



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis

MODELADO Y EXPERIMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A ESCALA

Para obtener el título de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta:

SERAFÍN CONTRERAS CHAVEZ

ASESOR:

DOCTOR EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Gilberto González Avalos

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, DICIEMBRE DEL 2016

Agradecimientos

Primeramente quiero agradecerle a dios nuestro señor por permitirme ser parte de una hermosa familia, la cual todos mis logros son debidos a ellos, le doy gracias a mis padres Serafín Contreras Hernández y María Chávez Huerta por que en todo momento me brindaron su incondicional apoyo, y valores los cuales como persona razonable los seguiré cultivando.

Le doy gracias a mis maestros ya que ellos me enseñaron a valorar los estudios y a superarme cada día, también agradezco a el Dr. Roberto Contreras Hernández ya que su apoyo fue una pieza fundamental para poder concluir esta meta propuesta.

A mis hermanos Xochilt, Ana Laura, Leobardo, María Elizabeth, Jorge Daniel ya que ellos me han ayudado a luchar y cumplir mis propósitos y aspirar a nuevos retos.

Gracias al Doctor en Ingeniería Eléctrica Gilberto González Avalos por ser unos de mis profesores y guía para el desarrollo del presente trabajo de tesis profesional.

Siempre le estaré inmensamente agradecido a todos los profesores por el hecho de invertir su tiempo con la finalidad de formar personas profesionistas las cuales un día seremos el motor de este país.

Dedicatoria

Dedico este presente trabajo de tesis a mis padres porque siempre creyeron en mí y por todo el apoyo que me dieron, a mis maestros que me brindaron la oportunidad de crecer y ayudarme a desarrollar las herramientas necesarias para poder vivir siendo mejor cada día.

Índice

	Página
<i>Agradecimientos</i>	<i>i</i>
<i>Dedicatoria</i>	<i>ii</i>
<i>Índice</i>	<i>iii</i>
<i>Resumen</i>	<i>vi</i>
<i>Abstract</i>	<i>vii</i>
<i>Keywords</i>	<i>vii</i>
<i>Lista de figuras</i>	<i>viii</i>
<i>Lista de tablas</i>	<i>x</i>
<i>Lista de Símbolos</i>	<i>xi</i>
<i>Lista de abreviaturas</i>	<i>xii</i>
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1.-Los sistemas de generación	1
1.2.-Objetivo	2
1.3.-Justificación	2
1.4.-Metodología	3
1.5.-Contenido de la tesis	4
CAPITULO 2 ANTECEDENTES DE SISTEMAS DE GENERACIÓN	6
2.1.- Energía	6
2.2.- Reservas de energía	7
2.3.- Clasificación de las plantas eléctricas	9
2.4.- Plantas termoeléctricas	10
2.5.- Plantas eléctricas con turbinas de gas	13
2.5.1 Componentes principales	14
2.5.2 Ciclo termodinámico	15
2.5.3 Rendimiento Térmico del ciclo simple Brayton	17
2.5.4 Combustibles usados en las turbinas de gas	18
2.5.5 Ventajas y aplicaciones de la turbina de gas	18
2.5.6 Algunas desventajas de las turbinas de gas	19
	iii

2.6.- Plantas geotermoeléctricas	19
2.6.1 Origen de la energía geotérmica	20
2.6.2 Aprovechamiento de la energía geotérmica	21
2.7.- Plantas diesel o de gasolina	25
2.8.- Plantas nucleoeeléctricas	25
2.8.1 ¿Qué es la energía nucleoeeléctrica?	26
2.8.2 Energía Nucleoeeléctrica	26
2.8.3 Centrales Nucleares en México	27
2.8.4 Ubicación geográfica	27
2.9.- Plantas hidroeléctricas	28
2.9.1 Ciclo hidrológico	28
2.9.2 Arreglo general de una central hidroeléctrica	29
2.9.3 Potencial eléctrico	30
CAPITULO 3 MODELADO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELECTRICA A ESCALA	33
3.1.- Introducción	33
3.2 Principio de generación de corriente alterna	33
3.2.1 Principio de inducción	34
3.2.2 Generación de Corriente Alterna	35
3.3.- Rectificador de onda completa trifásico	36
3.4.- Convertidor Boost	39
3.4.1 Análisis con el interruptor cerrado	40
3.4.2 Análisis con el interruptor abierto	41
3.5.- El inversor	43
3.5.1 El convertidor en puente de onda completa	43
3.6.- La plataforma labVIEW™	44
3.7.- Diseño e implementación del sistema de generación	45
3.7.1 Etapa A	46
3.7.2 Etapa B	46

3.7.3 Etapa C	47
3.7.4 Etapa D	49
CAPITULO 4 SIMULACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN	55
4.1.- Introducción	55
4.2.- La empresa National Instruments (NI)	56
4.3.- El GPIB	56
4.4.- Sistema DAQ	57
4.4.1 El sensor	58
4.4.2 El dispositivo DAQ	58
4.4.3 Acondicionamiento de señales	59
4.4.4.- Convertidor Analógico a Digital (A/D)	59
4.4.5 Función del ordenador en un sistema DAQ	60
4.4.6 El controlador de la DAQ	60
4.4.7 El software de la DAQ	60
4.5.- <i>El instrumento virtual</i>	61
4.6.- <i>Sección de Pruebas y resultados</i>	61
4.6.1 Señal trifásica en labVIEW™	61
4.6.2 Salida de la señal rectificada en labVIEW™	62
4.6.3 Salida en la DAQ	63
4.6.4 Salida en el convertidor boost	63
4.6.5 Salida de señal en el inversor	64
4.7.- <i>Experimentación a otro voltaje de generación</i>	65
CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1.-Conclusiones	69
5.2.-Recomendaciones	70
<i>Fuentes de informacion</i>	71
<i>Apéndices</i>	72

Resumen

Primeramente, en este trabajo se describen diferentes tipos de plantas de generación que existen en la actualidad, posteriormente, se implementará un sistema de generación trifásico el cuál en el capítulo 3 se presenta el procedimiento correspondiente para su implementación.

Este proyecto redacta la información necesaria para conocer el funcionamiento de un sistema de generación a escala. El mismo se estructura en 5 etapas las cuales son:

1. Etapa de generación de onda trifásica.

Esta etapa se implementa de forma digital en el software llamado labVIEW™ en el capítulo 3 se puntualizan los pasos para la construcción de la onda trifásica senoidal.

2. Etapa de rectificación trifásica.

Para la implementación del rectificador trifásico también se hizo uso del software labVIEW™.

3. Etapa 3 la DAC.

Etapa de comunicación entre labVIEW™ y la estación de trabajo NI-ELVIS 1

4. Etapa elevadora con convertidor CD/CD tipo Boost

Se conocerá su funcionamiento e implementación físicamente.

5. Etapa del inversor monofásico.

Se describe el procedimiento para la implementación de un inversor monofásico con modulación senoidal por ancho de pulso.

Abstract

First the different types of power plants that currently exist today will be known later phase generation system which in Chapter 3 is implemented the relevant procedure for its implementation is shown. This project information necessary to understand the functioning of a system generation is drawn to scale. The same is divided into 5 stages which are.

Step 1.- Triphasic waveform generation.

This stage is implemented digitally in software called labVIEW™ in chapter 3 steps for the construction of the three-phase sine wave is spelled out.

Step 2.-Phase rectification stage.

To implement the three-phase rectifier also it made use of labVIEW™ software.

Step 3.- Stage 3 the DAC

Stage communication between labVIEW™ and the workstation NI-ELVIS 1

Step 4. Stage truck with converter CD / CD type Boost

Operation and implementation will be known physically.

Step 5. Stage of single-phase inverter

The procedure for implementing a single-phase inverter with sinusoidal pulse with modulation described.

Keywords

Data acquisition, Instrumentation, Signal Processing, Virtual Instruments, Signal Converter, Signal monitoring.

Lista de figuras

Página

FIGURA 1. 1.- DIAGRAMA DE UNA TURBINA SKYSTREAM.....	3
FIGURA 2. 1 DIAGRAMA ELEMENTAL DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA.	10
FIGURA 2. 2 ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE VAPOR ELEMENTAL.....	11
FIGURA 2. 3 DIAGRAMA P-V Y T-S DEL CICLO RANKINE	12
FIGURA 2. 4 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UNA CENTRAL DE TURBINA DE GAS.	15
FIGURA 2. 5 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA TURBINA DE GAS DE CICLO ABIERTO SIMPLE.	16
FIGURA 2. 6 DIAGRAMA T-S DEL CICLO BRAYTON.	16
FIGURA 2. 7 RESERVORIO GEOTÉRMICO.	21
FIGURA 2.8 LOCALIZACIÓN DE LOS POZOS GEOTÉRMICOS EN EL PAÍS	23
FIGURA 2. 9 SISTEMA GEOTÉRMICO “MULTIFLASHEO”	24
FIGURA 2. 10 DIAGRAMA ELEMENTAL DE UNA PLANTA NUCLEOELÉCTRICA.	25
FIGURA 2. 11 ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS DE UNA INSTALACIÓN HIDROELÉCTRICA DE ALTA CAÍDA.	30
FIGURA 2. 12 ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS DE UNA INSTALACIÓN HIDROELÉCTRICA DE BAJA CAÍDA.	30
FIGURA 2. 13 DIAGRAMA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.	31
FIGURA 3. 1 PRINCIPIO DE GENERACIÓN DE CORRIENTE ALTERNA.	34
FIGURA 3. 2 PRINCIPIO DE INDUCCIÓN.	34
FIGURA 3. 3 UNA SEÑAL DE CORRIENTE ALTERNA	35
FIGURA 3. 4 GRÁFICA DE $V_m \sin \omega t$: A) COMO FUNCIÓN DE ωt , B) COMO FUNCIÓN DE T.	36
FIGURA 3. 5 DIAGRAMA DE UN RECTIFICADOR TRIFÁSICO DE ONDA COMPLETA.	37
FIGURA 3. 6 VOLTAJES DE FASE Y DE LÍNEA A LÍNEA DE UN GENERADOR EQUILIBRADO.	38
FIGURA 3. 7 CORRIENTES EN CADA DIODO EN CONDUCCIÓN.	38
FIGURA 3. 8 CIRCUITO DEL CONVERTIDOR BOOST.	39
FIGURA 3. 9 CIRCUITO EQUIVALENTE CON EL INTERRUPTOR CERRADO.	40
FIGURA 3. 10 CORRIENTE EN LA BOBINA.	40
FIGURA 3. 11 CIRCUITO EQUIVALENTE CUANDO EL INTERRUPTOR ESTÁ ABIERTO.	41
FIGURA 3. 12 CONVERTIDOR PUENTE DE ONDA COMPLETA.	43
FIGURA 3. 13 (A) S1 Y S2 CERRADOS. (B) S3 Y S4 CERRADOS. (C) S1 Y S3 CERRADOS. (D) S2 Y S4 CERRADOS	44
FIGURA 3. 14 SISTEMA DE GENERACIÓN EMULADO EN LABVIEW™.	46
FIGURA 3. 15 ETAPA DE RECTIFICACIÓN TRIFÁSICA.	47
FIGURA 3. 16 DIAGRAMA DEL CONVERTIDOR BOOST.	47
FIGURA 3. 17 GENERADOR DE ONDAS SENOIDAL CON AMPLITUD Y FRECUENCIA AJUSTABLE.	50
FIGURA 3. 18 GENERADOR DE ONDA TRIANGULAR	51
FIGURA 3. 19 COMPARADOR DE LA ONDA SENOIDAL Y LA TRIANGULAR.....	51
FIGURA 3. 20 AMPLIFICADOR INVERSOR.	51
FIGURA 3. 21 GENERADOR DE TIEMPO MUERTO.	52
FIGURA 3. 22 ETAPA DE ACOPLAMIENTO.....	53
FIGURA 3. 23 ESQUEMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN A ESCALA.	54

FIGURA 4. 1 FUNDADORES DE LA COMPAÑÍA NATIONAL INSTRUMENTS (1976, AUSTIN, TEXAS).....	56
FIGURA 4. 2 CONECTOR GPIB	57
FIGURA 4. 3 CONEXIÓN MEDIANTE EL GPIB.....	57
FIGURA 4. 4 SISTEMA DAQ BASADO EN PC	58
FIGURA 4. 5 PROCESO DE LA CONVERSIÓN A/D.	60
FIGURA 4. 6 SEÑAL TRIFÁSICA IMPLEMENTADA EN LABVIEW.....	62
FIGURA 4. 7 SEÑAL DE CORRIENTE DIRECTA	62
FIGURA 4. 8 SALIDA EN LA DAQ.	63
FIGURA 4. 9 LECTURA DEL CONVERTIDOR BOOST.....	64
FIGURA 4. 10 PUENTE INVERSOR CON FILTRO LC.	64

Lista de tablas

	Página
TABLA 2. 1 CAPACIDAD INSTALADA EN MÉXICO.	7
TABLA 2. 2 PLANTAS TERMOELÉCTRICAS EN OPERACIÓN EN MÉXICO.....	8
TABLA 2. 3 PLANTAS HIDROELÉCTRICAS EN OPERACIÓN EN MÉXICO	8
TABLA 2. 4 PLANTAS DE DIESEL EN OPERACIÓN EN MÉXICO.....	9
TABLA 2. 5 CENTRALES GEOTERMoeLECTRICAS EN MÉXICO.	9
TABLA 2. 6 CAPACIDAD INSTALADA GEOTÉRMICA JUNIO DEL 2007.....	22

Lista de Símbolos

$=$	Igualdad.
$-$	Negativo o Resta.
$\%$	Porcentaje.
$\wedge$	Potencializarían.
$+$	Positivo o Suma.
$\pm$	Más Menos.
$\sum$	Sumatoria.
$\int$	Integral.
$^{\circ}$	Grados centígrados.
Δ	Cambio de alguna variable.
Ω	Ohm.

Lista de abreviaturas

+Vcc	Voltaje positivo de corriente continúa.
C	Una contante.
Ca	Corriente alterna.
Cd	Corriente directa.
D	Ciclo de trabajo.
d	Diodo
E	Eficiencia del sistema.
e	Trabajo o energía entregada al sistema.
F	Frecuencia natural.
H	Entalpia.
h	Rendimiento global de la instalación
H _{fg}	Entalpia de vaporización.
H _g	Salto o caída natural (Altura natural).
H _{Is, k}	Caída de entalpia isoentropica, entra las condiciones de flasheo y el condensador.
H _n	Salto o altura neta.
H _p	Caballos de potencia.
H _u	Salto o altura útil.
I _a	Corriente en la fase a.
I _b	Corriente en la fase b.
I _c	Corriente en la fase c.
K _m	Kilómetros.
K _w	Kilowatts.
M _p	Flujo del gas.
M _{s, k}	Masa producida de vapor en las k etapas
M _w	Mega watts.
N _k	Eficiencia isoentropico.
P	Presión.
P _e	Potencia eléctrica de una central hidroeléctrica.
Q	Gasto en $\frac{m^3}{seg}$
Seg	Segundos.
T	Tiempo en segundos.
T _K	Temperatura inicial de la salmuera (Temperatura del fluido al salir del pozo).
T _O	Temperatura de condensación.
V	Volumen.
V(t)	Voltaje respecto al tiempo.

