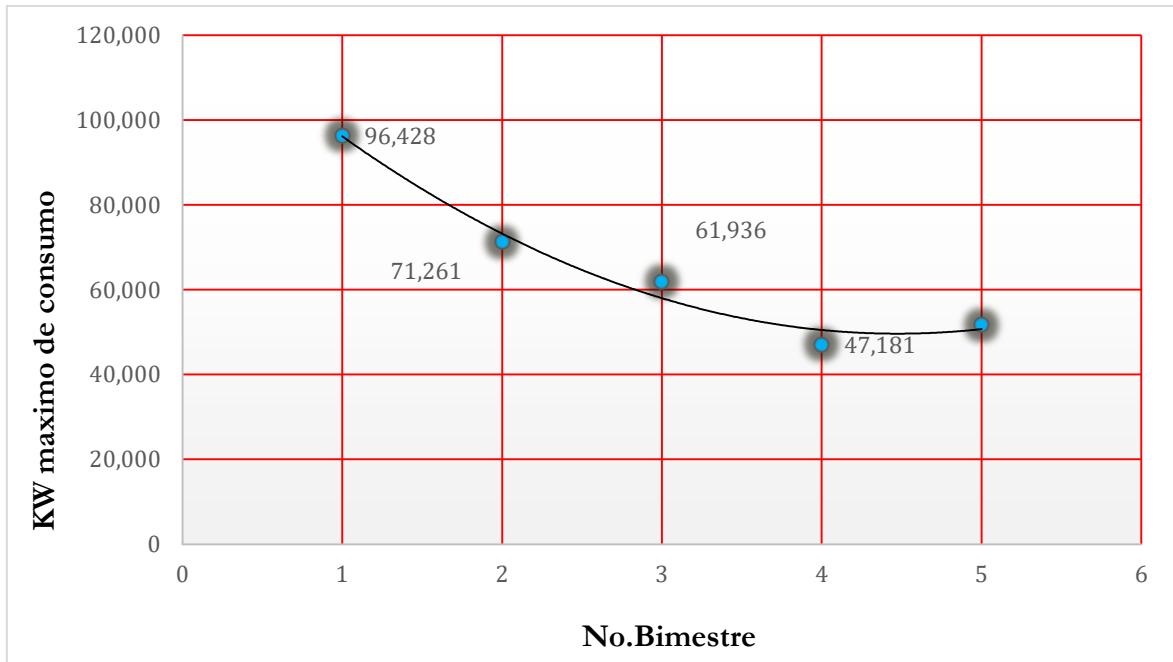


Figura 5.2 Consumo eléctrico de la planta Amazon-Querétaro.

Regularmente en las épocas de verano los equipos de aire acondicionado HVAC se utilizan con una mayor frecuencia para ello utilizaremos el bimestre 1 (Tabla 5.1) ya que en los meses de abril – mayo es donde se utilizan los HVAC con mayor frecuencia y a una mayor potencia como la banda transportadora (conveyor).

5.7 ELECCIÓN DE GRUPO ELECTRÓGENO A PARTIR DEL CONSUMO DE POTENCIA ELÉCTRICA TRIFÁSICO

Con la información de la Tabla 5.2 se requiere calcular la energía aparente ya que este valor nos relaciona la energía activa ‘energía circulante en los equipos de Hvac y Conveyor’ y la energía reactiva ‘energía transformada en calor en donde circula la corriente equipos de Hvac y conveyor’.

$$P=KW Max. \text{ Ecuación 5.1}$$

$$Q=KVarh. \text{ Ecuación 5.2}$$

$$FP=\cos(\Phi)=\frac{P}{S} \text{ Ecuación 5.3}$$

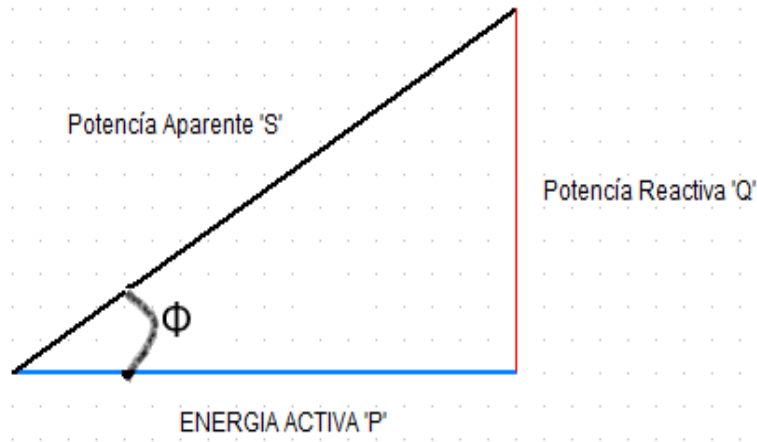


Figura 5.3 Generada en GeoGebra: triángulo de potencia

A continuación, se calcula la potencia del grupo electrógeno para alimentar la carga demandada por la empresa Servicios Comerciales Amazon México, S. de R.L. de C.V.

Se toman en cuenta los consumos máximos de KW y FP.

Se calcula la potencia aparente de con la siguiente ecuación.

$$FP = \cos(\Phi) = \frac{P}{S} \quad \text{Ecuación 5.4}$$

Despejando 'S' de la ecuación anterior.

$$S = \frac{P}{FP} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

A continuación, se propone un grupo electrógeno capaz de soportar la carga en momentos donde haya interrupción de la red eléctrica, conocidos estos equipos como modo 'standby' Para ello se necesita retomar los conceptos del CAPITULO 5 como el derrateo y potencia del generador.

A continuación, se hacen cálculos para la elección del grupo electrógeno.

$$U = 15\% * S + S \quad \text{Ecuación 5.6}$$

Donde 'U' es la potencia del generador eléctrico (Grupo electrógeno).

5.8 CABLEADO PARA LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS

Para calcular un cable óptimo para la instalación de un grupo electrógeno se necesita conocer la demanda de corriente debido a la carga total de consumo (Hvac, conveyor, luminarias, contactos, etc.) para ello se necesita calcular la corriente de consumo aparente. Utilizando la relación de la potencia aparente trifásica como se muestra en la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{3}VI \quad \text{Ecuación 5.7}$$

S: Potencia aparente.

V: Voltaje

I: Corriente

Al obtener el amperaje de suministro aparente se ajusta a un cable del calibre que cumpla con la NOM-001 Sede 2005.¹⁹

El apartado 310-15 de la norma se refiere a capacidad de conducción de corriente para tensiones nominales de 0 a 2000V. Permite calcular la capacidad de corriente de los conductores mediante los siguientes incisos.

“Disposiciones Generales.

Para la selección del tamaño nominal de los conductores, la capacidad de conducción de corriente de los conductores de 0 a 2000 V nominales se debe considerar como máximo los valores especificados en la tabla de capacidad de conducción de corriente.”

¹⁹ Mexicana, N. O. NOM-001-SEDE-2005, “. Instalaciones eléctricas (utilización).

mm2	Cobre 150° (Z,SF)	Cobre 200° (FEP,FEPB,SF)	Níquel 250° (PFAH,TFE)	Aluminio 150° (Z)
2.08	34	36	36	39
3.31	43	45	45	54
5.26	55	60	60	73
8.37	76	83	83	93
13.3	96	110	110	
21.2	120	125	117	148
26.7	134	152	125	166
33.6	160	171	151	191
42.4	186	197	175	215
53.5	211	229	204	241
67.4	251	260	225	273
85	283	297	253	298
107	332	346	286	361

Tabla 5.3 Calibre de cable dependiente de la corriente de suministro y la temperatura

5.9 SELECCIÓN DE LA CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE

Cuando se calculan diferentes capacidades de conducción de corriente que se pudieran aplicar para un circuito de longitud dada se debe de tomar el de menor valor.

“Cuando se aplican dos valores de capacidad de conducción de corriente a partes adyacentes de un circuito, se permite utilizar la de mayor capacidad más allá del punto de transición a la distancia de 3 metros o 10% de la longitud del circuito, la distancia que sea menor. Los conductores de los circuitos derivados deben tener una capacidad de conducción de corriente no menor que la correspondiente a la carga máxima que alimentan.”

Además, los conductores de circuitos derivados de salidas múltiples que alimenten en terminales para cargas portátiles conectadas con cordón o clavija, deben tener una capacidad de conducción de corriente no menor que la correspondiente a la capacidad

nominal del circuito derivado.

Para las capacidades de conducción de corrientes calculadas en esta sección no se tiene en cuenta la caída de la tensión eléctrica.

La norma NOM-001-SEDE-2005 de instalaciones eléctricas no toma en cuenta la caída de voltaje en el conductor, se necesita una ecuación que nos ayude a encontrar este valor , es necesario en aspecto de instalación ya que si la distancia de cableado del grupo electrógeno al tablero de distribución es larga puede haber una caída de potencial considerable afectando en el arranque del grupo electrógeno como la alimentación al tablero de distribución, haciendo que las cargas conectadas al tablero sean inoperantes durante el arranque del equipo electrógeno o provocando un calentamiento del conductor, con el riesgo de daño o que el conductor pueda quemarse.

5.10 LEY DE OHM PARA CONDUCTORES DE LÍNEA.

La ley de ohm es muy importante ya que ayuda a relacionar la caída de voltaje en un conductor por donde fluye un movimiento de electrones.

$$\Delta V = R_L I \text{ Ecuación 5.8}$$

ΔV : Caída de potencial

R_L : Resistencia de conductor

I : Corriente

La relación entre R_L con respecto al material conductor se modela matemáticamente con la siguiente ecuación.

$$R_L = \rho \frac{L}{A_T} \text{ Ecuación 5.9}$$

ρ : Densidad del material conductor.

L : Longitud lineal del conductor.

A_T : Área transversal del conductor

Por lo tanto, al relacionar la ecuación 5.8 con la ecuación 5.9 se obtiene la relación de las medidas físicas con las medidas del material conductor, para determinar el área transversal

del conductor y este resultado es el que se busca en la tabla de la figura 5.3 en mm^2 .

$$A_T = \rho \frac{L}{\Delta V} I \quad \text{Ecuación 5.10}$$

A partir de la ecuación 5.10 con el dato de la corriente que consumirá la carga que sustentará el grupo electrógeno se definen los cableados

5.11 EJEMPLO DE APLICACIÓN: DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA PLANTA ELECTRÓGENA EN UNA ESTACIÓN DE PAQUETERÍA DE AMAZON-QUERÉTARO.

A continuación, se hacen los cálculos correspondientes de respecto al diseño eléctrico y propuesta de un grupo electrógeno para soportar la carga de demanda en la estación.

KW máx.	%F.P.	S	No. Bimestre
96,428	92.49%	120.535Kva	1
71,261	93.93%	89.076 Kva	2
61,936	95.87%	77.420 Kva	3
	98.29%	59.000Kva	4
47,181			
51,692	98.05%	64.615 Kva	5

Tabla 5.4 Cálculo de la potencia aparente.

Se observa en la tabla 5.4, que el primer bimestre hubo un mayor consumo eléctrico, la potencia aparente es mayor a los demás meses, este consumo es razonable, en el mes de ‘abril-mayo’ es una temporada de mucho calor, donde la mayoría de los equipos de disipación de calor están activos más los equipos de producción (Aires acondicionados, motores eléctricos, equipos de cómputo, etc.).

A continuación, se propone un grupo electrógeno capaz de soportar la carga en momentos de interrupción de la red eléctrica, conocido estos equipos como modo ‘standby’

Para ello se necesita retomar los conceptos del CAPITULO 5 como el derrateo y potencia

del generador.

Sustituyendo valores en la ecuación 5.5

$$s = \frac{96,428}{0.8}$$

$$s = 120.54 \text{ KVA}$$

A continuación, se sustituye el resultado en la ecuación 5.6:

$$U = 15\% * S + S$$

$$U = 15\% * 120.54 + 120.54$$

$$U = 138.6 \text{ KVA}$$

La potencia del generador debe de ser de 138.6 KVA para soportar la potencia de 96,428KW y con un funcionamiento del 80% de la capacidad máxima del grupo electrógeno por situaciones de derrateo y temas de altas temperaturas.

El rango de voltajes de los equipos está entre 220VAC a 440VAC calcularemos una corriente de consumo promedio, esta se obtiene utilizando la información de placa de los equipos, tomaremos el margen de consumo del interruptor principal que es de 400 A.

La regla de operación segura recomendada por IEC-60947-2 [²⁰], es la norma técnica más importante a nivel mundial para interruptores automáticos utilizados en aplicaciones industriales y comerciales pesadas. Define rigurosamente la capacidad de interrupción (Poder de corte I_{cu}), las pruebas de unidad de disparo.

$$I_{cu} \leq 0.8 I_n$$

$$I_{cu} \leq 0.8 (400)$$

$$I_{cu} \leq 320 \text{ A}$$

Se recomienda utilizar un cable de cobre calibre 107 mm^2 (AWG 4/0). Ya que este cable soporta la Carga máxima de consumo ($I_{cu} = 320A$).

²⁰ NOM-IEC-60947-2 regula los interruptores automáticos (breakers) para aplicaciones industriales

Para el cableado de conexión entre el grupo electrógeno y el tablero de distribución se tiene que tomar en cuenta que a la distancia de 3 metros representa una caída de tensión del 10% esta información es importante para el diseño de instalación.

CAPÍTULO 6

PLAN DE MANTENIMIENTO GENÉRAL PARA UN GRUPO ELECTRÓGENO.

El mantenimiento preventivo consiste en un servicio planeado, programado y presupuestado, para ayudar a maximizar la confiabilidad de los equipos ante cualquier contingencia que pudiese suscitarse.

El objetivo principal del mantenimiento preventivo es evitar o mitigar las consecuencias de las fallas de los equipos antes de que estas ocurran, prevenir incidencias y tomar las acciones necesarias para la sustitución de las piezas desgastadas

Mantenimiento mecánico diario	• Funcionamiento del precalentador • Funcionamiento del cargador de baterías • Funcionamiento de entradas y salida de aire libres de objetos extraños • Verificar que no existan materiales, herramientas y cualquier objeto extraño en el cuarto de las maquinas
Mantenimiento mecánico semanal	• Prueba de arranque y paro en vacío durante 5 minutos aproximadamente. • Funcionamiento de la banda del radiador • Funcionamiento del estado del tapón del radiador • Funcionamiento de las mangueras del refrigerante y combustible. • Sistema energizado y que este alimentador el módulo de control y su funcionamiento en automático. • Funcionamiento de las alarmas del módulo de control.

Mantenimiento Mecánico Trimestral	• Checar nivel de aceite de motor • Checar nivel de Diesel del tanque de combustible • Checar nivel de anticongelante en el radiador y recuperar el nivel en caso de ser necesario • Checar nivel de electrolitos, status de las terminales y validez la condición de las baterías de arranque • Checar status del sello de tapón del radiador • Checar falsos contactos y ajustes en todas las conexiones eléctricas en el motor, generador, así como en el tablero de transferencia. • Checar voltaje de flotación de las baterías de arranque. • Checar la corriente de flotación e igualación del cargador de baterías • Checar aparatos de medición. • Verificar la existencia de fugas de aceite en el motor. • Verificar la existencia de fugas de diésel (motor, tuberías de alimentación y tanque de combustible). • Verificar niveles de vibración y ruidos extraños. • Verificar los niveles de vibración y ruidos extraños. • El estado en que se encuentran las bandas del ventilador. • Funcionamiento del precalentador. • Checar la temperatura del motor. • Checar el estado en que se encuentran las mangueras de agua del motor y radiador. • Checar estado en que se encuentran las mangueras (conducto de Diesel, conducto del motor y conducto del tanque de combustible) • alimentación (C.F.E o cualquier otra red comercial).
--	--

	• Verificar la condición del escape. • Limpieza del generador y motor con desengrasante biodegradable. • Inspeccionar las aspas del ventilador, guardas, soporte y sujetadores. • Poner en operación manualmente la planta de emergencia en vacío para checar los parámetros de operación del equipo. • Revisión de arranque y protecciones de la planta de emergencia. • Realizar una prueba con carga simulando una ausencia de
--	--

Tabla 6.1 plan de mantenimiento mecánico.

Mantenimiento eléctrico trimestral	• Ajustes de conexiones de control de tablero. • Ajustes de conexiones de fuerza en el tablero. • Limpieza del tablero de transferencia. • Pruebas de secuencia de operación del grupo electrógeno en vacío. • Pruebas de secuencia de operaciones del grupo electrógeno con carga. • Servicio de termografía de conexiones de fuerza y de control.
------------------------------------	--

Tabla 6.2 plan de mantenimiento eléctrico.

Número de serie del motor:

Modelo de motor: _____

Empresa:

Nombre del equipo/Número de serie: _____

Fecha	Km (Miles)	Km Actuales	Mantenimiento Realizado	Firma de entrega al encargado de mantenimiento	Comentarios del servicio

Tabla 6.3 Mantenimiento por kilometraje de operación del Motor de 4 tiempos

CAPÍTULO 7

PROPUESTA DE GRUPO ELECTRÓGENO CON UN SISTEMA HIBRIDO BIDIRECCIONAL

Para poner en contexto la propuesta de un grupo electrógeno con un sistema híbrido bidireccional. Iniciamos este capítulo documentando sobre vehículos eléctricos e híbridos.

7.1 LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

El automóvil eléctrico (VE) [²¹] es realmente una alternativa al transporte, anteriormente las comparaciones con su competidor directo, el automóvil de combustión, favorecían a este último. Esta inclinación se debía principalmente a tres factores clave: razones económicas (como el costo inicial), prestaciones (como la autonomía y la velocidad de recarga), e infraestructura (la limitada red de estaciones de carga en comparación con las gasolineras), factores que han ido resolviendo a favor de los autos eléctricos.

La principal ventaja del automóvil eléctrico es la ausencia de emisiones contaminantes directas. Se muestra en la tabla. (7.1) los niveles de contaminante según el tipo de vehículo.

Componentes	Gasolina	Diesel	Eléctrico
Químicos	$\left(\frac{mg}{Km}\right)$	$\left(\frac{mg}{Km}\right)$	$\left(\frac{mg}{Km}\right)$
Dióxido de azufre	100	220	630
Dióxido de nitrógeno	880	840	276
Hidrocarburo	310	300	16
Monóxido de carbono	2150	2140	27
Dióxido de carbono	234	214	126
Polvo	15	135	26

Tabla 7.1 Niveles de contaminante

Sin embargo, para realizar una comparación completa de los contaminantes químicos, es esencial considerar el ciclo de vida total del vehículo. La contaminación del VE no es nula, sino que se desplaza. En la fase de fabricación, los VE tienen una mayor huella de carbono que los de combustión, principalmente debido a la producción de sus baterías de iones de litio. La extracción de materias primas (litio, cobalto, níquel) y el alto consumo energético de este proceso industrial genera indirectamente más dióxido de carbono en el inicio de su vida útil. Aunque las comparaciones iniciales en costo y conveniencia favorecen a los

²¹ VE Acrónimo del inglés Electric Vehicle

vehículos de combustión, la tabla de contaminantes químicos revela una verdad más matizada, el VE es un vehículo de cero emisiones en el escape, eliminando la contaminación local en las ciudades. La contaminación indirecta (fabricación y generación de electricidad) existe, pero a medida que la matriz energética global se vuelve más renovable, el vehículo eléctrico se consolida como la opción ambientalmente superior a largo plazo, superando las emisiones totales de sus competidores de gasolina y diésel en el análisis del ciclo de vida.

La tecnología en esta área se ha incrementado, generando alternativas diferentes, con el objetivo de mejoramiento energético y prestaciones superiores; de aquí podemos enunciar los siguientes tipos de vehículos:

- **EV** (*Electric Vehicle, vehículo eléctrico*).
- **HEV** (*Híbrid Electric Vehicle, vehículo con motor híbrido que contempla un par motor térmico con un generador/motor eléctrico*).
- **PHEV** (*Plug Hibrid Electric Vehicle, vehículo híbrido eléctrico enchufable, contempla recarga de baterías desde una red eléctrica local*). También se le conoce como **G2V** (*Grid to Vehicle, de la red eléctrica al vehículo*)

A partir de este PHEV o G2V se generó una alternativa para alimentar cargas eléctricas con este vehículo; se le denomina V2G (Vehicle to Grid, del Vehículo a la red eléctrica).

V2G establece un vínculo inteligente donde los vehículos eléctricos intercambian tanto datos como electricidad con la red a través de puntos de conexión. Esta capacidad de flujo doble (cargar baterías convirtiendo AC/DC y generar AC desde DC) es lo que define al V2G.

El objetivo es que las baterías de los VE sirvan como fuentes de apoyo para estabilizar el equilibrio de la red al inyectarles energía excedente. Cuando la flota de VE es considerable, esta interacción pasa a ser un factor importante para el nuevo sistema eléctrico y el mercado energético.

Por lo tanto: el V2G redefine a los vehículos eléctricos como recursos energéticos flexibles en lugar de simples dispositivos de consumo.

La interacción energética que posibilita el V2G se logra mediante la regulación de la carga y descarga de los vehículos eléctricos. Esta innovación cambia su función: son cargas al consumir y dispositivos de almacenamiento al suministrar energía. Para habilitar este intercambio de energía en doble sentido (bidireccional) a través de las conexiones por cable existentes, es imprescindible utilizar convertidores bidireccionales complejos.

La estructura básica de un sistema V2G incluye la red eléctrica (AC), el vehículo eléctrico, y el convertidor AC/DC bidireccional, es decir, integra un sistema de transferencia de energía bidireccional (Red al vehículo y del vehículo a la red). Se muestra la estructura básica de un vehículo V2G. (fig.7.1)

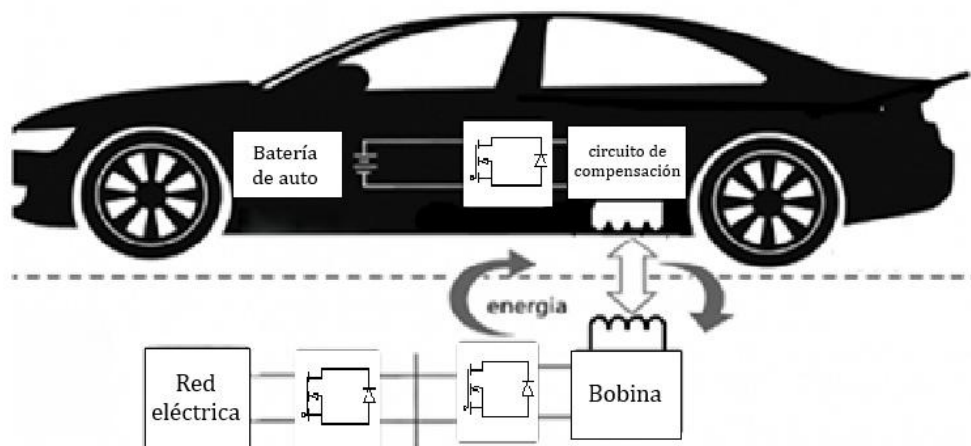


Figura 7.1 La estructura básica de un vehículo con sistema V2G, incluye la red eléctrica (AC), el vehículo eléctrico, y el convertidor AC/DC bidireccional.