$-V_{CC}$	Voltaje negativo de corriente continúa.
V_L	Voltaje en el inductor.
V_m	Amplitud de la senoide.
V_O	Voltaje de salida.
V_s	Voltaje de la fuente.
ω	Frecuencia angular.
W	Watts.
w/m^2	Watts por metro cuadrado.
W_2	La capacidad total de vapor.
W_b	Trabajo desarrollado por la bomba.
W_c	Trabajo desarrollado por la turbina.
W_N	Trabajo neto.
W_t	Argumento de la senoide.
W_t	Trabajo de la turbina.
ΔT	Diferencia de temperatura.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.-Los sistemas de generación

Como consumidores de energía eléctrica, somos conscientes de la gran importancia que tiene la energía eléctrica en nuestras vidas, para el ser humano este tipo de energía se ha convertido en algo vital. La gran importancia de esta energía radica en que tiene un amplio campo de uso como por ejemplo:

- a) En las fábricas: La industria utiliza aproximadamente la mitad de la energía eléctrica, una cuarta parte de su consumo de energía. La electricidad tiene muchos usos en las fábricas: se utiliza para mover motores, para obtener calor y frío, para procesos de tratamiento de superficies mediante electrólisis, etc. Una circunstancia reciente es que la industria no sólo es una gran consumidora de electricidad, sino que, gracias a la cogeneración, también empieza a ser productora.
- b) En el transporte: Tan sólo el transporte público (y dentro de él los ferrocarriles) emplea energía eléctrica. No obstante, se lleva ya tiempo trabajando en versiones eléctricas de los vehículos de gasolina, ya que supondrían una buena solución para los problemas de contaminación y ruido que genera el transporte en las ciudades. Incluso es posible (aunque no habitual) emplear la electricidad para hacer volar un avión.
- c) En la agricultura: Especialmente para los motores de riego, usados para elevar agua desde los acuíferos, y para otros usos mecánicos.
- d) En los hogares: La electricidad se utiliza en los hogares para usos térmicos (calefacción, aire acondicionado, agua caliente y cocina), en competencia con otros combustibles como el butano, el gasóleo, el carbón y el gas natural, siendo la única energía empleada para la iluminación y los electrodomésticos.
- e) En el comercio, la administración y los servicios públicos: De manera similar a como se utiliza en el sector doméstico, con el elemento añadido de un uso cada vez

mayor de sistemas de procesamiento de la información y de telecomunicaciones, que necesitan electricidad para funcionar.

Como ya lo sabemos la energía eléctrica es una de las energías más necesarias para la vida y desarrollo de la humanidad por lo tanto debemos crear conciencia en darle un uso adecuado, debido a la importancia en nuestras vidas cotidianas se han desarrollado una infinidad de investigaciones, proyectos en base a este tipo de energía.

1.2.-Objetivo

El objetivo de este trabajo de tesis es desarrollar el modelado y simulación de un sistema de generación de energía eléctrica a escala. También cabe mencionar la utilización de la plataforma de instrumentación virtual llamada labVIEW™ para generar las señales senoidales trifásicas y la etapa de rectificación trifásica esto para obtener un voltaje de corriente directa (CD). Posteriormente este voltaje se entrega físicamente a la estación de trabajo mediante la tarjeta NI-USB 6251 el cuál se eleva de magnitud mediante una etapa elevadora con ayuda de un convertidor del tipo Boost, para después aplicar el cambio de corriente directa a corriente alterna y así poder lograr el objetivo propuesto.

También cabe mencionar que la implementación de este trabajo llamado modelado y simulación de un sistema de generación de energía eléctrica a escala, es con la intención de asimilar, comprender y observar el funcionamiento de algún tipo de planta generadora de energía eléctrica.

1.3.-Justificación

Uno de los aspectos más importantes de este trabajo de tesis es que no se tiene a disposición la turbina eólica y derivado a esto la señal trifásica senoidal de alimentación. Con ayuda de la plataforma de instrumentación labVIEW™ se simulará la señal trifásica senoidal que en este caso prevendría de la turbina eólica para poder manipular el voltaje entregado.

La plataforma llamada LabVIEW™ es un laboratorio de instrumentación virtual que se puede utilizar como una herramienta de trabajo muy poderosa, a través de esta

plataforma se implementará la etapa de rectificación trifásica la cual consiste en hacer el cambio de corriente alterna a corriente directa con la intención de poder trabajar físicamente con el voltaje proporcionado a través de la tarjeta de adquisición de datos NI-6251.

1.4.-Metodología

La Figura 1.1 muestra el diagrama del sistema de generación de una turbina eólica del tipo Skystream el cual se describirá la metodología ordenada para cada etapa.

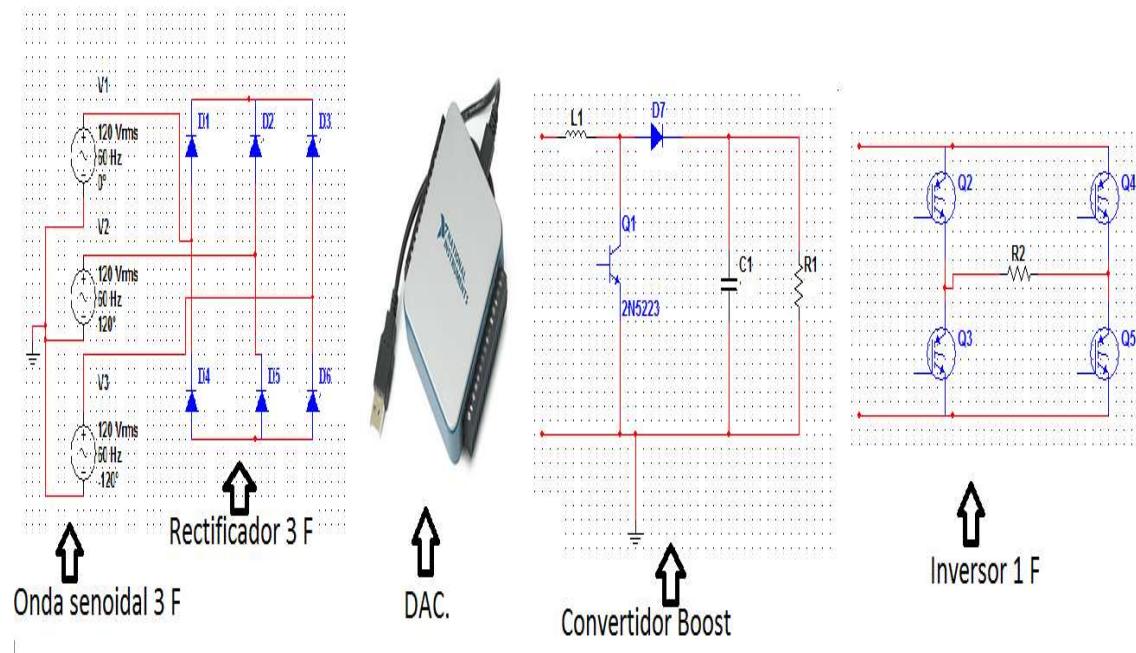


Figura 1. 1.- Diagrama de una turbina skystream

El sistema de generación cuenta de 5 etapas.

Etapas 1. Generación de la onda trifásica senoidal proveniente de la turbina skystream.

Etapas 2. Rectificación trifásica.

Etapas 3. La DAC

Etapas 4. Convertidor elevador de CD/CD del tipo Boost.

Etapa 5. El inversor monofásico de puente completo.

La primera y segunda etapa se desarrolla en LabVIEW™, las etapas 4 y 5 se implementa físicamente en la estación de trabajo NI-ELVIS 1.

1.5.-Contenido de la tesis

El presente trabajo de tesis se conforma por cinco capítulos, así como la bibliografía y apéndices que se utilizaron para el desarrollo de la misma.

Cada capítulo se describe de forma breve a continuación.

Capítulo 1 Introducción

En este capítulo se plantea el objetivo de este trabajo de investigación, la justificación, la metodología que es la manera en que se desarrollará esta tesis.

Capítulo 2. Antecedentes de los sistemas de generación.

En este capítulo se da información de algunos sistemas de generación que hoy en día en este país son la principal fuente de generación de energía eléctrica. Y algunas estadísticas y ubicaciones de las plantas principales con las que cuenta México.

Capítulo 3. Modelado del sistema de generación a escala.

Este capítulo muestra en un diagrama esquemático las diferentes etapas del sistema que se modelará, también describe su funcionamiento y aplicación de cada etapa.

Capítulo 4. Simulación y Experimentación del Sistema de Generación.

En este capítulo se muestran los resultados de las pruebas realizadas y casos de estudios planteados, utilizando la estación de trabajo NI ELVIS I, además se presentan los circuitos que fueron realizados en dicha estación y los diagramas de las etapas que se construyeron en labVIEW™.

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones.

En este capítulo se presentan las conclusiones que se obtuvieron después de haber realizado todas las pruebas físicas en la estación de trabajo NI ELVIS I y simulaciones en el software labVIEW™, por último se dan algunas recomendaciones para

complementar este tema de acuerdo a la práctica realizada, por si algún día en el futuro algún estudiante decide retomar este tema.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES DE SISTEMAS DE GENERACIÓN

2.1.- Energía

La forma de energía que el hombre ha encontrado más adecuada para satisfacer sus necesidades es la energía mecánica, sin embargo, la naturaleza nos suministra la energía en forma tal que la mayoría de los casos se requiere una serie de transformaciones antes de contar con la energía mecánica para realizar un trabajo, la energía mecánica se puede obtener por ejemplo a partir de la energía cinética del viento, de la energía potencial de un salto de agua, etc., sin embargo no es práctico tener una central de energía mecánica para de esta llevarla a los centros de consumo, esto además sería sumamente costoso, muy ineficiente. El problema anterior se ha resuelto mediante el uso de la energía eléctrica, ya que esta se puede transmitir y distribuir con menores costos y con menores pérdidas, de lo anterior se infiere en la necesidad de contar con centrales de energía, llamadas centrales o plantas eléctricas, que se pueden definir como el conjunto de instalaciones que partiendo de algún tipo de energía están destinadas a la producción de energía eléctrica.

La energía se puede clasificar en:

- a) Primaria, tal como se obtiene de la naturaleza, petróleo, carbón, etc.
- b) Secundaria, ya elaborada como electricidad, gasolina, etc.

2.2.- Reservas de energía

En esta sección se da información sobre los recursos energéticos que en forma muy general se tiene en México, es importante mencionar que algunos datos que aquí se dan pueden variar con el tiempo en virtud de que aun no están explorados en su totalidad sus recursos energéticos.

Por otro lado los recursos energéticos pueden ser:

- a) Renovables, como: Energía hidráulica, Energía eólica, solar, etc.
- b) No renovables, como: Carbón, petróleo, Uranio, etc.

La energía que se produce es mediante las siguientes plantas.

- a) Termoeléctricas.
- b) Hidroeléctricas.
- c) Nucleoeléctricas.

La capacidad instalada de la energía obtenida en México dada al 2014 se indica en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Capacidad Instalada en México.

Tipo de tecnología	Capacidad efectiva (MW)		Número de Centrales y de Unidades en 2014	
	2013	2014	Centrales	Unidades
Hidroeléctrica	11,266.8	12,268.8	80	218
Vapor (combustóleo y gas)	11,698.6	11,398.6	26	89*
Ciclo combinado	7,420.3	7,566.6	13	68
Carboeléctrica	5,378.4	5,378.4	3	15
Turbogás	1,510.4	2,303.4	46	110
Geotermoeléctrica	823.4	813.4	4	38
Combustión interna	259.2	302.4	9	78
Eoloeléctrica	86.8	86.3	3	8
Solar fotovoltaica	6.0	6.0	2	2
Nucleoeléctrica**	1,400.0	1,400.0	1	2
-	39,849.9	41,523.9	187	628

Cabe mencionar que sólo se describen las centrales más importantes esto debido al extenso número con las que se cuenta en México, las cuales se dan en las Tablas 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5

Tabla 2. 2 Plantas Termoeléctricas en operación en México

Nombre de la central	Número de unidades	Capacidad instalada(MW)	Ubicación.
Puerto libertad	4	632	Pitiquito ,Sonora
Gral. Manuel Álvarez Moreno.(Manzanillo I)	4	1200	Manzanillo, colima
Manzanillo II	2	700	Manzanillo, colima
Villa de Reyes	2	700	Villa de Reyes, San Luis potosí
Francisco Pérez Ríos (Tula)	5	1500	Tula, Hidalgo
Altamira	4	800	Altamira, Tamaulipas
Pdte. Adolfo López Mateo (Tuxpan)	6	2100	Tuxpan, Veracruz
Manuel Moreno Torres(Chicoasen)	8	2400	Chicoasen, Chiapas
Malpaso	6	1080	Tecpatan, Chiapas
Belisario Domínguez	5	900	Venustiano Carranza, Chiapas

Tabla 2. 3 Plantas Hidroeléctricas en operación en México

Nombre de la central	Número de unidades	Capacidad instalada(MW)	Ubicación.
Luis Donaldo Colosio	2	422	Choix, Sinaloa
Infiernillo	6	1000	La unión, Guerrero
Villita	4	280	Lázaro Cárdenas, Michoacán
Platanal	2	9	Jaconá, Michoacán
Tirio	3	1	Morelia, Michoacán
Agua milpa	3	960	Tepic, Nayarit
Carlos Ramírez Ulloa (El caracol)	3	600	Apaxtla, Guerrero
Fernando Hiriart Valderrama	2	292	Zimapán, Hidalgo
Mazatepec	4	220	Tlatlauquitepec, Puebla

Tabla 2. 4 Plantas de diesel en operación en México.

Nombre de la central	Número de unidades	Capacidad instalada(MW)	Ubicación.
Yecora	4	2	Yecora, Sonora
Guerrero Negro	4	4	Mulegé, Baja California
Santa Rosalía	8	11	Santa Rosalía, Baja California
Gral. Agustín Olachea	3	104	Comundo, Baja California Sur
Guerrero Negro II	3	11	Mulegé, Baja California Sur

Tabla 2. 5 Centrales Geotermoelectricas en México.

Nombre de la central	Número de unidades	Capacidad instalada(MW)	Ubicación.
Cerro prieto I	5	180	Mexicali, Baja California
Cerro prieto II	2	220	Mexicali, Baja California
Cerro prieto III	2	220	Mexicali, Baja California
Cerro prieto IV	4	100	Mexicali, Baja California
Tres Vírgenes	2	10	Mulege, Baja California sur
Los Azufres	15	195	CD. Hidalgo, Michoacán

2.3.- Clasificación de las plantas eléctricas

Tomando en cuenta la energía primaria como punto de partida para transformarla finalmente en energía eléctrica, las plantas se clasifican en:

- a) Termoeléctricas.
 - -De vapor
 - -De turbina de gas
 - -Geotérmicas
 - -Motores de combustión interna
 - -Nucleoeléctricas
- b) Hidroeléctricas

c) Eólicas

Además, existen otras alternativas que en el futuro pueden tener mucha importancia, algunas de ellas se espera desarrollarlas a escala industrial, dentro de estas futuras alternativas están:

d) Plantas solares

e) Mareomotrices

f) Nucleares de fusión

2.4.- Plantas termoeléctricas

Se les denomina así a la central eléctrica en la cuál se utiliza generalmente un combustible como fuente de calor para transformar este calor a energía mecánica y finalmente éste a energía eléctrica. La Figura 2.1 ilustra el equipo principal de este tipo de plantas.

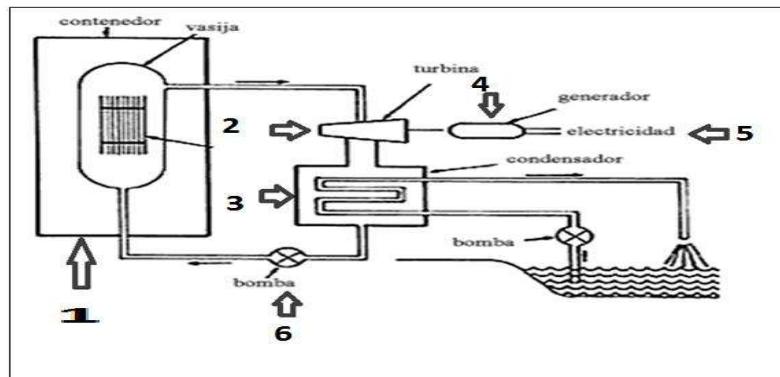


Figura 2. 1 Diagrama Elemental de una central Termoeléctrica.

1.-Generador de vapor

2.-Turbina de vapor

3.-Condensador

4.-Generador eléctrico

5.- Cargas eléctricas.

6.-Bomba

En este tipo de plantas se utiliza la energía calorífica producida al quemar un combustible comercial como petróleo, carbón, combustóleo, etc. Este calor lo absorbe el agua del generador de vapor, la cual se transforma en vapor, este vapor se envía a la turbina en la cual se transforma la energía térmica del vapor en energía mecánica

produciendo un movimiento giratorio en la flecha la cual está acoplada al rotor del generador, llegando la energía mecánica a este, el cual mediante esta energía y un campo magnético transforma finalmente esta energía a electricidad, misma que se lleva a los centros de consumo.

Uno de los ciclos que rigen las centrales termoeléctricas es el ciclo Rankine en el cuál la planta de generación de vapor ideal que aparece en la Figura 2.2 se puede analizar por este ciclo, cuyos diagramas presión volumen y temperatura entropía aparecen en la Figura 2.3

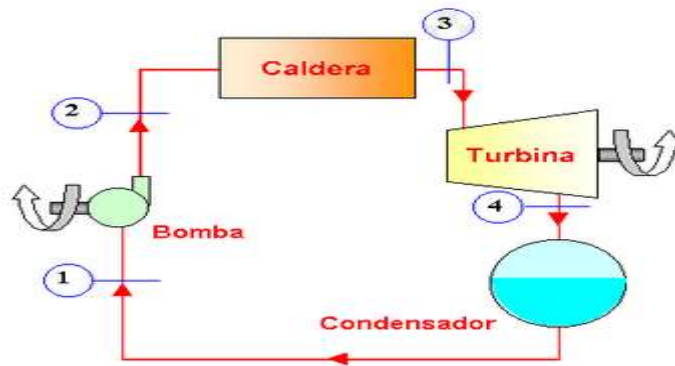


Figura 2. 2 Esquema general de una planta de Generación de Vapor Elemental

El vapor saturado descargado por la caldera a una presión p_1 es suministrado a la turbina, en donde se expande isoentrópicamente hasta la presión p_2 . En el condensador se transforma el vapor húmedo isobárica a isotrópicamente, en líquido saturado mediante la remoción de calor. Puesto que la presión $p_2=p_3$ es mucho menor que la presión del vapor en la caldera $p_4=p_1$, un líquido saturado mediante la remoción de calor. Se bombea isotrópicamente hasta alcanzar la presión p_4 .

El líquido comprimido es suministrado a la caldera, en donde se calienta primero hasta su temperatura de saturación correspondiente a la presión p_1 , y luego se evapora hasta transformarse finalmente en vapor saturado seco para terminar el ciclo.

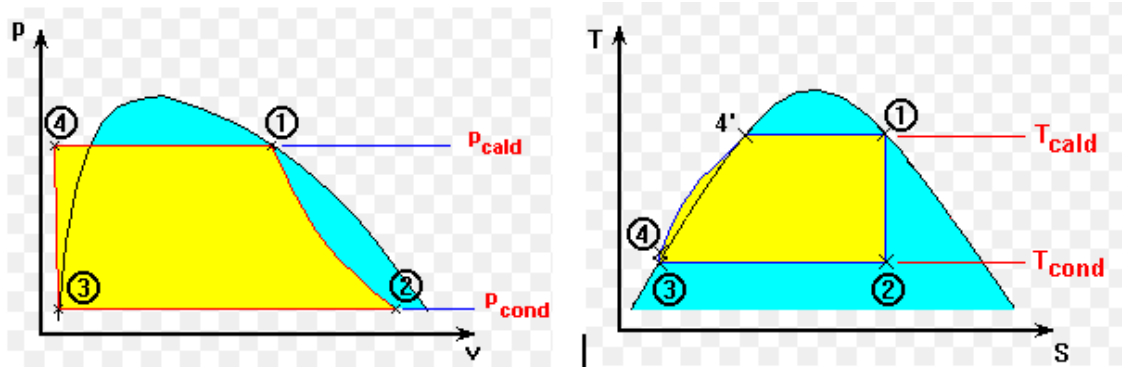


Figura 2. 3 Diagrama P-V y T-S del Ciclo Rankine

La eficiencia del ciclo Rankine ideal, puede obtenerse de la definición original de eficiencia.

$$E = \frac{\text{Trabajo neto o útil}}{\text{Trabajo o energía entregado al sistema}}$$

El trabajo desarrollado por la turbina, despreciando diferencias de energía cinética y potenciales:

$$W_c = (h_1 - h_2)(\text{unidad de masa})$$

El trabajo que requiere la bomba es:

$$W_b = h_4 - h_3$$

El trabajo neto es:

$$W_N = W_t - W_b$$

Por otro lado, la energía por unidad de masa que toma el agua en la caldera es:

$$Q = h_1 - h_4$$

Entonces la eficiencia será:

$$e = \frac{W_N}{Q} = \frac{W_t - W_b}{Q} \quad (2.1)$$

$$e = \frac{(h_1-h_2)-(h_4-h_3)}{(h_1-h_4)} \quad (2.2)$$

La diferencia de entalpía en el proceso isentrópico 3-4 (Bomba) puede calcularse mediante la expresión:

$$Wb = h_4 - h_3 \int_3^4 v dP = v_3(P_4 - P_3)$$

$$Wb = v_3(P_4 - P_3) \quad (2.3)$$

Esto es considerando incomprensible al líquido.

El trabajo requerido por la bomba es generalmente muy pequeño comparado con el trabajo desarrollado por la turbina.

$$Wt \ll Wb$$

De manera que la expresión (2.2) generalmente se simplifica así:

$$e = \frac{h_1-h_2}{h_1-h_4} \quad (2.4)$$

La eficiencia térmica del ciclo puede aumentarse si se incrementa la entalpía del vapor suministrado a la turbina. Dicha entalpía puede incrementarse aumentando la temperatura del vapor en la caldera, este calentamiento se logra mediante un calentador, el cual permite aumentar isobáricamente la entalpía del vapor.

2.5.- Plantas eléctricas con turbinas de gas

El conocimiento de las turbinas de gas data desde la antigüedad, cuando Eros de Alejandría construyó una turbina de gas rústica.

Fue hasta 1791 cuando el inglés John Barbe inventó una turbina de gas que ya incluía: un compresor, cámara de combustión, turbina de impulso y un mecanismo para inyectar agua para evitar explosiones y temperaturas excesivas en los álabes. Este arreglo funcionaba muy deficiente.

La primera auténtica turbina de gas fue diseñada por el Dr. Stole en 1872. El sistema consistía de un compresor de varias etapas acopladas directamente a una turbina de reacción agregándole calor en una cámara de combustión. El gas o aire caliente era entonces usado para girar el rotor de la turbina. El inconveniente de este sistema fue

que el aire no se calentaba lo suficiente y casi toda la potencia se empleaba en mover el compresor resultando una eficiencia muy baja. En 1904, Armengaud y Lemale, dos franceses, convierten una turbina de vapor de 25 hp a una turbina de gas. Un compresor separado fue usado para comprimir el aire que pasaba por una cámara de combustión para luego fluir hacia las toberas de la turbina, la cámara de combustión fue enfriada con tubos de agua instalados a su alrededor y el vapor generado en esos tubos se mezclaba con el aire caliente en la tobera. Esa turbina opera satisfactoriamente y generó 400 hp contra los 25 hp de la turbina original. A finales del siglo XX, la mayoría de los investigadores dejaron de trabajar en la turbina de gas considerando que nunca sería de aplicación práctica. Sin embargo, Stodola y Adolph Meyer, ingenieros de la compañía Brown Boveri en Suiza continuaron sus investigaciones hasta lograr resultados satisfactorios cercanos a los que se tienen actualmente. Así, esta compañía en los años de 1936 a 1939 fabricó 23 grupos de turbogeneradores con turbinas de gas con potencias que varían entre 300 y 400 kw. En 1946 se fabricaron las turbinas para la planta de Benzau con capacidad la primera de 13 000 kw. Y 27 000 kw la segunda.

Dos fueron los factores que contribuyen al desarrollo de las turbinas de gas:

- La aplicación de turbina de gas a la propulsión de aviones durante la segunda guerra mundial, sólo Alemania construyó del tipo Junkers Jumo, 6000 turbo-jets hasta abril de 1945.
- El desarrollo del compresor axial de pasos múltiples.

En conclusión se puede decir, que en la actualidad los grandes adelantos alcanzados, en el diseño de turbinas, compresores, la aplicación de aleaciones resistentes a altas temperaturas y el uso de ciclos termodinámicos de trabajo más eficiente, han hecho de la turbina un competidor de los primo-motores. Una planta con turbina de gas es aquella que aprovecha la energía del gas caliente (generalmente aire), para mover una turbina llamada de gas, que a su vez esta acoplada al generador eléctrico.

2.5.1 Componentes principales

Los componentes principales de una planta con turbina de gas son:

-Compresor - Cámara de combustión -Turbina -Generador

La Figura 2.4 se queda un pequeño esquema de este tipo de plantas.

PRINCIPALES ELEMENTOS DE TURBINAS DE GAS

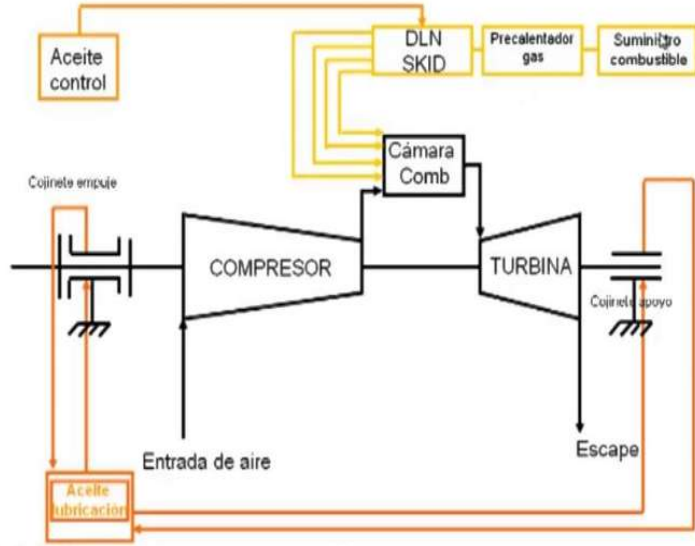


Figura 2. 4 Diagrama esquemático de una central de turbina de gas.

Descripción: El compresor, comprime un gas, generalmente aire el cual se lleva a la cámara de combustión en donde se quema un combustible, aumentando así la energía del gas. Llevándose a la turbina con una alta presión y una alta temperatura, en esta la energía de los gases se transforma en mecánica moviendo a los alavés del rotor del generador eléctrico para producir finalmente electricidad. En México actualmente existen algunas plantas de este tipo, de pequeñas capacidades, generando aproximadamente un 2 % de la energía total.

2.5.2 Ciclo termodinámico

La turbina de gas para producir energía mecánica aprovecha el calor que lleva consigo los gases de combustión o aire, los cuales se calentaron al quemarse un combustible, y se expansionan de forma parecida al vapor en la turbinas de vapor, sobre los alabes móviles de un rodete. El ciclo termodinámico que se sigue es denominado Brayton.

En la Figura 2.5 se representa esquemáticamente una planta con turbina de gas con un ciclo simple y en la Figura 2.6 su ciclo de funcionamiento en el diagrama entrópico.

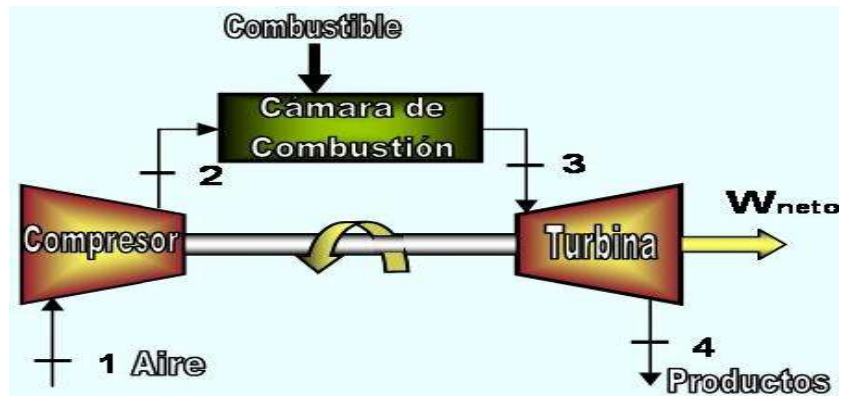


Figura 2. 5 Representación esquemática de una turbina de gas de ciclo abierto simple.

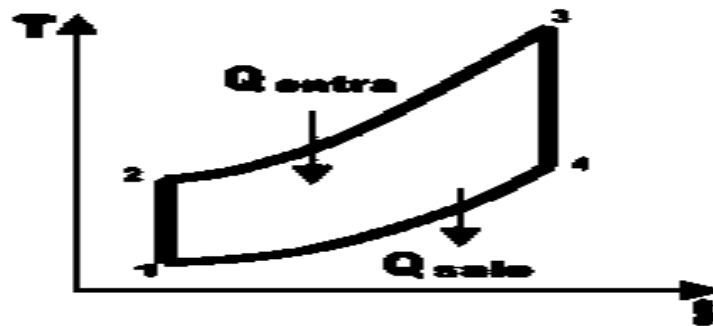


Figura 2. 6 Diagrama T-S del ciclo Brayton.

El aire que entra en el compresor a la presión atmosférica es comprimido adiabáticamente desde el punto 1 al punto 2 del diagrama. En el punto 2 comienza la combustión, que tiene lugar a presión constante desde el punto 2 al punto 3 con introducción a una cierta cantidad de calor Q_1 que produce un aumento en el volumen del fluido, esto se realiza en la cámara de combustión, donde se quema un combustible. En el punto 3 inicia una expansión adiabática terminándose en 4, este proceso se realiza en la turbina. En el punto 4 los gases se descargan al exterior o bien, eventualmente refrigerados a presión constante según la línea 4-1, vuelven al estado inicial para iniciar el ciclo, por lo tanto en este diagrama se tiene:

Compresión isoentropica 1-2

Calor introducido Q_1 en forma isobárica 2-3

Trabajo de expansión en la turbina 3-4

Calor rechazado Q2 a presión constante 4-1

2.5.3 Rendimiento Térmico del ciclo simple Brayton

Por definición, se tiene:

$$e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Considerando que:

$$Q = \dot{m} p * \Delta T$$

Donde

Q-----Calor.

$\dot{m}$ -----Flujo del gas.

ΔT -----Diferencia de temperatura.

Se tendrá entonces:

$$e = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{T_3 - T_2}$$

También:

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

La eficiencia a través de temperatura es:

$$e = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

2.5.4 Combustibles usados en las turbinas de gas

Las turbinas de gas admiten toda clase de combustibles; la única condición que hay que tener es que la cantidad de cenizas insolubles no exceda cierto límite. Algunos de los combustibles más usados son:

Gas natural.- Es de los combustibles más adaptados a la turbina de gas.

Petróleo crudo.-En la mayoría de los casos, constituye un combustible muy favorable, sin embargo como su composición varía según el lugar de extracción, en cada caso hay que determinar las posibilidades de uso por medio de un análisis más adecuado.

Aceite pesado.-Como la cantidad de polvo de este combustible es, en general, muy elevada, hay que instalar un filtro particularmente eficaz.

En la turbina de gas hay que procurar siempre una buena combustión y, por lo tanto, una buena pulverización del combustible.

2.5.5 Ventajas y aplicaciones de la turbina de gas

Algunas de las ventajas de las turbinas de gas, especialmente respecto a las turbinas de vapor se encuentran a continuación.

- a).-Instalación más compacta y por lo tanto, menos voluminosa.
- b).-Se necesitan pocos dispositivos auxiliares.
- c).- No necesita agua y por lo tanto condensador, esto es importante porque en los lugares donde es escasa el agua es imposible la instalación de centrales de vapor. En estos casos la turbina de gas puede ser la solución.
- d).-Pueden funcionar con una amplia variedad de combustibles.
- e).-Cuando se utiliza como generador de energía de reserva, su capacidad de producción es casi inmediata, desde que se pone en marcha puede entregar su máxima potencia, transcurre solo un tiempo de unos dos minutos.
- f).- Requieren de una ubicación más simple.

2.5.6 Algunas desventajas de las turbinas de gas

- a) .- Gran consumo específico de combustible.
- b) .- Debido a las altas temperaturas desarrolladas, necesitan estar constituidas de materiales especiales (aceros resistentes a altas temperaturas, contruidos por aleaciones de níquel, cromo, cobalto). Esto además de implicar un elevado costo, dificulta el diseño de turbinas de gran potencia.