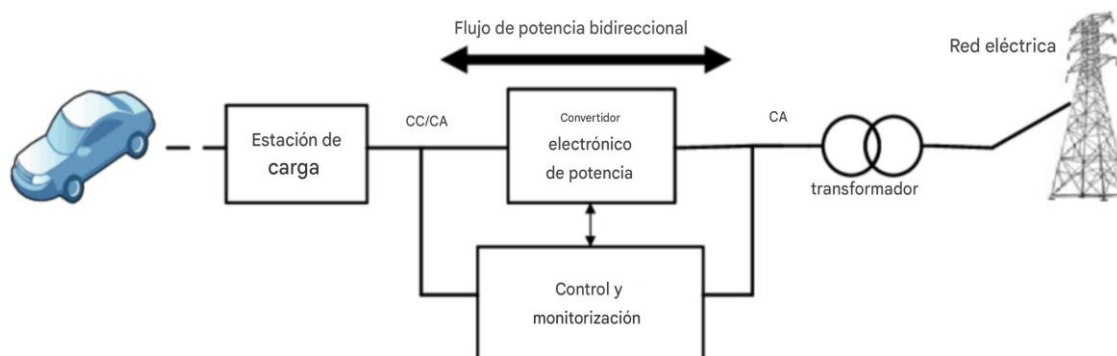


Figura 7.2 Diagrama a bloques de un inversor AC/DC bidireccional.

7.2 LOS SISTEMAS BIDIRECCIONALES

El convertidor bidireccional que se ejemplifica en la (fig.7.3), es un esquema básico de las fuentes conmutadas para que estas obtengan la capacidad bidireccional de potencia, es decir el manejo completo de baterías (carga y descarga). Como se observa en el esquema de la (fig.7.2), la orientación del flujo de potencia en un convertidor bidireccional está controlada por la combinación de tres variables: el voltaje de salida (V_O), el voltaje de la fuente (V_S), y la relación de vueltas del transformador (a) (Ec.7.1 y 7.2)

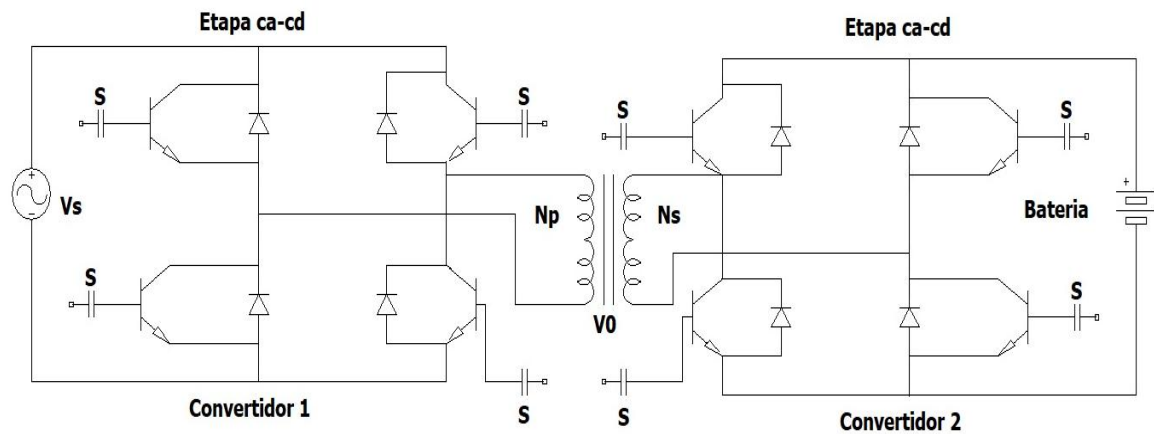


Figura 7.3 Convertidor bidireccional.

La relación de vueltas es:

$$a = \frac{N_s}{N_p} \quad \text{Ecuación 7.1}$$

Por lo tanto:

$$V_O < aV_S \quad \text{Ecuación 7.2}$$

El circuito de la (fig.7.3), es un inversor en modo reductor de AC/DC ya que la caída de tensión entre (V_S) es mayor al voltaje en la carga (V_b), en este sentido el flujo de corriente ira de (V_S) a la batería (V_b), operando como un cargador de batería. Si la caída de tensión de (V_S) es menor al voltaje en la carga (V_b) el convertidor funciona en modo de elevador DC/AC, la batería se descargará suministrando energía a la red eléctrica (V_S).

Los convertidores bidireccionales permiten que la corriente fluya en cualquier dirección de manera controlada; se requiere de un sistema de control específico. Es importante mencionar que el desarrollo en semiconductores y por tanto en dispositivos para circuitos

conmutados también ha sido sustancial para la tecnología de vehículos V2G.

El rendimiento del convertidor de potencia depende esencialmente de los dispositivos de conmutación, interruptores semiconductores basados en carburo de silicio (SiC) y Nitruro de Galio (GaN), porque tienen un alto voltaje de ruptura, banda estrecha, velocidad de conmutación alta y conducción térmica excelente. Esto da como resultado, dispositivos con mayor manejo de potencia, tamaño pequeño y menores pérdidas. Además, estos dispositivos pueden funcionar en altas frecuencias de conmutación, por su alta densidad de potencia y capacidad de manejo de alto voltaje, a principios del siglo XIX, los dispositivos basados en SiC eran generalmente preferidos para aplicaciones de alto voltaje, altas frecuencias de conmutación y buena transferencia de calor. Recientemente hay disponibles en el mercado con resistencia en estado encendido (RDS on) de 3 m Ω . Además, de voltajes de ruptura de 1.7 kV, 333 kV y 6.5 kV.

Por otro lado, los dispositivos con semiconductores GaN se utilizan para aplicaciones de baja potencia (<600 V) y proporcionan una excelente conmutación y rendimiento con baja resistencia de encendido.

7.3 SISTEMA HÍBRIDO BIDIRECCIONAL CON RESPALDO A LA RED ELÉCTRICA.

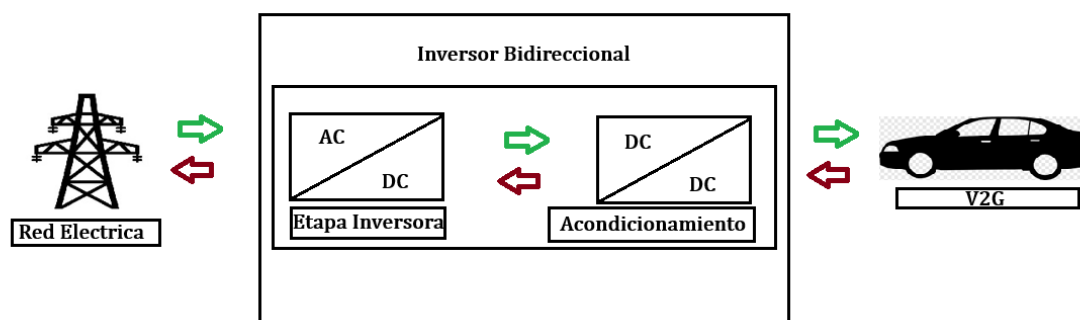


Figura 7.4 sistema híbrido bidireccional con respaldo a la red

La tecnología vehículo-a-red (V2G) es una innovación notable que permite que la batería de un vehículo eléctrico, durante condiciones de inactividad o estacionado, funcione como una fuente de energía que puede almacenar o liberar energía cuando sea necesario. Esto da

como resultado el intercambio de energía entre la red eléctrica y las baterías del vehículo dando la oportunidad de proponer un GE donde la parte central del vehículo funcione como tal.

7.4 VEHÍCULOS HÍBRIDOS TIPO V2G

Los vehículos con tecnología V2G son regularmente híbridos enchufables que pueden entregar energía a la red eléctrica, además de cargarse de ella. Esta tecnología permite que la batería del vehículo se utilice como una fuente de energía para la red.

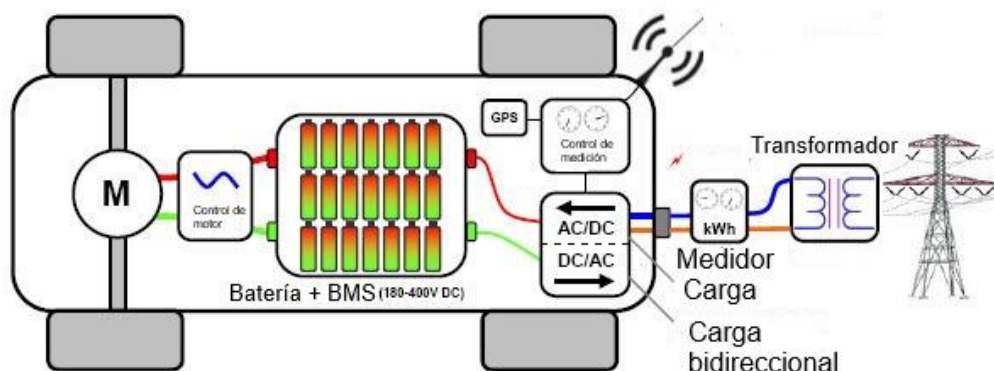


Figura 7.5 Esquema de sistemas de V2G.

7.5 TOPOLOGÍAS DE CONVERTIDORES BIDIRECCIONALES PARA LOS SISTEMAS V2G. [iv]

El desarrollo de la tecnología de Vehículos Eléctricos está intrínsecamente ligado a las innovaciones en electrónica de potencia, siendo el motor y la gestión de la batería los elementos vitales del VE. La elección del convertidor para cargar la batería (unidireccional o bidireccional) es clave. Los convertidores bidireccionales son los preferidos en aplicaciones actuales, ya que ofrecen ventajas como sistemas más ligeros y compactos, menor costo y un uso más eficiente de sus componentes. A continuación, se examinarán las distintas topologías bidireccionales que se aplican a la carga de baterías.

7.5.1 CONVERTIDOR BIDIRECCIONAL DE PUENTE COMPLETO Y CONVERTIDOR DC-DC REVERSIBLE

Debido a su versatilidad constructiva operativa, **la topología de Puente Completo (FB)** es

la más recurrente en convertidores bidireccionales CA-DC (BADC, Bidireccional AC-DC converter), preferentemente en diseños con dispositivos IGBTs para convertidores DC-DC no aislados. Este BADC está diseñado para tener los modos operativos siguientes:

- a. Rectificación Activa (Modo G2V): Tomar energía de la red para cargar las baterías. Los diodos D8 a D11 funcionan como puente rectificador de la red cargando C2; proveyendo DC a los conmutadores S17 y S18; S17 conmuta el inductor L1 como una fuente Buck, en complemento, el diodo D17 forma parte de este convertidor reductor para cargar la batería.
- b. Inversión con Regulación de Corriente (Modo V2G): Inyectar potencia a la red mientras se asegura el factor de potencia. En este modo el S17 y D16 operan como convertidor Boost generando del voltaje de batería el voltaje de DC que el puente formado por Q4 a Q7 transforma en AC para la red eléctrica.
- c. Respaldo de Voltaje (Modo V2H, Vehicle to Home, del Vehículo a la Casa). Suministrar energía a la vivienda desde el Vehículo cuando la red principal falla. Si en paralelo a la conexión de la red se coloca la carga (Casa), el vehículo funciona como fuente de energía de respaldo (GE).