Además de las ventajas citadas anteriormente, las turbinas de gas pueden adaptarse en su funcionamiento, a una gran variedad de combinaciones esto solamente pensando en la generación de energía eléctrica como objetivo principal, independientemente de otras aplicaciones mas vinculadas a la ingeniería mecánica; por lo tanto algunas de las aplicaciones más importantes se describen a continuación:

- a) .- Centrales autónomas con turbinas de gas.
- b) .-Ciclos combinados, empleando turbinas de gas y de vapor, para la producción de energía eléctrica.
- c) .- Empleo de la turbina de gas para la producción conjunta de energía eléctrica y calefacción.
- d) .-Empleo de la turbina de gas para la producción combinada de energía eléctrica y de aire a presión para altos hornos.
- e) .- Empleo de la turbina de gas en las centrales nucleares.

2.6.- Plantas geotermoeléctricas

Las plantas geotermoelectricas son aquellas que utilizan vapor natural, esto del subsuelo, para alimentar a la turbina de vapor que accionan al generador eléctrico.

Las manifestaciones exteriores de la energía geotérmica como manantiales, géiser, fumarolas, lodos de ebullición, etc., han despertado curiosidad, admiración y a veces terror entre la gente. Muchos manantiales termales has sido utilizados en forma de balnearios a través de los siglos a muchos de ellos se les han reconocido propiedades terapéuticas debido a los compuestos químicos que llevan consigo, otra forma de aprovechamiento primitivo es la cocción de alimentos.

En 1905 comenzó por primera vez a aprovecharse la energía del vapor natural en un motor de embolo de 35 hp el que accionaba un generador eléctrico para dar

iluminación a una fabrica, fue hasta el año de 1914 cuando se instalaron los primeros generadores de importancia (2750 kw). La primera guerra mundial freno el desarrollo de estas plantas, sin embargo, en 1919 se inauguraron unidades con una capacidad de 17.5 MW, a partir de esa fecha el crecimiento fue acelerado, hasta que en 1939 fueron suspendidas las actividades por motivo de la segunda guerra mundial, en esta ocasión los daños fueron catastróficos ya que las instalaciones fueron destruidas por completo.

Por esos mismos años, en San Francisco California, E.U. se realizaron algunas perforaciones en busca de vapor, después de la segunda guerra mundial, continuo Italia con sus expertos, comenzando en 1945 a funcionar una planta de 15 KW, en 1946 empezó a operar un grupo de 57 500 KW. A raíz de la recuperación italiana otros países iniciaron investigaciones al respecto, entre ellos México donde en 1955 se fundó la Comisión de energía geotérmica.

2.6.1 Origen de la energía geotérmica

Etimológicamente, geotermia se refiere al calor existente en el interior de la tierra, el origen de esta energía que da lugar a los reservorios geotérmicos se atribuye al decaimiento natural que se va produciendo en los elementos radioactivos principalmente el uranio, torio, y plutonio, los cuales se encuentran en el seno de la tierra, la cantidad de calor que se encuentra almacenada en el interior de la tierra es mucho mas grande. Se calcula que solo bajo la superficie de Estados Unidos de Norteamérica y hasta una profundidad de 10 km existe una energía calorífica o equivalente a 3.3×10^{25} joule si esta pudiera aprovecharse totalmente sería suficiente para satisfacer el consumo de energía de este país durante cien mil años, sin embargo la disponibilidad natural de esta energía es muy pequeña; en promedio sólo se dispondría aproximadamente de 0.007 w/m^2 , esto significa que si toda esta energía geotérmica se usara para producir electricidad mediante un sistema cuya eficiencia fuera del 20 %, se necesitará un terreno del orden de 28 hectáreas para alimentar una casa cuyo sistema eléctrico fuera de 4000 Watts.

Así, para que pueda usarse la energía geotérmica debe existir en la naturaleza alguna situación especial que permita concentrarla en una área pequeña. Esta situación especial se presenta en los yacimientos subterráneos de vapor o de agua caliente que pueda canalizarse hacia la superficie mediante un pozo.

Un sistema geotérmico consiste en una fuente de calor, un fluido caliente donde se almacena y circula el fluido ver Figura 2.7. La fuente de calor es un magma cuyo

ascenso hacia la superficie está estacionado a una profundidad entre 6 y 7 Km. A tal profundidad (Base permeable), su temperatura es de aproximadamente 600 grados centígrados el calor se transmite por conducción hasta la roca de base permeable que lo rodea, elevando su temperatura hasta unos 400 grados centígrados. Al encontrar un bloque de rocas permeables el agua fría que desciende de la superficie a 10 grados es calentado entonces por las rocas impermeables hasta temperaturas superiores a 200 grados centígrados, después de esto asciende con pérdidas mismas de calor, aproximadamente a entalpía constante, en la parte interior el agua se encuentra en estado líquido y sometida a altas presiones, a medida que asciende disminuye la presión, de tal forma que en un punto dado se pueden dar las condiciones para que inicie la ebullición, saliendo a la superficie en forma de vapor de agua, manifestándose como fumarola. Como se observa el sistema geotérmico requiere de una capa superior de rocas impermeables o de permeabilidad menor, denominada capa sello.

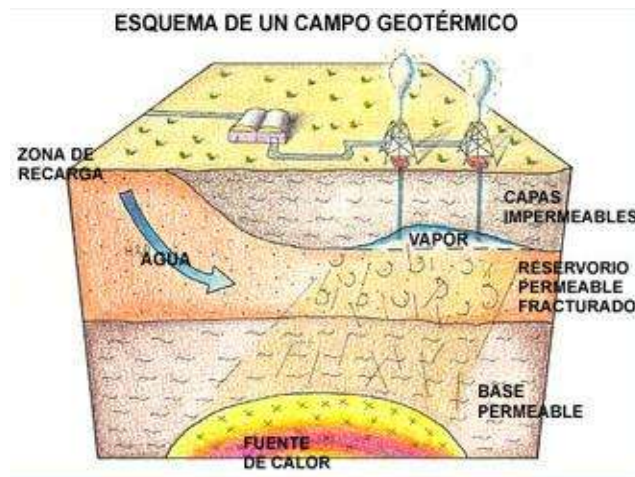


Figura 2. 7 Reservorio geotérmico.

2.6.2 Aprovechamiento de la energía geotérmica

Muchos países entre ellos México, utilizan la energía geotérmica para la generación de electricidad mediante centrales geotérmicas. Sin embargo, las repercusiones de la geotermia en el consumo energético son pocos significativas a nivel mundial, por lo que esta energía no puede considerarse significativa al consumo del petróleo, si no como un complemento, aunque en algunos países la electricidad de origen geotérmico puede llegar a ser muy importante, es el caso por ejemplo en El Salvador, cuya producción geotérmica representa alrededor de 30% de su producción total y Nicaragua cuyo

potencial geotérmico, estimado en 1000MW, podría satisfacer la mayor parte de la demanda de energía eléctrica.

Aún considerando a la geotermia como una fuente de energía complementaria a los combustibles, ocupa un lugar cada vez mas importante, así lo demuestra el constante incremento en la capacidad mundial instalada mundial de plantas geotérmicas que casi se triplicó en sólo 6 años.

México ocupa el tercer lugar mundial con la mayor capacidad instalada en el campo de Cerro Prieto, Baja california y el resto en el campo de Los Azufres, Michoacán, la Tabla 2.5 muestra dicha posición.

Tabla 2. 6 Capacidad instalada geotérmica Junio del 2007.

País	Capacidad (MW)
Estados Unidos	2,851
Filipinas	1,980
México	958
Indonesia	797
Italia	790
Japón	535
Nueva Zelanda	450
Islandia	202
Costa Rica	163
El Salvador	151
Kenya	127
Nicaragua	87
Rusia	79
Guatemala	33
China	28
Turquía	20
Portugal (Islas Azores)	17
Francia (Isla Guadalupe)	15
Otros	20
Total	9,303

Actualmente existen 5 campos geotérmicos, que se indica en la Figura 2.8 en los que la perforación exploratoria y de producción ha aprobado la presencia de fluidos aprovechables para la generación de energía eléctrica, tales centros geotérmicos son:

- Cerro Prieto
- Azufres
- Los Humeros
- La primavera
- Tres vírgenes

En los 21 estados completamente evaluados se han identificado, clasificado y analizado más de 1400 manifestaciones termales, de los cuales 738 son manantiales de agua caliente; 632 pozos de agua termal; fumarolas y 14 volcanes de lodo o hervideros, se estima que los focos termales reconocidos descritos, se han hecho estudios de geología, geofísica y geoquímica de detalle en 27 zonas geotérmicas.



Figura 2.8 Localización de los pozos geotérmicos en el país

Localización de los 5 pozos geotérmicos perforados hasta Junio del 2007. El sistema mostrado en la Figura 2.9, es un arreglo típico “multiflasheo” en el cual hay un separador que alimenta el vapor a cada turbina.

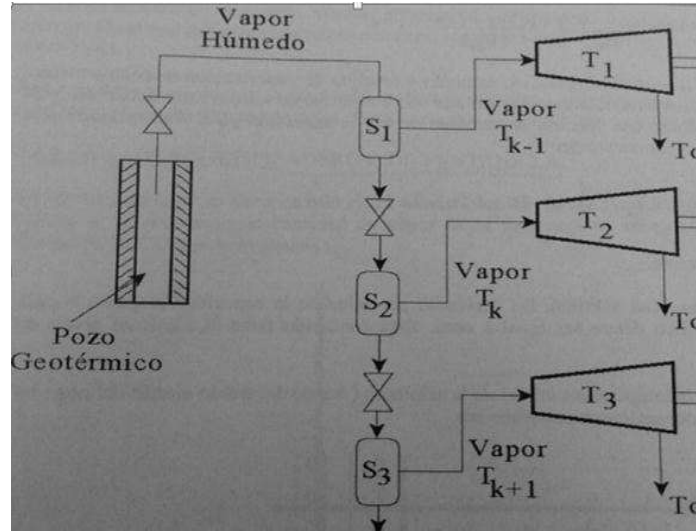


Figura 2. 9 Sistema geotérmico “Multiflasheo”.

La capacidad total puede ser expresada como:

$$W2 = \sum_{k=1}^n Ms, k Hls, knk \quad (2.5)$$

Donde

Ms, k = Masa producida de vapor en las k etapas de flasheo.

Hls, k = Caída de entalpia isoentropica, entra las condiciones de flasheo y el condensador.

nk = Eficiencia isoentrópica.

Si se considera en calor específico constante durante el proceso de expansión, la capacidad específica puede ser aproximadamente la siguiente:

$$nk Hls, k = Cp (Tk - To) \quad (2.6)$$

La cantidad de vapor liberada en el flasheo k es obtenida de la expresión:

$$Mk, k = \frac{(hk-1-hk)}{Hfg, k} = \frac{(Tk-1-Tk)}{Hfg, k} \quad (2.7)$$

Donde h y Hfg es la entalpía del líquido saturado y entalpía de vaporización, respectivamente. Ya que Hfg permanece esencialmente constante sobre el rango de temperatura de interés, Msk puede suponerse como una función únicamente de h y la expresión para la capacidad de la turbina queda de la manera siguiente:

$$W = C \sum_{k=1}^n (Tk - 1 - Tk)(Tk - To) \quad (2.8)$$

Donde C es la constante.

Para tener una capacidad máxima, las derivadas parciales de la capacidad respecto a cada temperatura de flasheo deben ser igual a cero.

Los intervalos de temperatura entre las sucesivas etapas de flasheo deben ser iguales. Claramente se observan incrementos más pequeños a medida que aumenta el número de etapas, por lo que claramente no se justifica un número alto de etapas.

Un inconveniente de este ciclo, cuando el contenido de gases no condensables es alto, es la gran potencia que requieren inyectores o compresores para la eliminación en el condensador de estos gases. Para resolver este problema se han desarrollado sistemas que modifican el ciclo original de flasheo.

2.7.- Plantas diesel o de gasolina

Este tipo de plantas es simplemente un moto-generador donde el motor puede ser diesel o gasolina, siendo lógicamente la máquina prima del generador eléctrico. En México existen muchas plantas de este tipo, especialmente de pequeña potencia, las cuales en muchos casos son plantas de emergencia.

2.8.- Plantas nucleoelectricas

Estas plantas tienen el arreglo básico que se muestra en la Figura 2.10

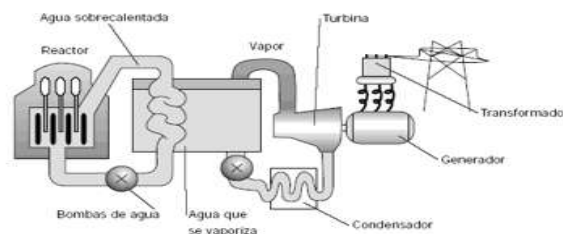


Figura 2. 10 Diagrama elemental de una Planta nucleoelectrica.

- Reactor nuclear
- Turbina de vapor
- Condensador
- Bomba
- Generador eléctrico

Como puede observarse en el esquema anterior. Estas plantas se asemejan mucho a las convencionales, con la diferencia importante, de que en vez de vapor, constan de un reactor nuclear, el cual consume un combustible nuclear (uranio por ejemplo) y mediante una reacción nuclear, fisión, se producen grandes cantidades de calor, el cual es absorbido por un fluido, puede ser agua, convirtiéndose esta en vapor, con el cual se alimenta la turbina. El resto del proceso es similar a lo que ocurre en la planta convencional.

2.8.1 ¿Qué es la energía nucleoelectrica?

Es un término genérico referido a la energía que se produce en las centrales nucleares por el proceso de transformación de la energía nuclear en energía eléctrica.

2.8.2 Energía Nucleoelectrica

El funcionamiento de las centrales nucleoelectricas es muy semejante al de las térmicas convencionales. La diferencia está en la manera en la que se produce el vapor para accionar los turbogeneradores y producir electricidad. En el caso de las centrales térmicas convencionales se usan combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural y diesel) y las nucleares producen vapor aprovechando el calor que se obtiene al fisiónar con neutrones a los núcleos de los isótopos de $^{92}\text{U}235$ y $^{94}\text{Pu}239$.

En las centrales nucleares, la energía extraída del combustible (reacción nuclear) por el refrigerante se emplea para producir vapor a alta temperatura y presión.

Ese vapor se inyecta a una turbina a alta presión y temperatura, moviendo los álabes o aspas de ésta.

El eje de la turbina está conectado a un generador de corriente, transformando la energía mecánica en energía eléctrica.

El vapor de baja presión (y temperatura) que sale de la turbina se condensa al pasar por un circuito de refrigeración y se bombea al reactor para ser utilizada nuevamente en un circuito cerrado.

2.8.3 Centrales Nucleares en México

En México, a pesar del tamaño del país, existen solamente dos centrales nucleares operativas usadas para producir electricidad, Estas dos centrales son llamada Central Nuclear Laguna Verde y Central Nuclear Laguna Verde II. Los dos reactores Laguna Verde I y II tienen ambos la misma potencia de salida, 682,5MW, aunque fueron inauguradas en 1989 y 1995 respectivamente. El primero reactor comenzó a operar en el año 1990 luego de que tanto la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas como la Secretaría de Energía otorgaran los permisos correspondientes. Este proceso se repitió en el año 1995 cuando entró en operación el segundo reactor.

Actualmente, la Central de Laguna Verde es propiedad del gobierno mexicano y de su administración se encarga la Comisión Federal de Electricidad del país. También es supervisada por organismos internos y externos para asegurar de que sea operada en forma totalmente segura y que cumpla con las regulaciones. Actualmente, se pretende aumentar la potencia de cada unidad a 817MW.

2.8.4 Ubicación geográfica

La central nuclear se encuentra ubicada sobre la costa del Golfo de México en el km 42.5 de la carretera federal Cardel-Nautla, en la localidad denominada Punta Limón municipio de Alto Lucero de Gutiérrez Barrios, estado de Veracruz cuenta con un superficie de 370 H; geográficamente situada a 60.8 km al noreste de la ciudad de Xalapa, 72 km al noroeste de la Ciudad de Veracruz y a 272 km al noreste de la Ciudad de México. El centro urbano más cercano a la Central, vía terrestre, es José Cardel (45 km).