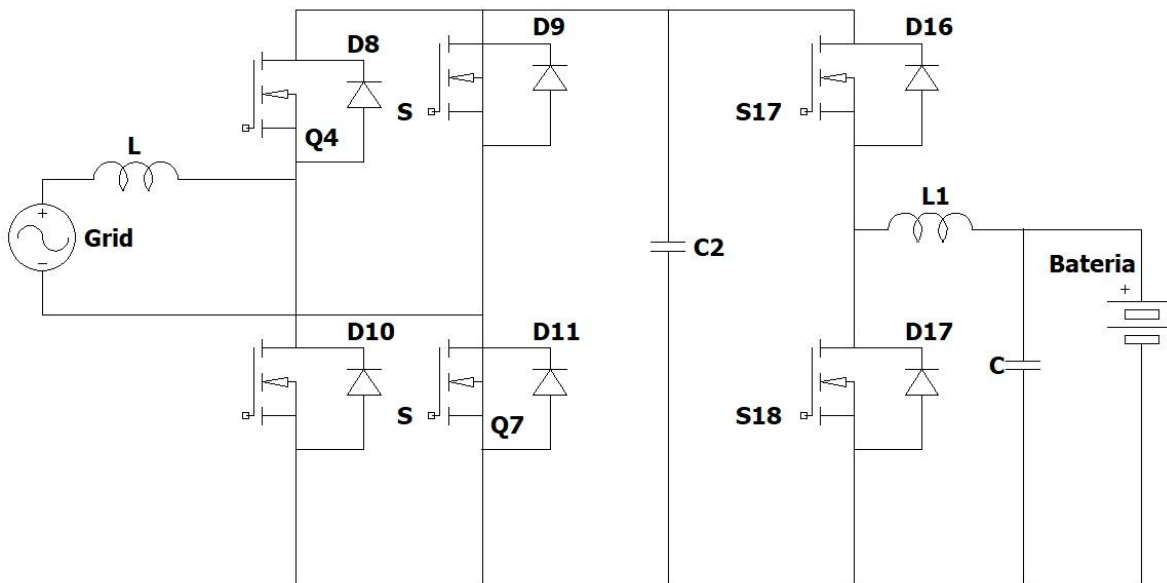


Figura 7.6 Topología general de un convertidor bidireccional de puente completo.

El convertidor DC-DC bidireccional (fig.7.5) utiliza un enlace de DC y está optimizado

para aplicaciones de propulsión, con un motor de inducción conectado como carga. Este convertidor cumple una doble función: opera como inversor durante la aceleración (motorización) y como rectificador en el frenado regenerativo.

7.5.2 CONVERTIDOR DE OCHO CONMUTADORES

Para mejorar la calidad de la energía en los modos V2G y G2V, se logra una reducción significativa de THD (Distorsión de Armónicas Total) mediante la implementación de un Controlador Resonante Proporcional (PRC) avanzado, que se muestra en la figura 7.6. Adicionalmente, se emplea un Control Orientado al Campo (FOC) basado en la técnica de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO) para reducir pérdidas e incrementar eficiencia. El resultado es un sistema más fiable que mitiga el sobrecalentamiento causado por la distorsión de la corriente y reduce el THD. El esquema para optimizar la conversión requiere de dispositivos adicionales, llevando a la topología definida como 8 conmutadores (S5 a S9).

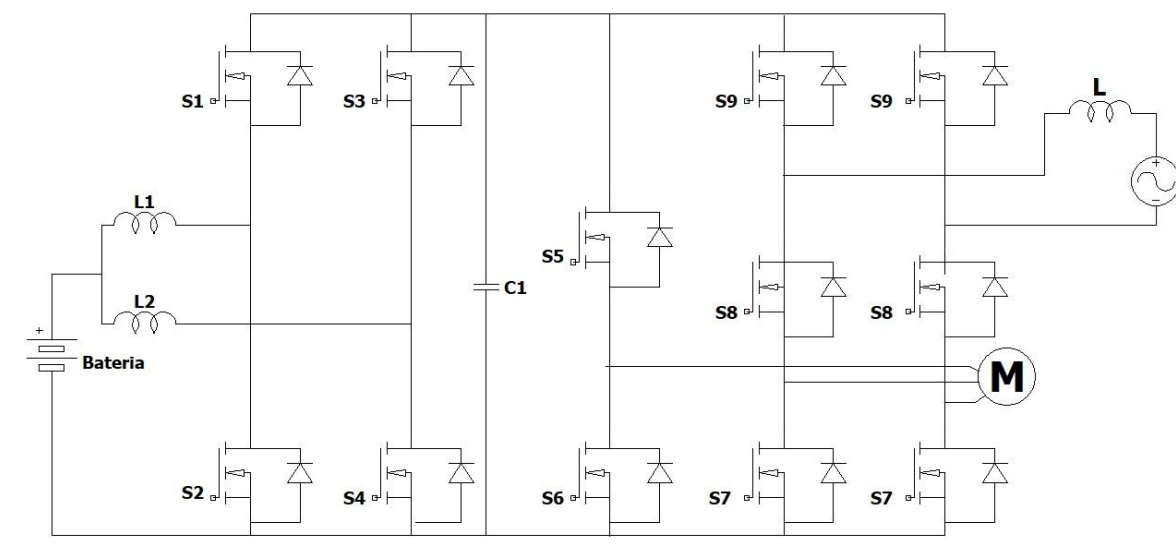


Figura 7.7 Optimización por Enjambre de Partículas (PSO).

Nota: La Optimización por Enjambre de Partículas (PSO) es un algoritmo metaheurístico inspirado en el comportamiento social de aves o peces, donde "partículas" (soluciones candidatas) se mueven en un espacio de búsqueda, ajustando su velocidad y posición basándose en su mejor experiencia personal (pbest) y la mejor experiencia global del enjambre (gbest) para encontrar soluciones óptimas a problemas complejos, siendo útil en

entrenamiento de redes neuronales, optimización de sistemas y más, aunque puede quedar atrapado en óptimos locales. En este convertidor las armónicas son las partículas; el algoritmo optimiza el THD de acuerdo a como se “comportan” tanto el individual de armónica como el global de las mismas.

7.5.3 CONVERTIDOR DE TRES NIVELES

En la figura 7.8 se muestra la topología propuesta, cuyo principal propósito es optimizar la forma de onda de la corriente de la red mediante una conmutación de voltaje precisa y con ancho de pulso variable. Existen variaciones de esta topología: una estructura previa utilizaba seis interruptores y dos diodos con un convertidor DC-DC bidireccional (BDC) no aislado. En contraste, la configuración más reciente utiliza un convertidor CA-DC bidireccional (BADC) acoplado a un BDC con cinco interruptores y diodos. Los condensadores (C_1 y C_2) garantizan el aislamiento entre ambos convertidores. Este diseño multifuncional soporta las operaciones V2G y G2V, además de facilitar el frenado regenerativo, inyectando potencia extra a vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) durante la aceleración. Los beneficios de este convertidor bidireccional son la reducción de ruido y armónicos de corriente, una menor tensión en los componentes, y la posibilidad de usar un inductor de entrada más pequeño, lo que disminuye el costo y el tamaño del sistema, a pesar de que el BADC tiene mayores pérdidas por conducción.

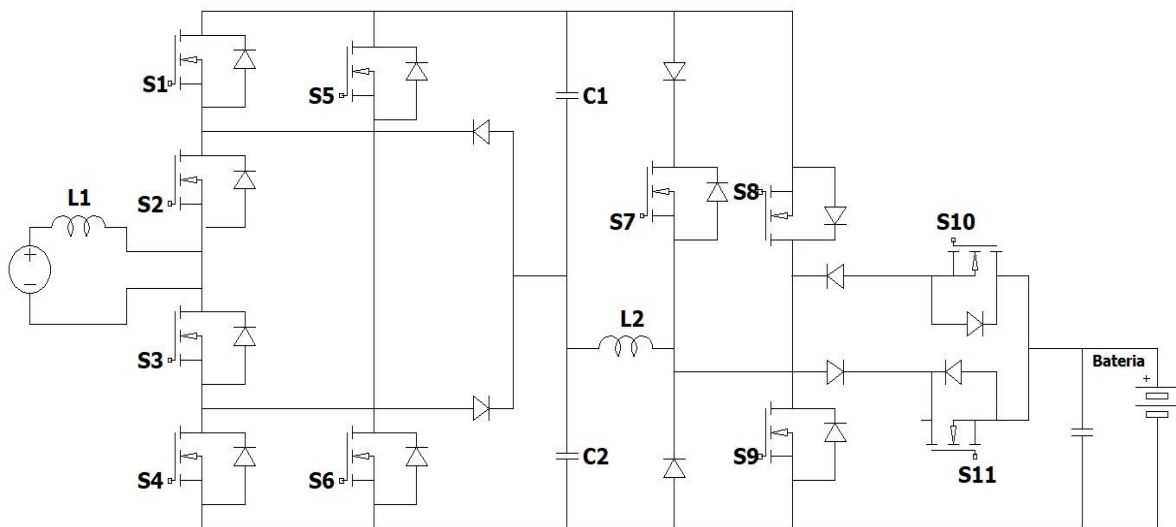


Figura 7.8 Convertidor de 5 interruptores no aislado buck-boost BDC.

La estructura completa del BADC, utilizando un total de ocho interruptores (S_1 a S_8) como muestra la figura 7.9, en una configuración que combina una estructura de cuatro interruptores con un convertidor asimétrico de tres niveles. Gracias a esta topología, se alcanza una eficiencia notable. El alto rendimiento del sistema se debe a que el camino de carga de la batería ha sido diseñado para minimizar tanto la potencia nominal como la disipación de energía del Convertidor DC-DC Bidireccional (BDC). Como resultado, la eficiencia operativa del sistema se mantiene de forma consistente por encima del 97% en ambos modos de funcionamiento (carga y descarga), incluso ante amplias variaciones del voltaje de operación.