2.9.- Plantas hidroeléctricas

El funcionamiento de una central Hidroeléctrica, consiste en:

La presa retiene el agua del río provocando un embalsamiento y un aumento del nivel del agua. A pie de presa está la sala de máquinas con los grupos turboalternadores. El agua llega a las turbinas a través de un conducto forzado alimentado desde el embalse por las presas de agua, equipadas con compuertas y enrejados. La energía potencial del agua embalsada se convierte en energía cinética al abrir las compuertas del conducto y se comunica al rodillo de la turbina, que se pone a girar, y el agua sale de nuevo al río por los canales de desagüe. Solidario al eje de la turbina, está el rotor del alternador y un generador de corriente continua que genera un campo magnético en las bobinas del rotor, con lo cual se produce en el bobinado del estator una corriente alterna de tensión mediana y elevada intensidad. Con los transformadores se eleva la tensión y a través del parque de distribución o directamente se alimentan las líneas de la red de transporte.

2.9.1 Ciclo hidrológico

La energía del agua que corre por la superficie ha sido utilizada desde hace mucho tiempo. El principio en que se basa esta aplicación consiste en tomar el agua como fluido capaz de almacenar energía. En este ciclo el sol tiene una parte activa importante. En efecto el sol que calienta la superficie de la tierra da lugar a la evaporación y la formación de inmensas nubes de vapor de agua en la atmosfera, haciendo ganar al agua una energía potencial, con la lluvia esta energía se transforma en cinética, la mayor parte no aprovechable, pero parte del agua de lluvia cae en las montañas y en lugares elevados de la superficie terrestres, y corre formando arroyos y ríos cuya energía se puede aprovechar. La forma usual de aprovechamiento es la de convertir primero la energía dinámica del agua en energía de presión o carga estática, ya sea captando el agua en una tobera de presión o bien reteniendo la corriente por medio de una cortina en el cauce del río.

En el primer caso, para captar el agua sólo hace falta crear un pequeño remanso y colocar una rejilla a la entrada de la tobera. El agua desciende de la montaña en ducto cerrado y va aumentando su energía de presión a medida que se reduce la cota de posición. Al final de la tubería de presión se coloca una tobera que convierte la energía de presión en energía cinética en un chorro libre, el cual ataca tangencialmente

a los alabes de una rueda haciéndola girar. Esta es una rueda de impulso o rueda peltón que permite aprovechar la energía del agua en la forma de energía dinámica. La turbina peltón mueve un generador de electricidad.

En otros casos, cuando el agua es detenida por una cortina, se origina un embalse en el propio cauce del río, cuya cola puede llegar a varias decenas de kilómetros y con capacidad de algunos miles de millones de metros cúbicos. Entre el nivel del agua en el embalse y el del río aguas debajo de la presa se crea una altura de salto que permite establecer un ducto de descargar en el que se puede instalar una turbina de las de tipo de reacción que puede aprovechar la energía de presión del agua y también, en parte, la energía de velocidad. Según la altura del salto y el caudal disponible, la turbina puede ser de diferentes tipos, por ejemplo, FRANCIS (carga y caudales medios), KAPLAN (carga pequeña y caudales medios). Estas turbinas hidráulicas mueven también generadores eléctricos.

2.9.2 Arreglo general de una central hidroeléctrica

En general una central Hidroeléctrica está constituida por los siguientes elementos:

- Obra de almacenamiento (Presa)
- Canal de derivación.
- Vaso o toma de carga.
- Conducto forzado.
- Central o planta de producción.
- Canal de descarga.

En la Figura 2.11 y 2.12 se describen los elementos para las centrales hidroeléctricas de alta y baja caída respectivamente.

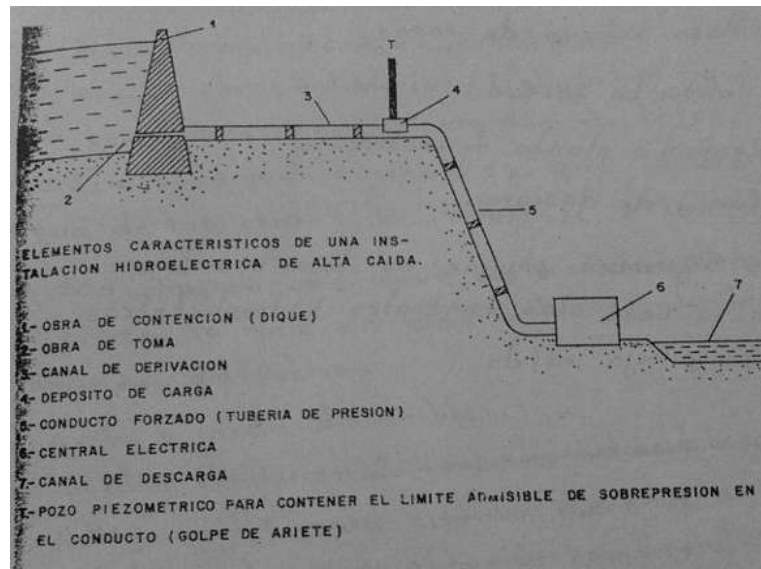


Figura 2. 11 Elementos característicos de una instalación hidroeléctrica de alta caída.

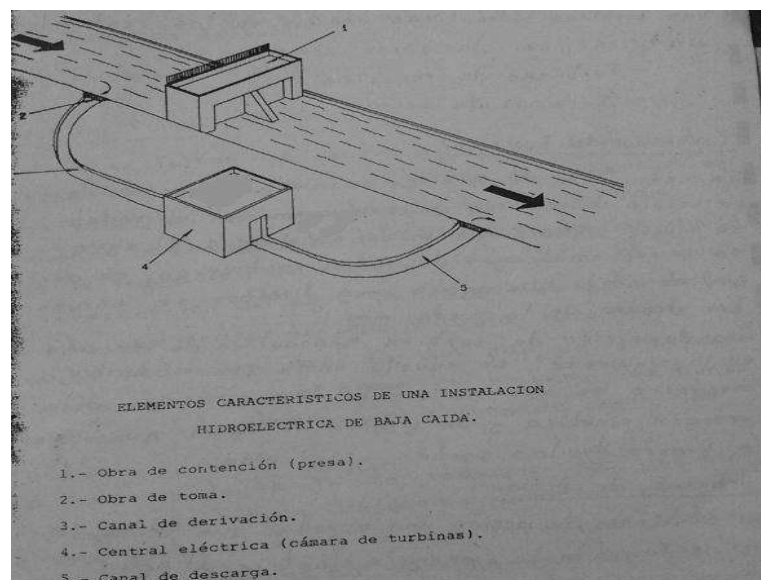


Figura 2. 12 Elementos característicos de una instalación hidroeléctrica de baja caída.

2.9.3 Potencial eléctrico

Para determinar la potencia y la energía que se puede obtener de una central hidroeléctrica, se debe considerar los valores de la altura útil y de la capacidad que corresponde a la solución más económica dado que la altura y la capacidad son factores de la potencia.

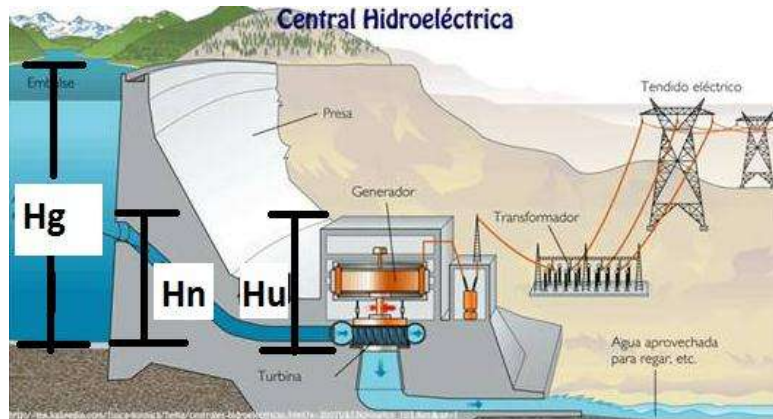


Figura 2. 13 Diagrama de una Central Hidroeléctrica.

Con relación a la figura 2.13 se definen las siguientes cantidades.

H_g ---- Salto o caída natural (Altura natural). Es la diferencia total o desnivel entre la superficie del agua en la obra de presa y la superficie del agua en descarga de la turbina.

H_u ---- Salto o altura útil. Es la diferencia o desnivel que existe en el agua al inicio del conducto forzado y el que existe a la salida de la turbina.

H_n ----Salto o altura neta. Es la diferencia entre el salto o altura útil y todas las pérdidas de carga que se presentan en los conductos del agua y en la maquinaria hidráulica.

Flujo específico de un curso de agua. Es la capacidad en litros por segundo.

Capacidad media anual. Es el número de litros por segundo en un año, su valor se refiere a un decenio, por lo general.

Para calcular la potencia eléctrica de una central hidroeléctrica, se tiene.

$$P_e = 9.81 * Q * H_g \quad (\text{Kw})$$

Donde:

$$Q = \text{Gasto en } m^3/\text{seg}$$

H_g = Salto natural en metros. Designando a η como el rendimiento global de la instalación hidráulica (canal, conducto forzado y turbina), la potencia efectiva, es decir, la que desarrolla el elemento motriz es:

$$P = \eta * 9.81 \quad (\text{Kw})$$

Para cálculos prácticos $\eta = 0.85$

$$P = (0.85) (9.81) Q * Hg = 8.33 * Q * Hg \quad (\text{Kw})$$

Por otro lado para determinar la potencia eléctrica en las terminales del generador síncrono que es accionado por la turbina, se debe tomar en cuenta la eficiencia del generador, que comúnmente es de 0.96.

$$P = 0.96 * 8.33 * Q * Hg$$

$$P = 8 * Q * Hg \quad (\text{Kw})$$

Esta ecuación se puede interpretar en forma simplificada como: “En un curso de agua que tiene una capacidad de $1 \text{ m}^3/\text{seg}$ y que cae de un metro produce una potencia de 8 Kw”.

CAPITULO 3

MODELADO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELECTRICA A ESCALA

3.1.- Introducción

Este capítulo tiene la descripción del sistema de generación a escala y sus diferentes etapas como se muestran en la Figura 1.1 el cuál es el modelo a desarrollar, su simulación utilizando software y hardware en labVIEW™.

.

3.2 Principio de generación de corriente alterna

El fenómeno de inducción electromagnética fue descubierto por Faraday en el año 1830, llegando a demostrar que “cuando un conductor se mueve dentro de un campo magnético cortando líneas de fuerza, se generará en él una fuerza electromotriz, que es directamente proporcional al flujo cortado, e inversamente proporcional al tiempo empleado en hacerlo. Teniendo un imán permanente como inductor estático y un rotor con una espira como inducido tendremos un generador elemental, lo cuál se ilustra en la Figura 3.1.

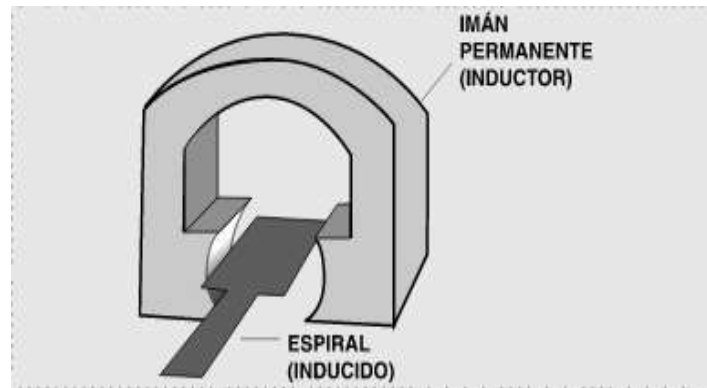


Figura 3. 1 Principio de generación de corriente alterna.

Al recibir movimiento, la espira cortará las líneas de fuerza y se producirá una fuerza electromotriz.

3.2.1 Principio de inducción

Entre los polos de un imán se genera un campo magnético produciendo unas líneas de fuerzas que parten desde el polo norte y se dirigen hacia el polo sur. Si se logra poner los polos enfrentados y mover un conductor cortando las líneas de fuerza, se producirá una diferencia de potencial entre los extremos de éste. Si dejamos fijo el conductor o lo movemos paralelamente a las líneas de fuerza la diferencia de potencial desaparece. Si se conectan dichos extremos a un circuito, se producirá una circulación de corriente eléctrica a través del mismo. La circulación de corriente cambia su sentido de acuerdo con la dirección de desplazamiento del conductor dentro del campo magnético, lo cuál se muestra en la Figura 3.2.

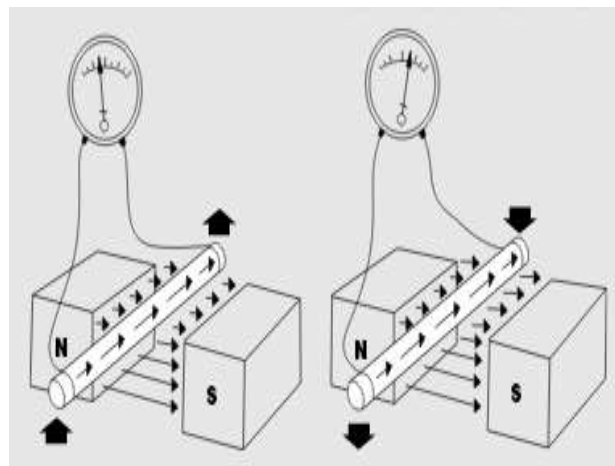


Figura 3. 2 Principio de inducción.

3.2.2 Generación de Corriente Alterna

Se denomina así a la corriente eléctrica en la que su magnitud y dirección varían, en función del tiempo, respondiendo a un determinado ciclo. La forma de onda de la corriente alterna utilizada en tendidos eléctricos domiciliarios es la onda senoidal, puesto que es de fácil generación, el cual se muestra en la Figura 3.3.

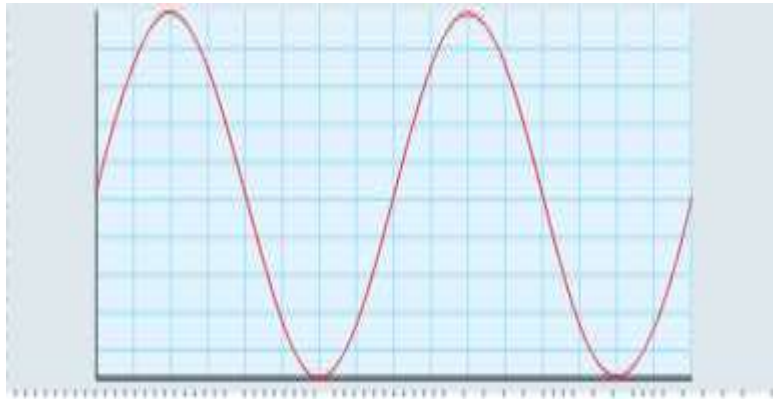


Figura 3. 3 Una señal de corriente alterna

Una senoide es una señal que tiene la forma de la función seno o coseno. Una corriente senoidal se le conoce usualmente como corriente alterna (CA). Esta corriente se invierte a intervalos regulares y tiene valores alternadamente positivo y negativo. Los circuitos alimentados con corriente o voltaje sinodal se llaman circuitos de CA.

Una senoide se representa por:

$$V(t) = V_m \text{ Sen } \omega t$$

La frecuencia angular se representa como:

$$\omega = 2 \pi f$$

Donde:

V_m es la amplitud de la senoide.

ω es la frecuencia angular en radianes/s

ωt es el argumento de la senoide.

La senoide se muestra en la Figura 3.4 a) como función de su argumento, y en la Figura 3.4 b) como función del tiempo. Es evidente que la senoide se repite cada T segundos; así, T se llama periodo de la senoide. En las gráficas se observa que $\omega T = 2\pi$

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

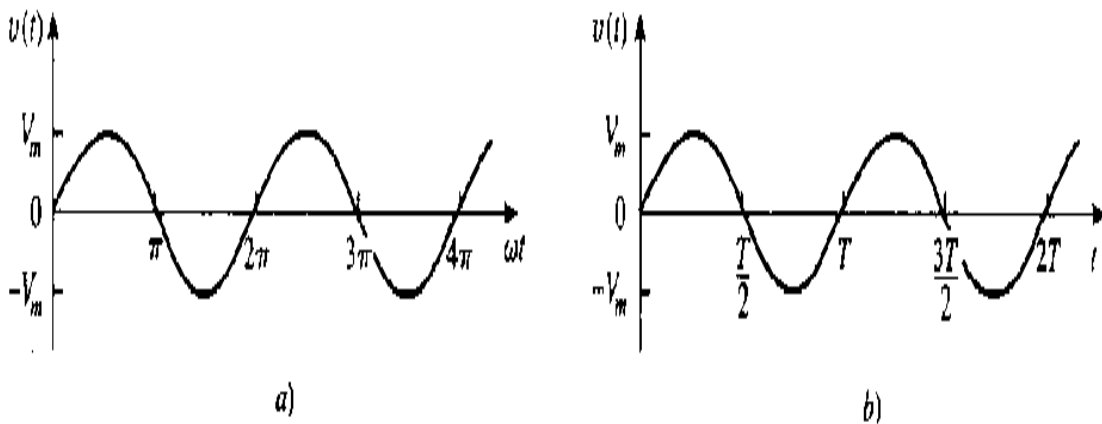


Figura 3. 4 Gráfica de $V_m \text{ Sen } \omega t$: a) Como función de ωt , b) Como función de t .

3.3.- Rectificador de onda completa trifásico

Los rectificadores trifásicos se utilizan comúnmente en la industria para producir voltaje y corriente continuos para grandes cargas. En la Figura 3.5 se muestra un rectificador trifásico en puente. El generador trifásico de tensión está equilibrado y la secuencia de fases es a-b-c. En el análisis inicial del circuito se supondrá que el generador y los diodos son ideales.

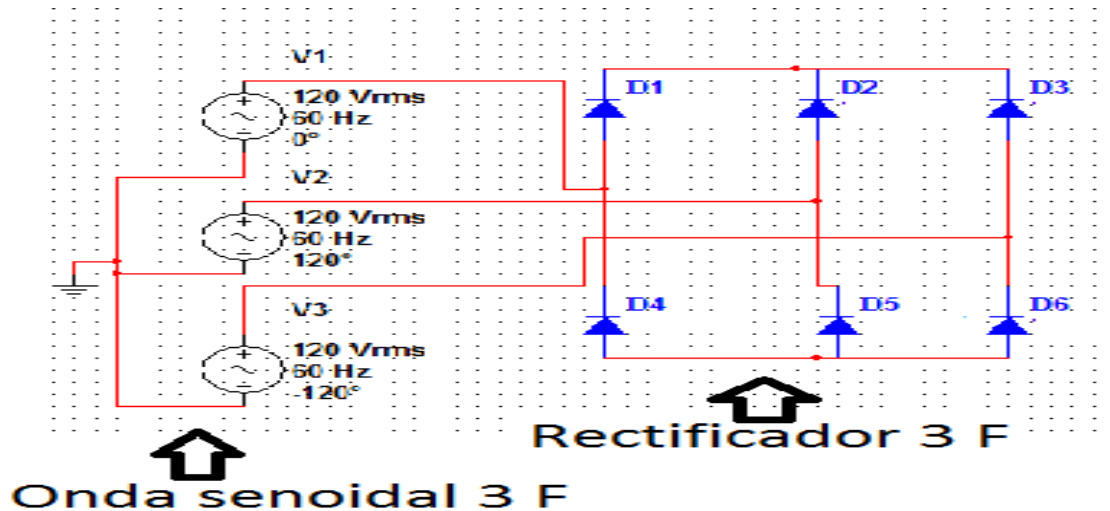


Figura 3. 5 Diagrama de un rectificador trifásico de onda completa.

Se tienen algunas observaciones básicas del circuito.

1. La ley de Kirchhoff para los voltajes aplicados al circuito muestra que sólo puede conducir un diodo a la vez en la mitad superior del puente (D1, D3, o D5) el diodo en estado de conducción tendrá su ánodo conectado al voltaje de fase mayor valor en ese instante.
2. La ley de Kirchhoff para los voltajes también muestra que solo puede conducir un diodo a la vez en la mitad inferior del puente (D2, D4,o D6). El diodo en estado de conducción tendrá su cátodo conectado a la tención de fase de menor valor en ese instante.
3. D1 y D4 no podrán conducir al mismo tiempo como consecuencia de los observaciones 1 y 2 . De la misma manera, tampoco podrán conducir simultáneamente D3 y D6, ni D5 y D2.
4. El voltaje de salida en la carga es uno de los voltajes de línea a línea del generador. Por ejemplo, cuando D1 y D2 conducen, el voltaje de salida Vca. Además, el voltaje de línea a línea de mayor valor determinara los diodos que estarán en conducción. Por ejemplo, cuando el mayor voltaje línea a línea sea Vca, la salida será Vca.
5. Existen 6 combinaciones de voltaje línea a línea (tres fases combinadas de dos en dos. Si consideramos que un periodo del generador de 360 grados, la transición del voltaje línea a línea de mayor valor deberá producirse cada $360/6= 60$ grados. El circuito se denomina rectificador de pulsos debido a las seis transiciones que se producen en cada periodo del voltaje del generador.

6. La pulsación fundamental del voltaje de salida es 6ω , donde ω es la pulsación de salida del generador trifásico.

En la Figura 3.6 se muestran los voltajes de fase y las tenciones de línea a línea resultantes de un generador trifásico equilibrado.

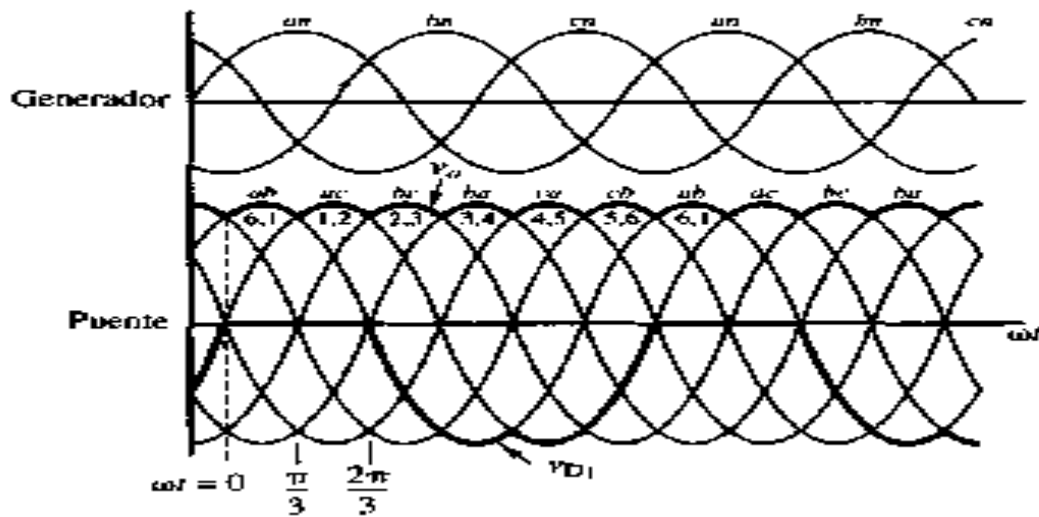


Figura 3. 6 Voltajes de fase y de línea a línea de un generador equilibrado.

En la Figura 3.7 se muestra la corriente de cada diodo del puente para una carga resistiva, los diodos conducen por pares (6,1), (1,2), (2,3), (3,4), (4,5), (5,6), (6,1)...los diodos se activan siguiendo la secuencia 1 2 3 4 5 6 1...

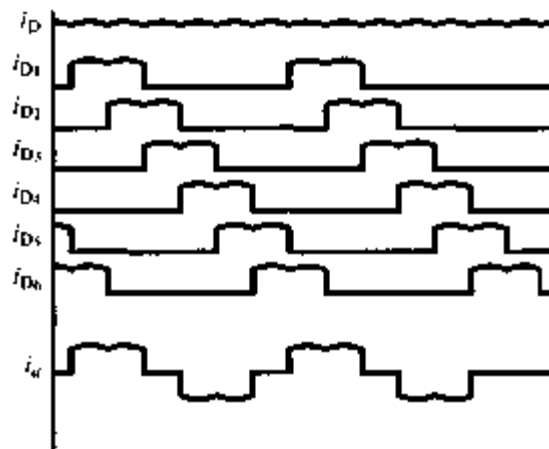


Figura 3. 7 Corrientes en cada diodo en conducción.

La corriente en un diodo en conducción es igual a la corriente de carga. Para calcular la corriente en cada fase del generador se aplica la ley de Kirchhoff para las corrientes en los nodos a, b, c:

$$i_a = i_{D1} - i_{D4}$$

$$i_b = i_{D3} - i_{D6}$$

$$i_c = i_{D5} - i_{D2}$$

3.4.- Convertidor Boost

En la figura 3.8 se muestra el convertidor elevador. Este es otro convertidor conmutado que funciona abriendo y cerrando periódicamente un interruptor electrónico. Se denomina convertidor elevador por que el voltaje de salida es mayor que la de la entrada.

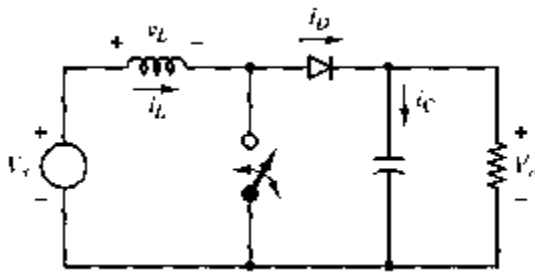


Figura 3. 8 Circuito del convertidor Boost.

Relaciones entre el voltaje y la corriente

En el análisis del circuito se hacen las siguientes suposiciones.

1. EL circuito opera en régimen permanente.
2. El periodo de conmutación es T y el interruptor está cerrado un tiempo DT y está abierto el resto del tiempo. (1-D)T.
3. La corriente en la bobina es permanente (Siempre positiva).
4. El condensador es muy grande y el voltaje de salida se mantiene constante y su valor V_0 .
5. Los componentes son ideales.

Para comenzar el análisis examinaremos la corriente y el voltaje en la bobina con el interruptor cerrado y con el interruptor abierto.

3.4.1 Análisis con el interruptor cerrado

Cuando el interruptor está cerrado, el diodo está polarizado inversamente. La ley de Kirchhoff para los voltajes en la malla que incluye la fuente, la bobina y el interruptor cerrado es.

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad \text{o} \quad \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

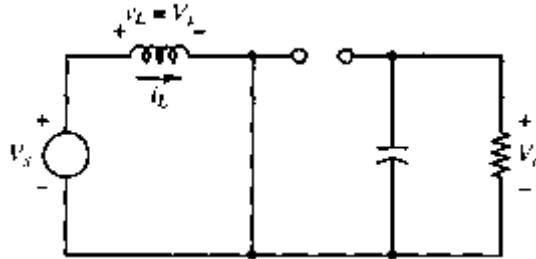


Figura 3. 9 Circuito equivalente con el interruptor cerrado.

El ritmo de variación de la corriente es una constante, por lo que la corriente aumenta linealmente cuando el interruptor está cerrado, como se muestra en la Figura 3.10.

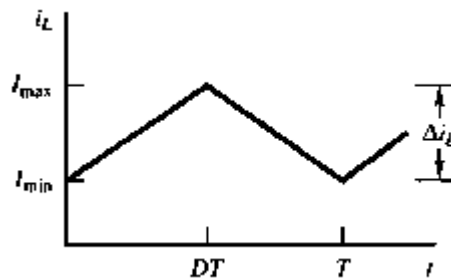


Figura 3. 10 Corriente en la Bobina.

La variación de corriente en la bobina se calcula utilizando:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L}$$

Despejando Δi_L , Cuando el interruptor está cerrado,

$$(\Delta i_L)_{\text{cerrado}} = \frac{V_s DT}{L}$$

3.4.2 Análisis con el interruptor abierto

Cuando el interruptor está abierto, la corriente en la bobina no puede variar de forma instantánea, por lo que el diodo se polariza en directa para proporcionar un camino a la corriente de la bobina. Suponiendo que el voltaje de salida V_o es constante, el voltaje en la bobina es:

$$v_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

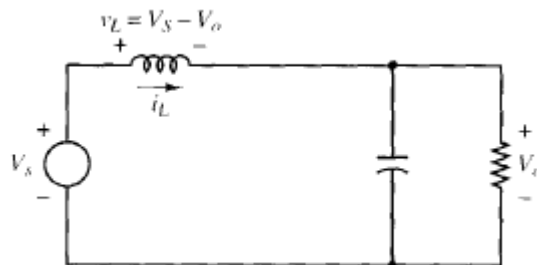


Figura 3. 11 Circuito equivalente cuando el interruptor está abierto.

El ritmo de variación de la corriente en la bobina es una constante, por lo que la corriente debe variar linealmente cuando el interruptor está abierto. La variación de la corriente de la bobina con el interruptor abierto es:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1 - D)T} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

Despejando Δi_L ,

$$(\Delta i_L)_{abierto} = \frac{(V_s - V_o)(1 - D)T}{L}$$

En régimen permanente, la variación neta de la corriente de la bobina debe ser igual a cero.

$$(\Delta i_L)_{cerrado} + (\Delta i_L)_{abierto} = 0$$

$$\frac{V_s DT}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1 - D)T}{L} = 0$$

Despejando V_o .

$$V_s(D + 1 - D) - V_o(1 - D) = 0$$

$$V_o = \frac{V_s}{1 - D}$$

La ecuación anterior muestra que, si el interruptor siempre está abierto y D es cero, la salida es igual que la entrada. Al aumentar el ciclo de trabajo el denominador de la ecuación disminuirá y la salida será mayor que la entrada. El convertidor elevador produce un voltaje de salida mayor que la entrada. Cuando el ciclo de trabajo se aproxime a la unidad, la salida se hará infinita, de acuerdo con la ecuación anterior. Sin embargo, la ecuación anterior se basa en componentes ideales. Los componentes reales producen pérdidas, impedirán que la salida se haga infinita.

Donde D es el ciclo de trabajo y se define como:

$$D \equiv \frac{t_{conducción}}{t_{conducción} + t_{corte}} = \frac{t_{conducción}}{T} = t_{conducción}f$$

3.5.- El inversor

Los inversores son circuitos que convierten la corriente continua en corriente alterna. Más exactamente los inversores transfieren potencia desde una fuente de continua a una carga de alterna. Los inversores se utilizan en aplicaciones tales como motores de alterna de velocidad ajustable, sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) y dispositivos de corriente alterna que funcionen a partir de una batería de automóvil.

3.5.1 El convertidor en puente de onda completa

El convertidor en puente de onda completa de la Figura 3.12 es el circuito básico que se utiliza para convertir corriente continua en alterna. A partir de una entrada de continua se obtiene una salida de alterna cerrando y abriendo interruptores en una determinada secuencia. El voltaje de salida V_o puede ser $+V_{cc}$, $-V_{cc}$, 0 cero, dependiendo de qué interruptores están cerrados.

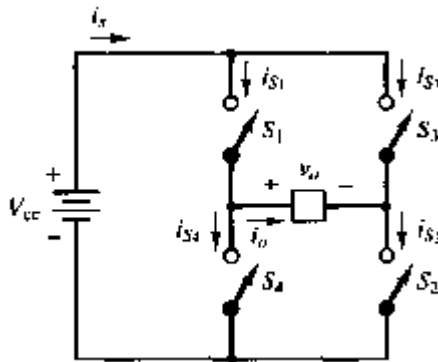


Figura 3. 12 Convertidor puente de onda completa.

Las Figuras 3.13a a la 3.13d muestran los circuitos equivalentes de las combinaciones de interruptores.