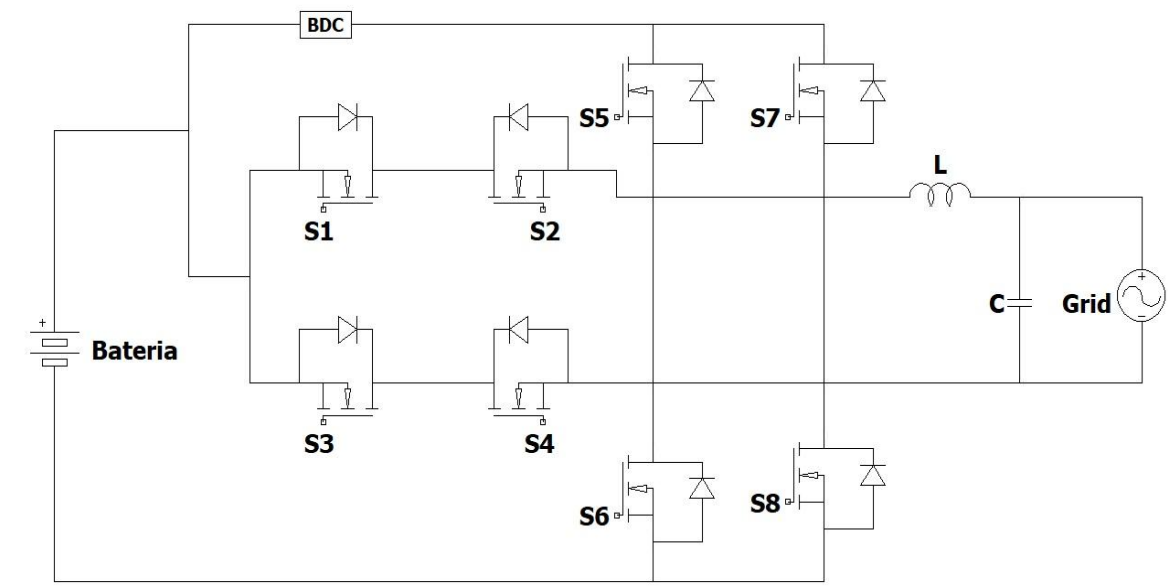


Figura 7.9 Convertidor de tres niveles asimétrico.

7.5.4 CONVERTIDOR DE TOPOLOGÍA DE ETAPA SIMPLE

Se propone una **topología de Convertidor CA-DC Bidireccional (BADC) de una sola etapa** que integra la función de **Corrección del Factor de Potencia (PFC)**. Este diseño combina circuitos de medio puente y puente completo tanto en la entrada como en la salida, como se muestra en la figura 7.10.

Una de sus principales innovaciones es que utiliza la modulación de frecuencia y el desplazamiento de fase para lograr **Conmutación en Voltaje en cruce por Cero (ZVS)** en

la etapa de entrada, lo que contribuye a una reducción significativa de las pérdidas de conmutación. Asimismo, el convertidor prescinde de la rectificación de entrada convencional al emplear interruptores dispuestos en sentido opuesto a la señal de entrada, tal como se ilustra en la Figura 7.10.

El circuito de filtrado, compuesto por (L_1, C_1, C_2) , desempeña un papel fundamental al atenuar los armónicos durante la inyección de potencia del vehículo hacia la red, permitiendo mantener un **factor de potencia cercano a la unidad**. Durante el semiciclo positivo, la operación del convertidor se controla mediante los interruptores S_1 y S_3 que conmutan a alta frecuencia, mientras que S_2 y S_4 operan a baja frecuencia. Los inductores L_m y L_2 representan la inductancia de magnetización y la inductancia de fuga del transformador, respectivamente.

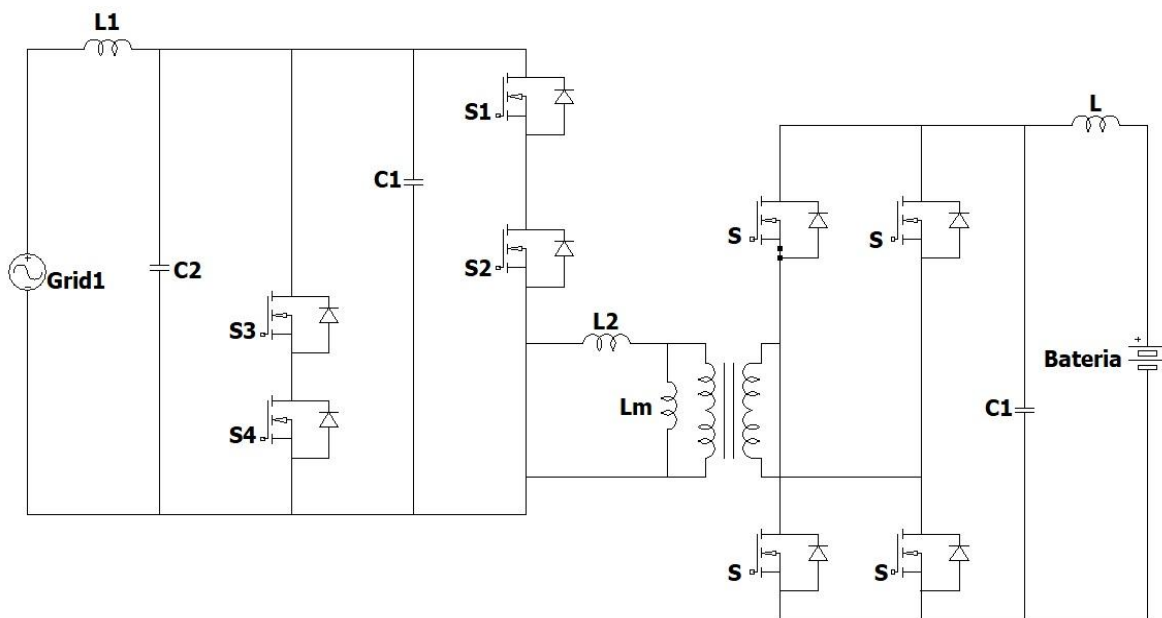


Figura 7.10 Convertidor CA-DC Bidireccional (BADC) de una sola etapa que integra la función de Corrección del Factor de Potencia (PFC).

En condiciones adversas de semiciclo, los interruptores S_2 y S_4 conmutan alta frecuencia, mientras que los interruptores S_1 y S_3 operan a baja frecuencia. En esta topología, la frecuencia de conmutación de alta frecuencia es dependiente de la carga y se mantiene dentro de un rango de 20 kHz a 120 kHz, y se disminuye más durante condiciones de baja

carga. Esto complica el diseño del controlador.

El circuito tanque de condensador-inductor permite una conmutación suave de los circuitos de los dispositivos de potencia, contribuyendo a un aumento en la eficiencia del sistema. Una versión mejorada de este convertidor propone el uso de un transformador con derivación central del lado de la red, con una topología basada en ciclo-convertidor en el lado de la red y una topología de puente completo en el lado de la batería, como se muestra en la Figura 7.11.

Esta topología consta de cuatro interruptores de potencia activos a la vez de los ocho integrados (S1–S8). En el lado de red, dos interruptores operan de forma activa, mientras que el otro establece la ruta con el diodo intrínseco del dispositivo (freewheeling). Se utilizan transformadores con derivaciones centrales para aislar del circuito de potencia, la inductancia de fuga y las capacitancias parásitas se utilizan para la operación de conmutación suave.

Durante el modo V2G, los componentes del lado de la batería se conectan mediante modulación por ancho de pulso (PWM). Por el contrario, los demás dispositivos conectados a la frecuencia de la red se intercambian para que los dispositivos del lado de la batería puedan alcanzar conmutaciones de cruce por cero (ZVS).

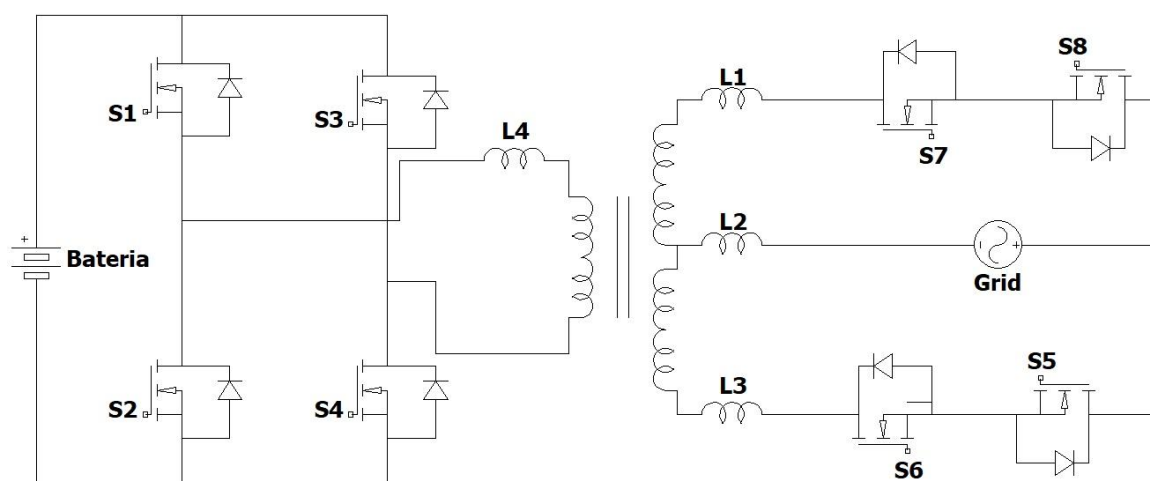


Figura 7.11 Convertidor de etapa sencilla, topología de puente completo con ciclo convertidor a red.

Por otro lado, en el modo G2V, los dispositivos del convertidor del lado de la batería se modulan para generar una modulación de ancho de pulso senoidal (SPWM) a la frecuencia de la red. Las características de conmutación suave aumentan la densidad de potencia a frecuencias de conmutación bajas. Sin embargo, se requiere un diseño preciso del transformador para que se adapte a las corrientes de fuga en el lado secundario.

Los convertidores AC/DC hasta ahora mostrados son de una sola fase, para mostrar un ejemplo de un convertidor AC/DC trifásico se comentan dos convertidores tipo matriz a continuación.

7.5.5 CONVERTIDOR DE TOPOLOGÍA EN ARREGLO MATRICIAL NO AISLADO

Típicamente, para la conversión de voltaje de CA de potencia a frecuencia de la red, se requieren etapas de conversión de voltaje de CA a voltaje de DC y de DC a CA, además de condensadores más costosos. Estos requerimientos de baja frecuencia son eliminados con convertidores de tipo matriz.

El sistema de convertidor matricial permite el flujo de potencia bidireccional convirtiendo un voltaje con amplitud y frecuencia variables a partir de un voltaje constante en magnitud y frecuencia. Por lo tanto, el sistema propuesto en la figura 7.12 emplea una estrategia de conmutación más simple con una frecuencia de conmutación más baja y reduce el total de armónicos. Aquí, se ha sugerido un convertidor matricial para un sistema trifásico V2G (Vehículo a Red), que utiliza una topología seccional optimizada para reducir el rizo de corriente durante el período de carga.

Se utilizan IGBTs (Transistores Bipolares de Compuerta Aislada) bidireccionales, conectados en serie y en antiparalelo, con diodos de libre circulación (Freewheeling), que están conectados a la red. En esta disposición, seis interruptores de tipo bidireccional y filtros LC (Inductor-Condensador) están conectados tanto en el lado del convertidor de la red (grid converter side) como en el lado del convertidor de la batería, como se muestra en la Figura 7.12.

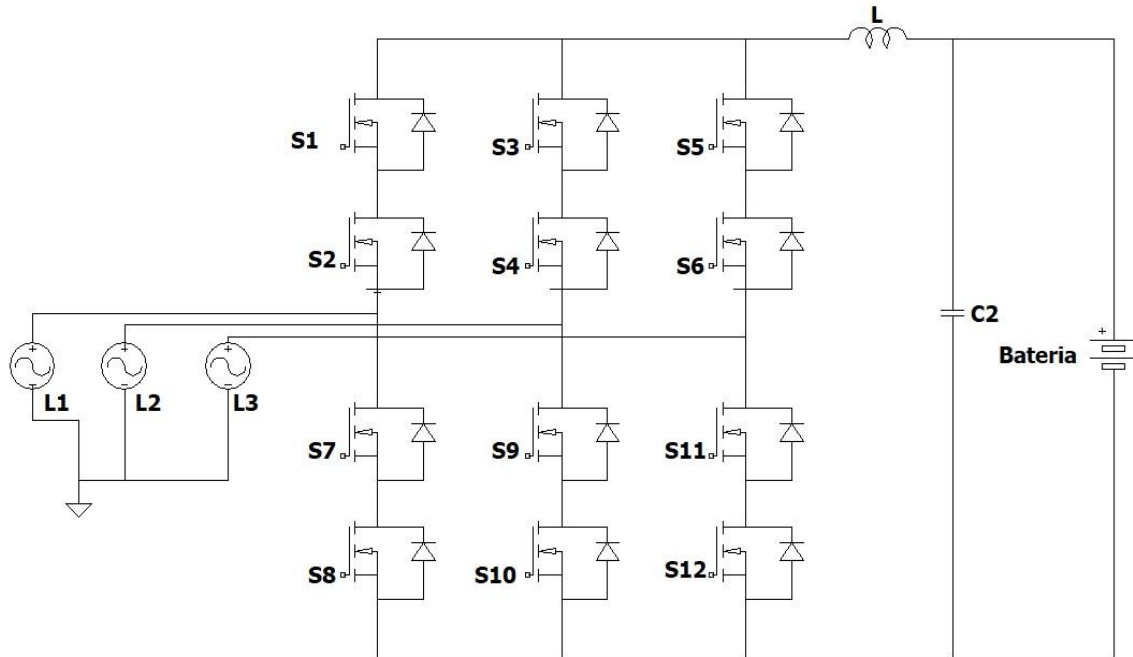


Figura 7.12 Convertidor matricial no aislado.

La razón principal para conectar el convertidor del lado de la red es que el filtro LC evita inyecciones de alta frecuencia desde la red. Del mismo modo, el filtro LC conectado a la batería evita rizo de alta frecuencia. Para mejorar la sincronización del voltaje V2G en el lado de la red, se incorpora un PLL digital y dos controladores PI mantienen la corriente constante y tensión variable.

7.5.6 CONVERTIDOR DE TOPOLOGÍA EN ARREGLO MATRICIAL AISLADO

El arreglo matricial consiste en agregar un componente aislante (transformador), la principal ventaja de un convertidor bidireccional aislado es la provisión de una barrera de seguridad eléctrica y una mayor supresión del ruido.

Por el contrario, los convertidores no aislados ofrecen ventajas en términos de eficiencia, tamaño y costo, ya que su diseño es más simple y compacto al compartir una ruta eléctrica directa y una referencia a tierra común. No obstante, carecen de las características de seguridad y mitigación de ruido que proporciona el aislamiento.

El convertidor bidireccional aislado, donde un convertidor modulado por onda cuadrada se acopla a un convertidor matricial resonante a través de un transformador de alta frecuencia. Esta topología, mostrada en la figura 7.13 consta de un inductor resonante ($L1$) y un capacitor resonante ($C1$), respectivamente. Se incorpora un controlador PWM unipolar para la operación sincronizada con la red. El voltaje del lado de la red se puede ajustar con la ayuda del voltaje rectificado del PWM en el lado primario del transformador. El circuito tanque puede asegurar un menor nivel de potencia (VA) del transformador. Se puede mantener una mayor eficiencia al activar (ON) correctamente los dispositivos de potencia cuando hay Conmutación de Voltaje Cero (ZVS) y desactivarlos (OFF) en condiciones ZVS. Este tipo de estructura BADC (Convertidor Bidireccional Aislado de DC/DC) produce una carga rápida del vehículo (VE), respuesta rápida a los transitorios del lado de la demanda, menor THD (Distorsión Armónica Total), sistemas de control sencillos, mayor confiabilidad y densidad de potencia. Sin embargo, la topología enfrenta rizados de baja frecuencia durante la carga de la batería y utiliza más componentes de potencia.

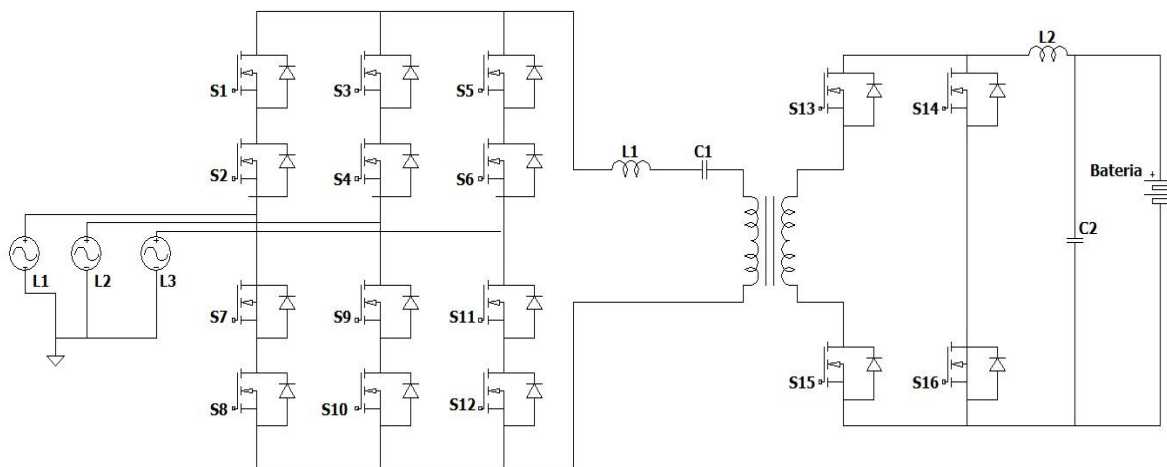


Figura 7.13 Convertidor tipo matriz aislado.

7.5.7 COMPARACIÓN DE VARIOS TIPOS DE CONVERTIDORES.

En la tabla 7.2 hacemos un resumen comparativo de las topologías propuestas recientemente para convertidores bidireccionales que son tema central del proyecto de

trabajo recepcional presente.

Topología del convertidor	Potencia máxima	Número de interruptores	Filtros	Modo de conmutación	Frecuencia de conmutación	Eficiencia	Aplicaciones
Convertidor elevador-reductor (buck-boost) auxiliar conmutado de 500 W	500 W	4	C	Conmutación dura	20kh	83%	Aplicaciones para Cargas Auxiliares de VE (Vehículo Eléctrico)
Convertidor elevador-reductor (Buck-boost)	3.5 kW	2	LC	Conmutación dura (hard-switching)	20kh	90%	Cargador de Nivel 1, Aplicaciones para VE (Vehículos Eléctricos) Ligeros
Elevador-reductor (Buck-boost)	1.2 kW	2	LC	Conmutación dura (hard-switching)	50	N/A	Cargador de Nivel 1, Aplicaciones para VE (Vehículos Eléctricos) Ligeros
Doble puente completo (Dual full-bridge)	3.3 kW	8	CLC	Conmutación suave (Soft switching)	250	N/A	Cargador de Nivel 1, Aplicaciones para VE (Vehículos Eléctricos) Ligeros
Doble puente completo (Dual full-bridge)	250 W	8	C	Conmutación suave (Soft switching)	100	93%	Aplicaciones para Cargas Auxiliares de VE (Vehículo Eléctrico)
Resonante de puente completo (Full-bridge resonant)	3.5 kW	8	C	Conmutación suave (Soft switching)	85-145 (V2G) 40-110 (V2G)	97.7 (V2G) 98.1 (V2G)	
Alimentado por doble voltaje (Dual voltaje-fed)	30 kW	8	C	Conmutación dura (hard-switching)	20	N/A	Cargador de Nivel 2 para VE (Vehículos Eléctricos) de potencia media
Medio-puente completo (Half-full-bridge)	1 kW	6	C	Conmutación suave (Soft switching)	100	95.8%	Cargador de Nivel 1, Aplicaciones para VE (Vehículos Eléctricos) Ligeros

Tabla 7.2: Comparación de varios tipos de convertidores.

7.6 CONVERTIDOR DE TRANSFERENCIA BIDIRECCIONAL DE ENERGÍA INDUCTIVA.

El uso de convertidores bidireccionales en los sistemas de transferencia de energía

inductiva (IPT) es un desarrollo clave, particularmente para la aplicación como vehículos eléctricos (VE) y la tecnología Vehículo a Red (V2G), ya que permite el flujo de energía en dos direcciones sin contacto físico.

La dirección y la magnitud de la potencia real (P) transferida entre el lado primario y el secundario se rigen principalmente por la **diferencia de ángulo de fase (φ)** entre las tensiones fundamentales producidas por los dos convertidores (inversores).

Si la tensión primaria adelanta a la tensión secundaria, la energía fluye de Primario a Secundario (G2V). Si la tensión secundaria adelanta a la tensión primaria, la energía fluye de Secundario a Primario (V2G).

La magnitud de la potencia es proporcional al seno del desfase, de forma similar al flujo de potencia en una línea de transmisión de CA:

$$P = V_p V_s \sin(\varphi) \quad \text{Ecuación 7.3}$$

Donde V_p y V_s son las magnitudes de las tensiones de salida del convertidor.

El sistema V2G basado en IPT utiliza dos convertidores idénticos espalda con espalda (back-to-back), que comprenden un convertidor del lado de la red eléctrica y un IPT primario, para convertir la energía en dos etapas. En el modo G2V (Red-a-Vehículo), el IPT del lado primario modula el nivel de tensión a través del enlace de CC (puente H de secundario) para cargar la batería.

En el modo V2G, a partir de la batería el secundario funciona como entrada al IPT y los convertidores back to back modulan a frecuencia de la línea para entregar la energía a la línea eléctrica.

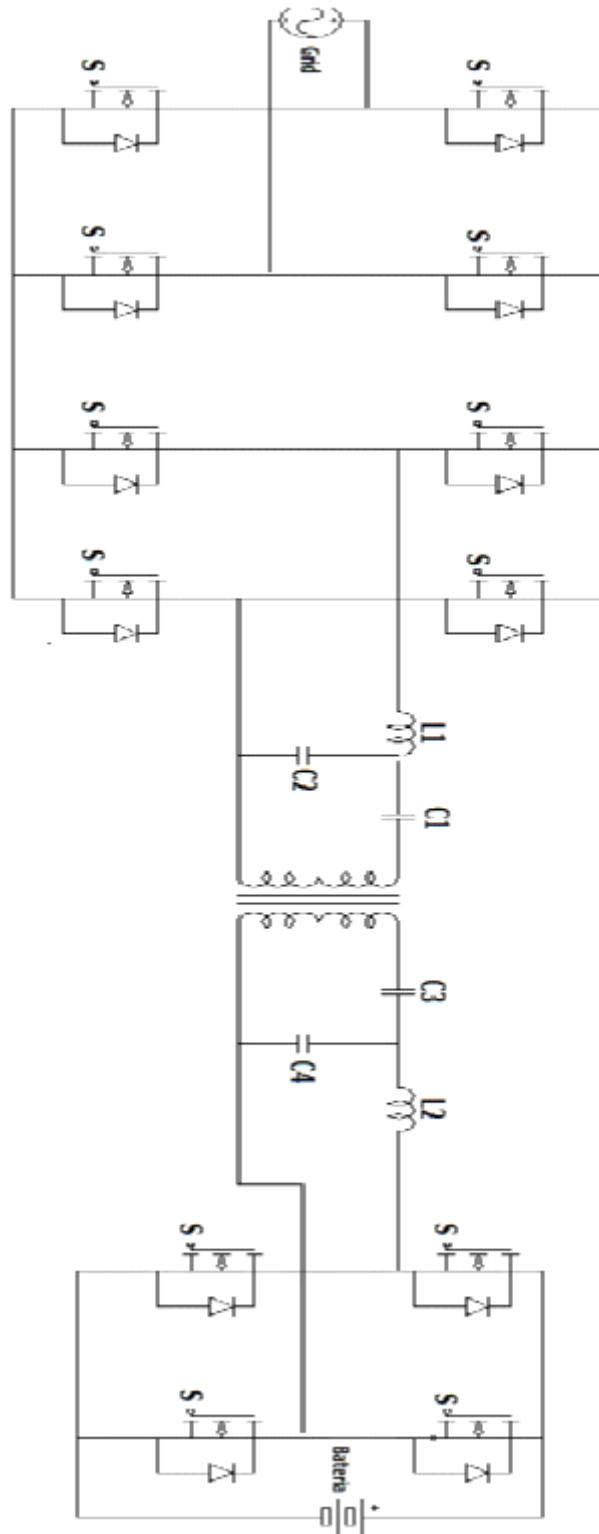


Figura 7.14 Circuito eléctrico del Convertidor bidireccional IPT.