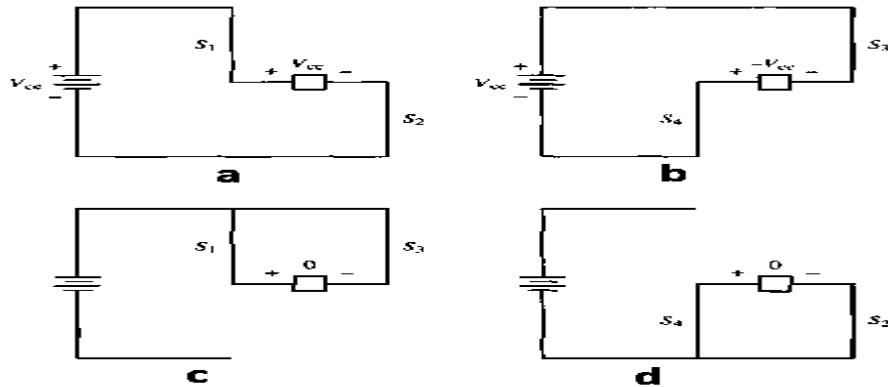


Figura 3. 13 (a) S_1 y S_2 Cerrados. (b) S_3 y S_4 Cerrados. (c) S_1 y S_3 Cerrados. (d) S_2 y S_4 Cerrados

Observe que S_1 y S_4 no deberán estar cerrados al mismo tiempo, ni tampoco S_2 y S_3 . De otra manera habría un corto circuito en la fuente de continua. Los interruptores reales no se cierran y abren instantáneamente. Por lo tanto deben de tenerse en cuenta los tiempos de transición de la conmutación al diseñar el control de los interruptores.

3.6.- La plataforma labVIEW™

labVIEW™ su significado Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, esta plataforma fue creada por National Instruments (1976), salió al mercado por primera vez en 1986. Esta herramienta fue utilizada para el desarrollo de instrumentos virtuales, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica, sino también a su programación embebida, comunicaciones, matemáticas, etc.

labVIEW™ constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Las ventajas que proporciona el empleo de labVIEW™ se muestran a continuación:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.

- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes como Matlab, Simulink, Arduino.

Los programas desarrollados mediante labVIEW™ se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs.

3.7.- Diseño e implementación del sistema de generación

El sistema de generación se compone de 4 etapas.

- A. .- Etapa de generación trifásica.
- B. .- Etapa de rectificación trifásica.
- C. .-Etapa elevadora utilizando un convertidor CD/CD convertidor tipo Boost.
- D. .-Etapa inversora.

Para el desarrollo de este trabajo de tesis la etapa A y B se implementarán con ayuda de la plataforma LabVIEW™ el cuál se tiene en comunicación con la estación de trabajo NI-ELVIS 1, en la cual se implementará físicamente las 2 etapas restantes.

En este apartado se describirá como se implementara cada etapa a la vez se darán detalles del diseño de las mismas que lo conforman.

3.7.1 Etapa A

Para el desarrollo de la etapa de generación trifásica se implementa con ayuda de la plataforma labVIEW™ en la cual consiste en emular tres señales senoidales con una frecuencia de 60 ciclos por segundo y una amplitud de 120 volts, estas tres señales desfasadas 120 grados. El voltaje de salida se dividió por un factor de 10, esto con la finalidad de tener un flujo de potencia de la fuente a la carga, y no de la carga a la fuente. En la Figura 3.14 se muestra el sistema de generación trifásico en labVIEW™.

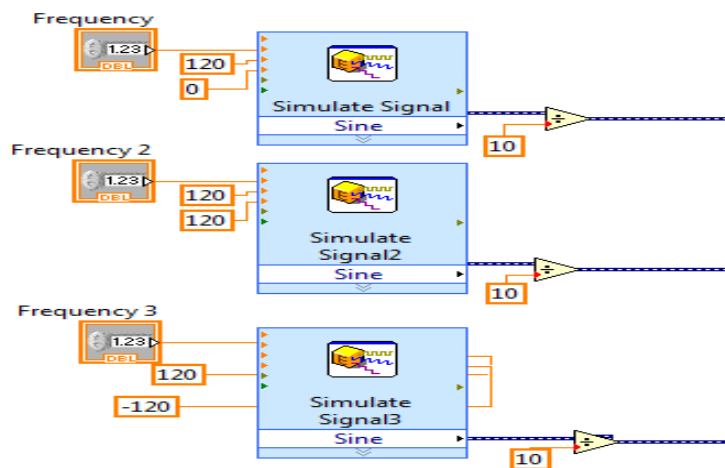


Figura 3. 14 Sistema de generación emulado en LabVIEW™.

3.7.2 Etapa B

La etapa de rectificación trifásica se implementa utilizando una lógica de programación esto debido a que LabVIEW™ no cuenta con un elemento discreto que tenga la función de un rectificador trifásico. Para esto se implementa la rectificación de las señales cada una por separado y la señal de salida es la suma de las tres señales. La Figura 3.15 muestra la etapa de rectificación.

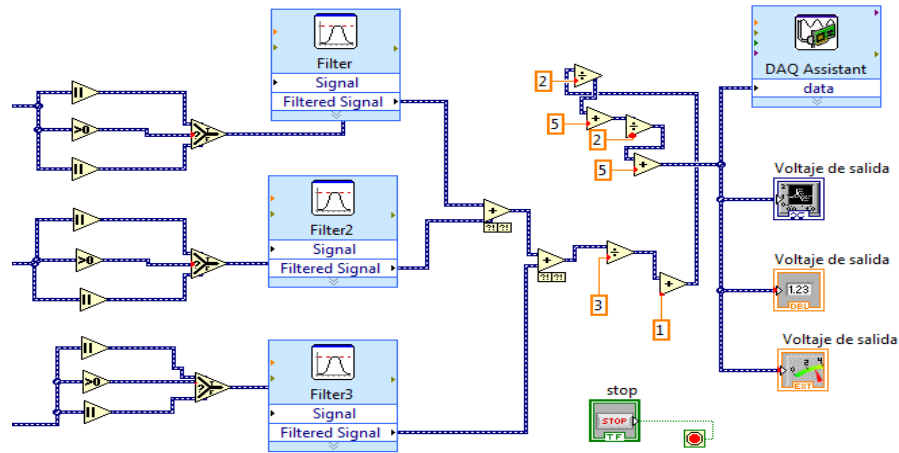


Figura 3. 15 Etapa de rectificación trifásica.

En la salida se realizaron ajustes en la magnitud de voltaje se dividió a que el voltaje es mayor a 10 volts y la estación de trabajo NI-ELVIS 1 está limitada a proporcionar un voltaje de (+/- 10 volts) esto con la finalidad de poder obtener un voltaje de corriente directa (CD) para poder elevarlo al voltaje deseado con el convertidor Boost.

3.7.3 Etapa C

En la Figura 3.16 se muestra el diagrama del convertidor Boost a implementar físicamente en la estación de trabajo NI-ELVIS 1.

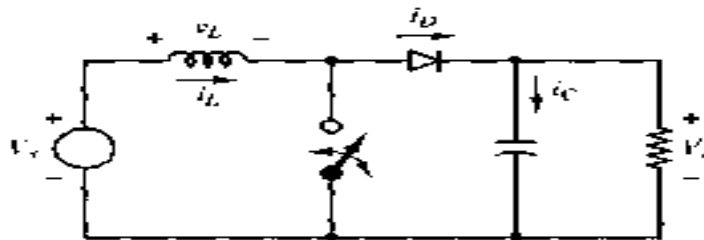


Figura 3. 16 Diagrama del convertidor Boost.

Diseño del convertidor Boost.

Datos:

$V_s=9.6$ volts

$F_c=50$ Khz

$P=10$ w

$R_l=23 \Omega$

$V_o=12$ volts

Donde

V_s Voltaje de entrada

V_o Voltaje de salida

P potencia del convertidor

R_l Resistencia de carga.

F_c Frecuencia de conmutación a la cual trabajara el interruptor.

Para calcular el ciclo de trabajo D :

$$D = \frac{V_o - V_s}{V_o} = \frac{12 - 9.6}{12} = 0.2$$

La inductancia se calcula como:

$$L = \frac{R D (1-D)^2}{2 F_c} = \frac{(23)(0.2)(1-0.2)^2}{(2)(50 \text{ kHz})} = 29.44 \mu H$$

El valor pico de la corriente en la inductancia es la misma sobre el diodo.

$$i_L = \frac{V_i}{R(1-D)^2} + \frac{V_i D}{2 L F_c} = \frac{9.6}{(23)(1-0.2)^2} + \frac{(9.6)(0.2)}{(2)(29.44 \mu H)(50 \text{ kHz})} = 1.3 \text{ A}$$

Esta corriente también es la misma que circula por el transistor.

Para el cálculo del capacitor para lo cual usaremos un rizado no mayor a 2 % es decir

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = 0.02$$

$$C = \frac{V_o D}{F_c R \Delta V_o} = \frac{(12)(0.2)}{(50 \text{ kHz})(23)(0.24)} = 8.6 \mu F$$

3.7.4 Etapa D

El inversor monofásico. La técnica utilizada para desarrollar el inversor monofásico se denomina modulación senoidal por ancho de pulso (SPWM), En un inversor monofásico se debe conmutar de manera adecuada cuatro interruptores controlables con el fin de generar una onda senoidal a la salida de magnitud y frecuencia ajustables. El patrón de conmutación se obtiene a partir de la comparación de una señal triangular de frecuencia y amplitud fija (Portadora) con una señal senoidal de frecuencia y amplitud variables (moduladora).

En el presente trabajo se describe el desarrollo de un inversor monofásico unipolar SPWM, detallando cada una de las fases de diseño y finalizando con la implementación experimental del circuito de control y de potencia.

Circuito de generación SPWM:

En la técnica de conmutación SPWM la amplitud de la señal de salida se controla a través del índice de modulación

$$M = \frac{A_m}{A_p}$$

Donde A_m y A_p representan las amplitudes de las señales moduladoras y portadora respectivamente. Ahora, la frecuencia de salida f_o se define por medio de la frecuencia la señal moduladora. De esta manera, las características del voltaje por fase se regulan modificando los parámetros (M, f_o).

El voltaje resultante de salida V_o a la salida del puente para una frecuencia de conmutación de 10 kHz, frecuencia base f_o de 60 Hz e índice de modulación $M=0.9$.

Para la implementación del circuito generador de los pulsos SPWM, se dividió en cuatro etapas el diseño, las cuales serán detalladas a continuación:

- i. Generador de onda senoidal.
- ii. Generador de onda triangular

iii. Comparador

iv. Generador de tiempo muerto

1.-Generador de onda senoidal

Para generar el patrón de conmutación fue necesario utilizar una onda senoidal (moduladora) que se implementó mediante el circuito integrado ICL8038, como se muestra en la Figura 3.17. Este circuito tiene las propiedades de que la onda senoidal de salida se puede variar en amplitud y frecuencia ajustando ciertas resistencias variables en el circuito. De esta manera se puede tener control sobre los parámetros M y f_o en el inversor a través del ajuste de RM (índice de modulación) y R_f (frecuencia de salida).

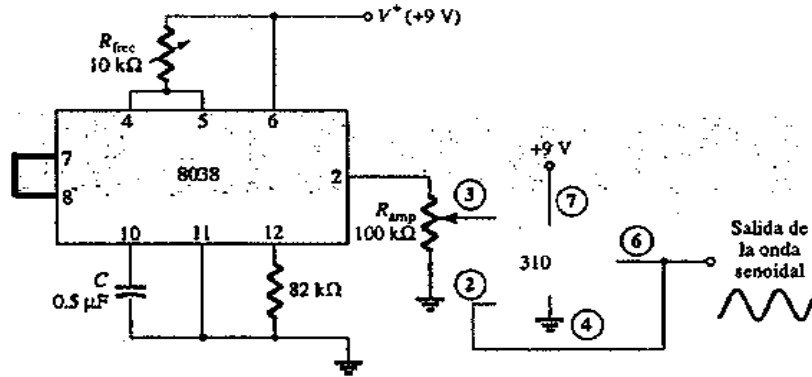


Figura 3. 17 Generador de ondas senoidal con amplitud y frecuencia ajustable.

2.- Generador de onda triangular.

Para la generación de la onda triangular se utiliza el mismo procedimiento que se usa en la generación de la onda senoidal, debido a que este circuito integrado cuenta con la ventaja de generar diferentes señales, la única diferencia es que para obtener la salida triangular se utiliza el pin 3 con otro valor de resistencia el cuál se modulará al momento de realizar su implementación física.

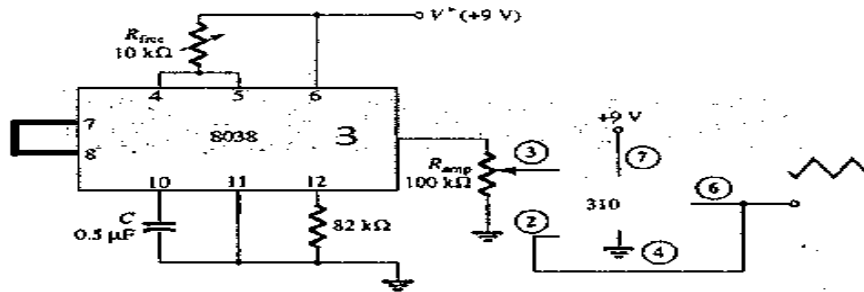


Figura 3. 18 Generador de onda triangular

3.- Comparador.

Para generar los pulsos se compararon la onda senoidal (moduladora) con la onda triangular (portadora) mediante un amplificador operacional LM311 ver Figura 3.19, Para ello antes de comparar dichas señales, la onda senoidal pasa a través de una configuración inversora ver Figura 3.20 y después entra al comparador.

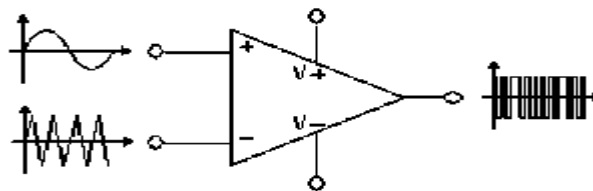


Figura 3. 19 Comparador de la onda senoidal y la triangular

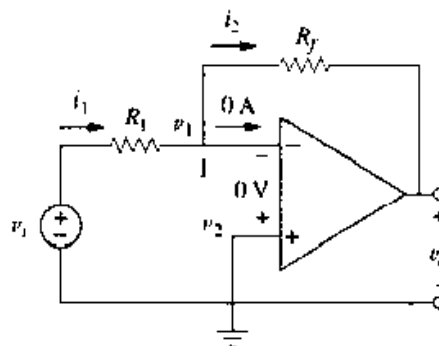


Figura 3. 20 Amplificador inversor.

El amplificador inversor invierte la polaridad de la señal de entrada mientras la amplifica esto de acuerdo a la relación:

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_i$$

La ganancia de voltaje es:

$$A_v = -\frac{R_f}{R_1}$$

Lo que significa que la ganancia de tensión depende solamente de los elementos externos R_f y R_1

4.-Generador de tiempo muerto.

Por seguridad debe de existir un pequeño lapso de tiempo muerto entre la activación y desactivación de los interruptores de una misma rama (Figura 3.12). Esto se debe al tiempo de apagado correspondiente a cada interruptor, y así debe compensarse este factor para evitar un posible corto circuito en el circuito de potencia. Para implementar dicho tiempo muerto se utilizó un detector de flanco negativo con CIs como se muestra en la Figura 3.21.

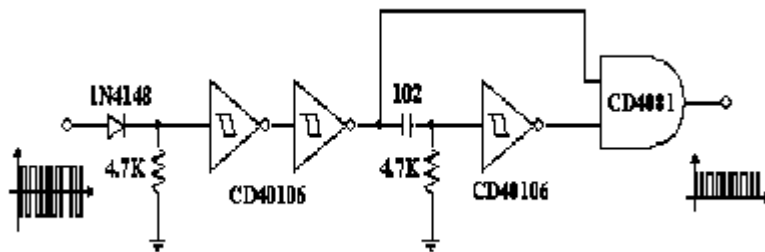


Figura 3. 21 Generador de tiempo muerto.

5.-Etapa de acoplamiento.

La etapa de acoplamiento mostrada en la Figura 3.22, se usó para aislar la etapa de control de la etapa de potencia. Este acoplamiento está basado en el uso de cuatro opto-acopladores 6N135, que portan la señal de conmutación para cada interruptor del puente inversor. El uso de los opto-acopladores implica el uso de fuentes independientes de las usadas en la etapa de control, así entonces, se usan 3 fuentes independientes de +12V, una para la activación de los interruptores de la parte inferior

del puente inversor, y 2 para poder activar los interruptores de la parte superior. En la Figura 3.22, el primer transistor refuerza la señal de SPWM para poder suministrar la corriente necesaria al diodo emisor del opto acoplador. El último transistor es utilizado para invertir la señal del SPWM dada por la configuración de transistor del opto-acoplador. De esta manera, se conecta la compuerta (G) y el emisor (E) del interruptor polarizado (IGBT), al colector y emisor del transistor de salida. Los transistores utilizados son el 2N2222 que cumplen con las especificaciones de velocidad de conmutación que se requiere para el uso de la técnica de SPWM.