El sistema V2G basado en IPT utiliza dos convertidores consecutivos idénticos, compuesto por un convertidor del lado de la red eléctrica y un IPT para convertir la energía en ambos lados.

En el modo G2V, el IPT del lado primario modula el nivel de voltaje a través del enlace de DC a una frecuencia de resonancia de 20 kHz. El convertidor del lado de la red funciona como rectificador en frecuencia de red; del lado de frecuencia de resonancia (20 kHz) junto con el voltaje DC recarga el vehículo en modo IPT.

Durante el modo V2G (Vehículo-a-Red), el convertidor de transferencia de energía inductiva y el receptor convierten la tensión de la batería del VE en tensión de CA a la frecuencia de resonancia; además, el convertidor del lado red funciona como un inversor a frecuencia de red eléctrica primaria, mientras que el convertidor IPT convierte el nivel de tensión de CA en algún punto de la frecuencia resonante. La Figura 7.14 muestra el sistema IPT.

Gracias al sistema resonante LCCL en ambos lados del transformador, que están funcionando como fuentes de corriente, un inductor grande ya no es necesario. Este sistema está compuesto por L1, C2 y C1 en el lado primario del convertidor y L2, C3 y C4 en el lado del receptor del convertidor. La trayectoria de inductancia del transformador se conecta magnéticamente, esto evita que el lado primario y el lado del receptor estén conectados eléctricamente.

En resumen, el progreso en los sistemas bidireccionales de modo IPT se dirige a reemplazar las soluciones iniciales ineficientes con estructuras resonantes y técnicas de control digital para lograr una transferencia de energía segura, pequeña, eficiente (más del 90%) y con un alto factor de potencia, lo que es crucial para la integración exitosa de los vehículos eléctricos con la red eléctrica (V2G).

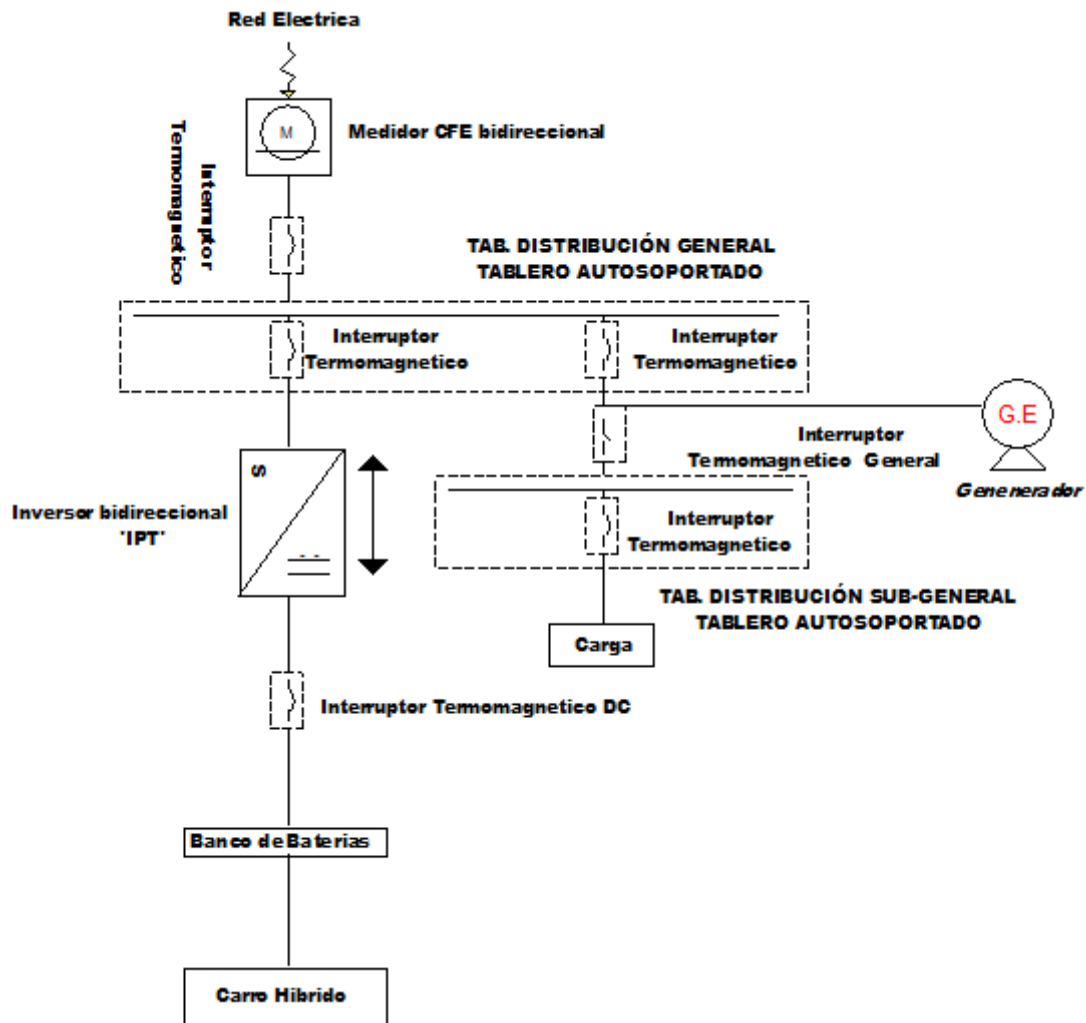


Figura 7.15 Diagrama eléctrico unifilar de un sistema híbrido bidireccional V2G con respaldo en la carga.

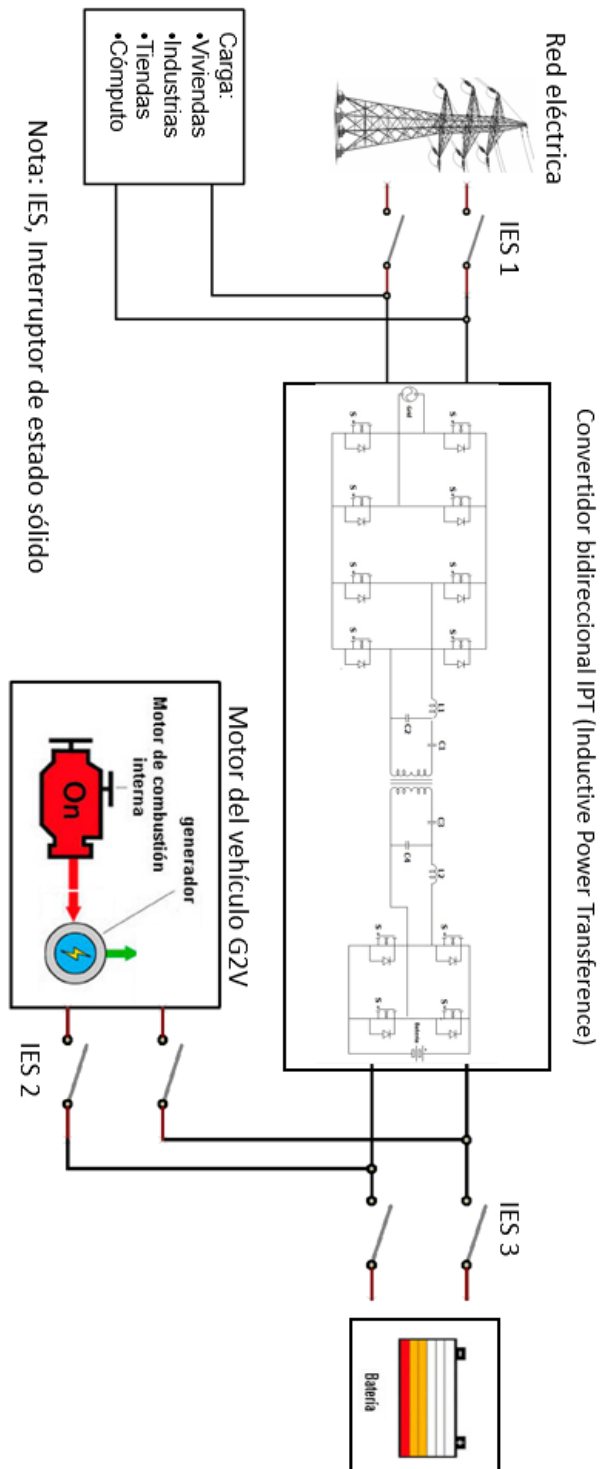


Figura 7.16 Propuesta convertidor bidireccional entrega de carga a la red eléctrica utilizando como respaldo un carro híbrido.

La figura 7.16 muestra la propuesta del objetivo general de la tesis.

Partiendo de un sistema de control de la propuesta, las funciones y secuencias son:

- a. Estando presente la red eléctrica: Los interruptores IES 1 e IES 3 están cerrados, el convertidor IPT funciona como AC/DC para cargar la batería.
- b. En el evento de una ausencia de red eléctrica: El interruptor IES 1 se abre, el convertidor IPT funciona como DC/AC para que las baterías alimenten la carga, mientras el motor G2V arranca y estabiliza. Estabilizado el motor G2V: El interruptor IES 3 se abre y el interruptor IES 2 cierra, para que el sistema G2V alimente la carga.
- c. Al retorno de la red eléctrica el control lleva al sistema al estado (a).

CONCLUSIONES

En los últimos años, la integración de convertidores bidireccionales en la red eléctrica para aplicaciones V2G (vehículo a red) ha consolidado que los vehículos (EV) tengan una atención significativa debido a su potencial para mejorar la estabilidad de la red, la eficiencia energética y los beneficios económicos que conlleva.

En este trabajo recepcional se desarrolló una revisión e investigación de los convertidores bidireccionales, con el propósito de proponer una aplicación del conjunto Motor del vehículo híbrido con un convertidor bidireccional para generar un Grupo Electrógeno (GE) funcional para respaldo en ausencias de energía de la red eléctrica; la propuesta cumple con las funciones de Fuente Ininterrumpida de Energía (UPS) y como coloquialmente se les llama “planta de emergencia” (GE). El documento por tanto cumple con el objetivo general propuesto.

Con este proyecto se buscó explicar de manera detallada y específica el funcionamiento y parámetros eléctricos necesarios para la instalación de un grupo electrógeno apegado a las NOM-001-SEDE-2012 de instalaciones eléctricas, como en los diferentes modos de utilización de las plantas eléctricas ‘standby’ y ‘prime’, se ejemplificó un caso de estudio a partir de una instalación eléctrica de paquetería de la empresa Amazon S.A de C.V calculado los parámetros necesarios para proponer un respaldo de energía de tal forma que

soporte las cargas eléctricas instaladas en la planta y se tenga un plan de mantenimiento preventivo y correctivos más eficientes. Cumplir con una eficiencia térmica de alrededor de 80% apoyados con las normativas de CFE y el factor de potencia.

Se hizo un análisis de los automóviles híbridos G2V como una opción de respaldo de energía al agregarles un convertidor bidireccional. Se investigaron y documentaron diferentes topologías de convertidores bidireccionales, analizando sus cualidades, ventajas y desventajas. Se propuso para cumplir el objetivo general la topología denominada como IPT(convertidores bidireccionales en los sistemas de transferencia de energía inductiva); donde la eficiencia energética es superior al 80% de tal forma que la mayor parte de la energía generada tanto por el banco de baterías y el motor del vehículo híbrido se aprovechen en las cargas activas y el 20% restante se disipe en energía térmica.

Se propone un diagrama unifilar de instalación eléctricas domiciliaria siguiendo las normativas de CFE para la propuesta del respaldo de energía utilizando el auto híbrido como fuente de generación eléctricas este diseño especialmente son para redes monofásicas

La propuesta se muestra en la figura 7.16 y cumple no solo con la funcionalidad de Grupo Electrónico, sino que puede ser implementada como una UPS para cargas críticas como sistemas de cómputo o equipo sensible a disturbios en la red; además, salas de medicina.

Al ser una propuesta con un motor G2V los tiempos de respaldo a la carga no están limitados a ser periodos cortos (como lo son en la UPS).

Es también muy importante conocer las bases fisicomatemáticas de los componentes de este tipo de sistemas; es decir: entender las bases matemáticas, principios de funcionamientos de dispositivos, fuentes de energía, principios de conversión de la energía, topologías o celdas de conversión, entre otros.

Se propone este sistema V2G-híbrido para una instalación eléctricas monofásicas con un enfoque mayor a cargas resistivas.

Se deja en consideración que estos sistemas híbridos buscaran en un futuro no muy lejano mejorar para dar soporte tanto a cargas inductivas como cargas capacitivas.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura J.1 Diagrama a bloques de grupo electrógeno. Realización propia.	13
Figura I.1 Diagrama a bloques de grupo electrógeno GE, convertidores de energía	14
Figura I.2 Diagrama a bloques de grupo electrógeno GE típico, realización propia, revisar definición	14
Figura 1.1 Invento de la rueda 3500 A.C. Generado en ANSYS Maxwell [] versión estudiante.	19
Figura 1.2 generada en ANSYS Maxwell versión estudiante: Estator e inductor, generación de corriente en el rotor.	24
Figura 1.3 Regla de la mano derecha de Fleming, para determinar la Fuerza Electromotriz	27
Figura 1.4 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: F.E.M en un conductor en movimiento	28
Figura. 1.5 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: fuerza electromotriz inducida en un conductor	30
Figura 1.6 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: Dinamo de disco de Faraday	33
Figura 1.7 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: Espira Rectangular	34
Figura 1.8 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: Espira rectangular girando dentro un campo magnético	35
Figura 1.9 Generado en Excel office LTS: Grafica de la F.E.M inducida del alternador.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 1.10 Representación vectorial, para cargas; Resistiva, Inductiva y capacitiva.	38
Figura 1.11 Triángulo de potencias	39
Figura 1.12 Diagrama vectorial de un circuito inductivo, ejemplifica el factor de potencia.	40
Figura 2.1 Representación física y diagrama a bloques de un grupo electrógeno	43
Figura 2.2 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: Dibujo de alternador industrial marca STAMFORD Modelo SOL2M1	44
Figura 2.3 Generado en ANSYS Maxwell versión estudiante: Dibujo del motor industrial (X2.5G4)	46
Figura 2.4 Generado en Cadesimu []: parámetros de instalación del grupo electrógeno,	48
Figura 2.5 Secuencia de operación de un GE	51
Figura 2.6 Grafica de caída de potencia de un motor Diesel de 4 tiempos respecto a la altitud	52
Figura 2.7 Caída de potencia en para el generador	53
Figura 2.8 Generado en el simulador master PLC online: Desfase entre líneas de 120°.	58
Figura 2.9 Generado en el simulador master PLC online []: Arreglo en estrella	58
Figura 2.10 Generada en GeoGebra []: Diagrama-fasorial en arreglo estrella	60
Figura 2.11 Generada en GeoGebra: triangulo isósceles del diagrama -fasorial voltaje	61

Figura. 2.12 Generado en el simulador master PLC online: Arreglo en Delta	62
Figura 2.13 Generada en GeoGebra: Diagrama-fasorial arreglo delta, hay un triángulo que no es isósceles	63
Fig. 2.14: Generada en GeoGebra: Triangulo isósceles del diagrama -fasorial de corriente.....	63
Figura. 4.1. Generado en Excel office LTS: Par de velocidad para un motor asíncrono de 2 polos..	75
Figura 4.2 Esquema eléctrico del generador en derivación.....	77
Figura 5.1 Diagrama unifilar de Servicios Comerciales Amazon	82
Figura 5.2 Consumo eléctrico de la planta Amazon-Querétaro.....	84
Figura 5.3 Generada en GeoGebra: triángulo de potencia	85
Figura 7.1 La estructura básica de un vehículo con sistema V2G, incluye la red eléctrica (AC), el vehículo eléctrico, y el convertidor AC/DC bidireccional.....	100
Figura 7.2 Diagrama a bloques de un inversor AC/DC bidireccional.....	100
Figura 7.3 Convertidor bidireccional.....	101
Figura 7.4 sistema hibrido bidireccional con respaldo a la red.....	102
Figura 7.5 Esquema de sistemas de V2G.....	103
Figura 7.6 Topología general de un convertidor bidireccional de puente completo.....	104
Figura 7.7 Optimización por Enjambre de Partículas (PSO).	105
Figura 7.8 Convertidor de 5 interruptores no aislado buck-boost BDC.	106
Figura 7.9 Convertidor de tres niveles asimétrico.	107
Figura 7.10 Convertidor CA-DC Bidireccional (BADC) de una sola etapa que integra la función de Corrección del Factor de Potencia (PFC).....	108
Figura 7.11 Convertidor de etapa sencilla, topología de puente completo con ciclo convertidor a red.	109
Figura 7.12 Convertidor matricial no aislado.	111
Figura 7.13 Convertidor tipo matriz aislado.....	112
Figura 7.14 Circuito eléctrico del Convertidor bidireccional IPT.....	115
Figura 7.15 Diagrama eléctrico unifilar de un sistema hibrido bidireccional V2G con respaldo en la carga.....	117
Figura 7.16 Propuesta convertidor bidireccional entrega de carga a la red eléctrica utilizando como respaldo un carro hibrido.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1 Tipos principales de máquinas rotativas	16
Tabla I.2 Funcionamiento en conjunto motor y alternador.....	17

Tabla 1.3 Generación de la energía a nivel molecular	21
Tabla 1.4 Conversión de la energía en los motores de combustión	21
Tabla 1.5 Tipos de generadores mecánico-eléctrico.....	23
Tabla 1.6 Funcionamiento electromecánico del alternador y dinamo.	25
Tabla 1.7 Regla de Fleming.....	27
Tabla 1.8 Valores α vs ξ en un período.....	37
Tabla 2.1 Especificaciones del generador SOL2M1.....	45
Tabla 2.2 Especificaciones del motor Diesel X2.5G4.....	47
Tabla 2.3 Parámetros de la capacidad de la instalación del grupo electrógeno.....	49
Tabla 2.3 Parámetros de la capacidad de la instalación del grupo electrógeno.....	55
Tabla 3.1: Funcionamiento de un motor de 4 tiempos.....	67
Tabla 4.1: Generación de la F.E.M en un generador síncrono.	73
Tabla 4.2 Diferencias entre los generadores síncronos y asíncronos	78
Tabla 5.1 Voltajes de consumo en la planta Amazon-Querétaro	83
Tabla 5.2 Consumo eléctrico de la planta Amazon-Querétaro	83
Tabla 5.3 Calibre de cable dependiente de la corriente de suministro y la temperatura	87
Tabla 5.4 Cálculo de la potencia aparente.	89
Tabla 6.1 plan de mantenimiento mecánico.....	95
Tabla 6.2 plan de mantenimiento eléctrico.	95
Tabla 6.3 Mantenimiento por kilometraje de operación del Motor de 4 tiempos.....	96
Tabla 7.1 Niveles de contaminante	98
Tabla 7.2: Comparación de varios tipos de convertidores.....	113

BIBLIOGRAFÍA

-
- ⁱ Shigley, J. E., & Uicker, J. J. (1984). *Theory of Machines and Mechanisms*. McGraw-Hill
- ⁱⁱ Bulliet, Richard W. *The Wheel: Inventions & Reinventions*. Columbia University Press, 2016.
- ⁱⁱⁱ *Physics LibreTexts*. "Electric Generators and Faraday's Law."
- ^{iv} Panchanathan, S.; Vishnuram, P.; Rajamanickam, N.; Bajaj, M.; Blazek, V.; Prokop, L.; Misak, S. A Comprehensive Review of the Bidirectional Converter Topologies for the Vehicle-to-Grid System. *Energies* **2023**, *16*, 2503. <https://doi.org/10.3390/en16052503>. Published: 6 March 2023
- ^v AleagaLoaiza, L. F., Morell Pérez, C., & García Sánchez, Z. (2015). Planificación automatizada del arranque de generadores para la restauración de sistemas eléctricos de potencia. *Revista de Ingenieria Energetica*, *36*(2), 168–179.
- ^{vi} Ketabi, A., & Feuillet, R. (2010). Ant colony search algorithm for optimal generators startup during power system restoration. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010. <https://doi.org/10.1155/2010/906935>
- ^{vii} Arnaltes, S., Eloy-García, J., & Rodríguez, J. (2005). Generadores Eléctricos I.
- ^{viii} Pérez-Aballe, O. R., Ruiz-Chavarría, G., Vázquez-Seis Dedos, L., & Columbié-Navarro, Á. O. (n.d.). Design of a dual bidirectional DC/DC converter for hybrid energy storage management in microgrids.
- ^{ix} Wang, J., Wang, B., Zhang, L., Wang, J., Shchurov, N. I., & Malozyomov, B. v. (2022). Review of bidirectional DC–DC converter topologies for hybrid energy storage system of new energy vehicles. In *Green Energy and Intelligent Transportation* (Vol. 1, Issue 2). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100010>
- ^x Kachhwaha, A., Rashed, G. I., Garg, A. R., Mahela, O. P., Khan, B., Shafik, M. B., & Hussien, M. G. (2022). Design and Performance Analysis of Hybrid Battery and Ultracapacitor Energy Storage System for Electrical Vehicle Active Power Management. *Sustainability* (Switzerland), *14*(2). <https://doi.org/10.3390/su14020776>
- ^{xi} Ashfaq, M. H., Selvaraj, J. A., & Rahim, N. A. (2021). Control Strategies for Bidirectional DC-DC Converters: An Overview. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1127*(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1127/1/012031>