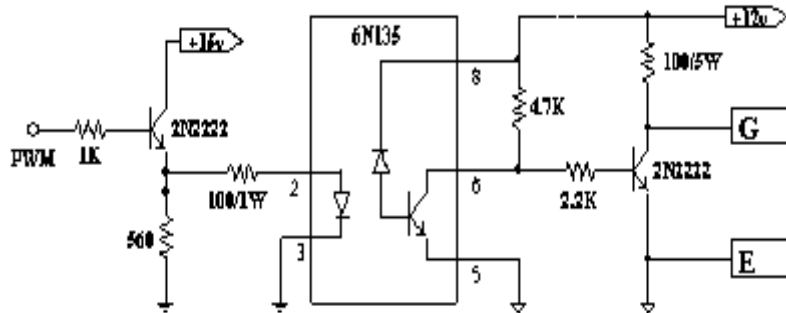


Figura 3. 22 Etapa de acoplamiento.

6.- Circuito de potencia.

Ahora, a partir de una fuente de CD constante se debe generar un voltaje senoidal a partir de la conmutación de los 4 interruptores en el puente monofásico. Para ello se controlan cuatro IGBT's de potencia ultrarrápidos (IRG4PC50U, VDSS=600V, ID=30A,) los cuales tienen la capacidad de conmutado rápido a parte de soportar rangos de voltajes altos. El voltaje CD a la entrada del puente, se obtiene por medio de la salida analógica que proporciona la DAC esta alimenta el convertidor boost, elevando el voltaje al grado deseado e introduciéndolo en la entrada del puente. En la Figura 3.23 puede apreciarse el esquema eléctrico de dicho sistema.

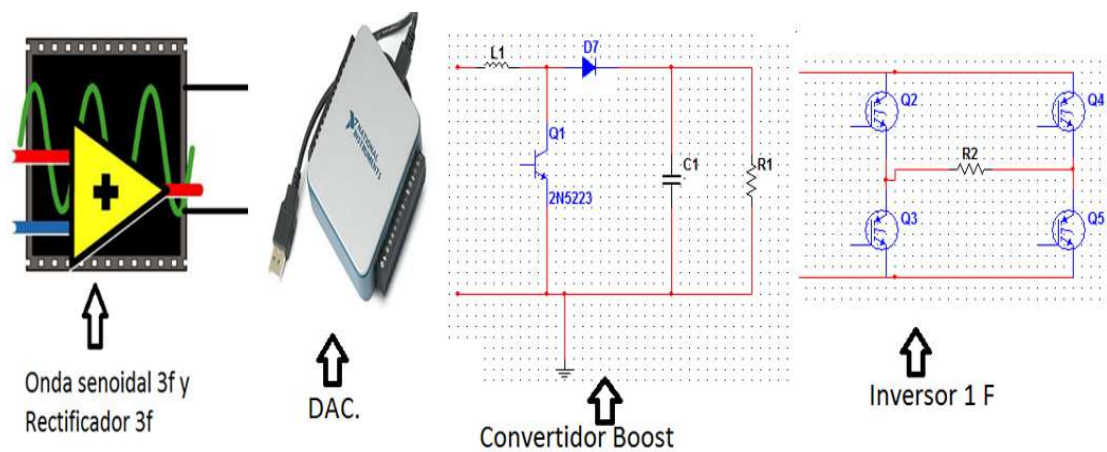


Figura 3. 23 Esquema eléctrico del sistema de generación a escala.

CAPITULO 4

SIMULACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

4.1.- Introducción

El avance de la tecnología y la combinación de sistemas computacionales, componentes electrónicos y los recursos necesarios han permitido el desarrollo y construcción de sistemas de adquisición de datos. La tarjeta de adquisición de datos más conocida como la DAQ (Data Acquisition) permite realizar la medición tanto de variables eléctricas (Voltaje, Corriente, Resistencia, etc) como físicas a través de transductores, esto puede lograrse con ayuda de un ordenador e instrumentos virtuales que pueden ser programados desde un software especial, lo cual representa una poderosa herramienta que ha logrado resolver problemas de ingeniería y ampliar el campo de investigación en el área de la instrumentación.

En los últimos años, la aplicación de instrumentos virtuales ha recibido una atención especial dentro de varias literaturas, artículos y reportes de prácticas de laboratorio. Esto se debe principalmente a que el instrumento virtual se ha convertido en una herramienta popular de medición, y que opera de manera semejante a un instrumento tradicional común, pero teniendo en cuenta los límites de operación. Estos detalles se ven reflejados en el tipo de ordenador que se utiliza y su velocidad de procesamiento (Muestras por segundo).

La compañía National Instruments logró unir las capacidades que poseen algunos instrumentos en un sólo aparato llamado NI-ELVIS, permitiéndole al usuario realizar pruebas sobre circuitos electrónicos analógicos como digitales y analizar las lecturas obtenidas de las variables eléctricas. Además cabe mencionar que dicha estación puede representar un gran ahorro de espacio en el área de trabajo y en dinero.

4.2.- La empresa National Instruments (NI)

National Instruments (NI) se fundó en el año de 1976 por los ingenieros Jeff Kodosky, James Truchard y Bill Nowlin.



Figura 4. 1 Fundadores de la compañía National Instruments (1976, Austin, Texas)

El origen de la empresa National Instruments comenzó cuando James Truchard terminó su doctorado, se reunió con Jeff Kodosky y Bill Nowlin, pronto se dedicaron a desarrollar productos con el GPIB, el cuál es un dispositivo utilizado para la comunicación con un ordenador. Tiempo después en la década de los 80's crearon su primer producto llamado labVIEW™, gracias a esto fueron creciendo espontáneamente y se dedicaron al desarrollo y venta de productos como hardware y software.

4.3.- El GPIB

GPIB es un estándar de conexión que permite la comunicación de un ordenador con instrumentos electrónicos de medida, como pueden ser generadores de funciones, osciloscopios, etc. Las siglas corresponden a General Purpose Interface Bus, pero a pesar de este nombre, fue diseñado específicamente para la conexión de instrumentos de medida.

Fue creado en 1965 por la compañía Hewlett-Packard, que lo denominó originalmente HP-IB, y se popularizó con rapidez, debido a sus altas tasas de transferencia de datos (8 Mbytes/s). En 1975, para evitar la dispersión de características, los principales

fabricantes acordaron la estandarización del GPIB (IEEE 488.1), centrándose en las características eléctricas y mecánicas del bus. En 1987 tuvo lugar una segunda estandarización (IEEE 488.2) Figura 4.2, que delimitó de forma más concreta la programación del GPIB, definiendo comandos de aparatos, formato de mensajes y estado de los instrumentos.



Figura 4. 2 Conector GPIB

En la Figura 4.3, se muestra la conexión de dispositivos con el ordenador a través del bus GPIB, que permite enviar o recibir información de cualquier equipo o dispositivo, así como también la comunicación con instrumentos de medición.



Figura 4. 3 Conexión mediante el GPIB

4.4.- Sistema DAQ

Un sistema DAQ es un proceso donde se realiza una medición de una magnitud física, a través de una computadora y mediante una tarjeta DAQ, donde el ordenador cuenta con un software establecido para dicha medición. Los sistemas DAQ aprovechan la potencia del procesamiento de la computadora, la visualización y habilidades de conectividad hacia los ordenadores.

El proceso a seguir con las señales desde la adquisición de estas, por medio del sensor adecuado, hasta la digitalización consta de tres etapas:

1. Conversión de la magnitud a una señal eléctrica
2. Adaptación de la señal eléctrica para su lectura digital
3. Sistema hardware de adquisición de datos, generalmente a través de un computador

A continuación en la Figura 4.4 se muestra un sistema DAQ basado en PC.

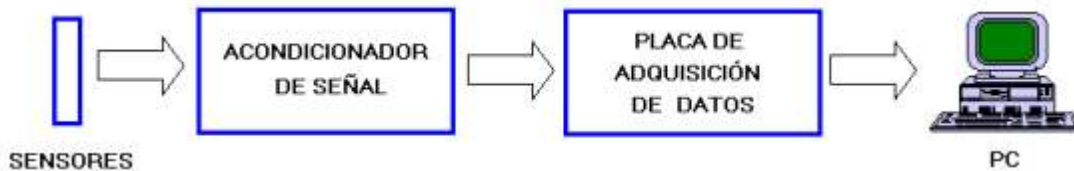


Figura 4. 4 Sistema DAQ basado en PC

4.4.1 El sensor

Los sensores, también conocidos como transductores son dispositivos capaces de convertir una magnitud física, como puede ser la corriente, el voltaje, la temperatura, la presión, el valor de pH, etc., en una diferencia de potencial o una variación de intensidad, es decir, realizan una conversión de energías y suministran información sobre el estado y tamaño de la magnitud.

Algunos sensores pueden requerir de componentes adicionales y circuitos para presentar correctamente una señal que pueda ser leída con precisión y seguridad por un dispositivo.

4.4.2 El dispositivo DAQ

Los dispositivos DAQ tienen cuatro elementos estándares: entradas analógicas, salidas analógicas, E/S digitales y contadores, este dispositivo es el hardware que actúa como el interfaz de comunicación entre la computadora y las señales provenientes del transductor, la función principal de este dispositivo es digitalizar las señales analógicas, esto para que la computadora pueda procesar dicha información proveniente de la DAQ.

Algunas de sus características:

- Número de canales analógicos
- Velocidad de muestreo
- Resolución
- Rango de entrada.
- Capacidad de temporización
- Forma de comunicarse con el computador
- Conexión USB, PCI, PCI Express y Ethernet

4.4.3 Acondicionamiento de señales

El objetivo del acondicionador de señal es generar, a partir de lo obtenido por los sensores, una señal que sea aceptable por las tarjetas de adquisición de datos. Las tarjetas de adquisición de datos suelen admitir niveles de tensión que van entre unos márgenes determinados: -10V a 10V, 0 a 10V, 0 a 5V, etc.

Las funciones principales que va a tener que realizar el acondicionador de señal son las siguientes:

- Transformación
- Amplificación
- Conversión por medio de opto-acopladores
- Filtrado
- Excitación
- Linealización

4.4.4.- Convertidor Analógico a Digital (A/D)

Es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica de voltaje en una señal digital con un valor binario, para que la computadora pueda leer dicha información recibida.

La señal analógica, que varía de forma continua en el tiempo, se conecta a la entrada del dispositivo y se somete a un muestreo a una velocidad fija, obteniéndose así una señal digital a la salida del mismo.

A continuación en la Figura 4.5 se muestra el proceso de la conversión A/D

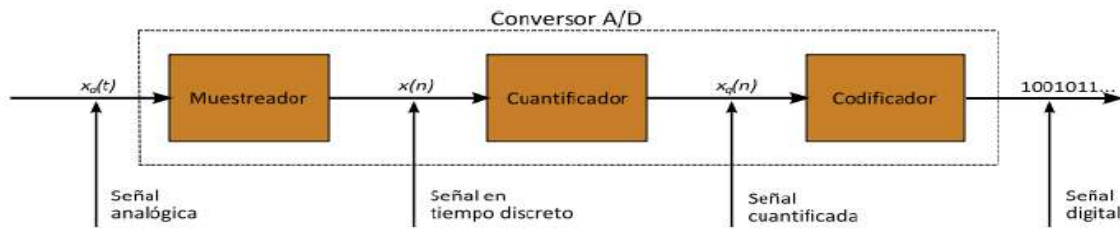


Figura 4. 5 Proceso de la conversión A/D.

4.4.5 Función del ordenador en un sistema DAQ

El ordenador juega un papel muy importante dentro de un sistema DAQ, ya que en este podemos instalar el software de la tarjeta DAQ que se está utilizando para así poder controlar su operación y de esta manera será posible utilizar dicho dispositivo para procesar, visualizar y almacenar datos de la medición.

4.4.6 El controlador de la DAQ

El software controlador, es el encargado de que exista la comunicación entre la DAQ y el software instalado en el ordenador.

Una de las características que existen en estos controladores es que debe de ser compatible con el sistema operativo donde se tiene instalado el software de la tarjeta que se le desea instalar dicho controlador.

4.4.7 El software de la DAQ

El software de la aplicación facilita la interacción entre el ordenador y el usuario para lograr adquirir, analizar, presentar datos de medidas y ser manipuladas para determinados fines.

4.5.- El instrumento virtual

La instrumentación virtual es un concepto que se introdujo por la compañía National Instruments en el año 2001. Pero en el año 1983, Truchard y Kodosky, ambos fundadores de National Instruments, tomaron la decisión de enfrentar el problema de fabricar un software que permitiera utilizar la computadora personal como un instrumento para realizar mediciones.

Un instrumento virtual es un conjunto de programas y equipos con una interface gráfica que tiene la apariencia y el aspecto de un instrumento físico, donde el usuario puede manipular el instrumento a través del panel grafico como si fuese un instrumento real.

Una de las características fijas de un instrumento virtual, contienen convertidores A/D, circuitos acondicionadores de señal, microprocesadores, memorias y un bus interno, esto lleva a convertir señales del mundo real, analizarlas y presentarlas como resultados al usuario.

4.6.- Sección de Pruebas y resultados

En este apartado se recopilan todas las pruebas realizadas, así como los gráficos que sirven como apoyo para tener un mejor entendimiento de los resultados que se obtuvieron.

Se realizo este esquema de generación de corriente alterna de esta forma, ya que la turbina eólica Skystream tiene un esquema similar.

4.6.1 Señal trifásica en labVIEW™

En la figura 4.6 se observa la respuesta de la señal trifásica implementada en labview, con una frecuencia de 60 ciclos por segundo y una amplitud de 12 volts, estas defesadas 120 grados.

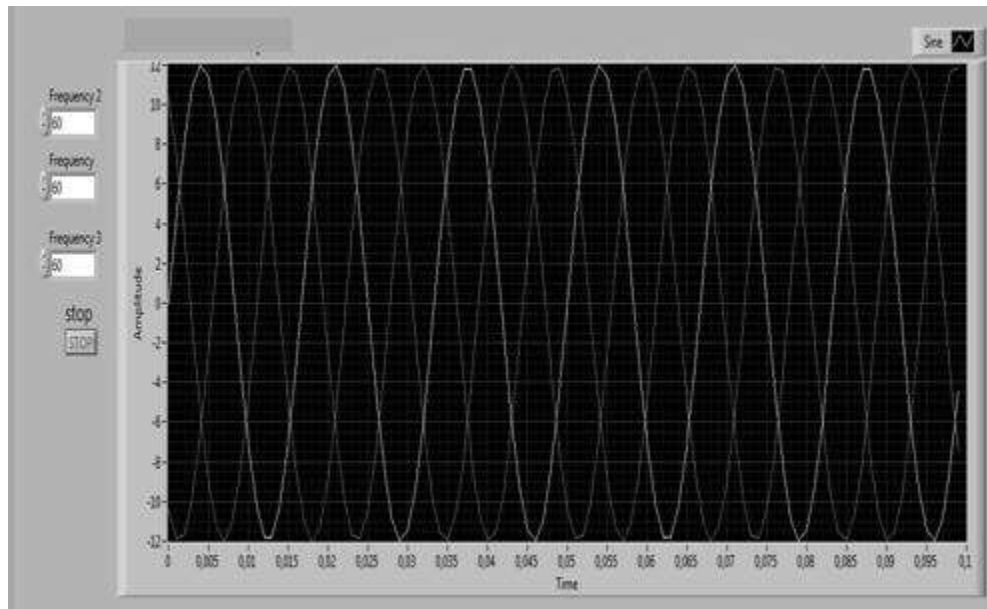


Figura 4. 6 Señal Trifásica implementada en labVIEW™

4.6.2 Salida de la señal rectificada en labVIEW™

En la figura 4.7 se observa en color azul la señal de corriente directa rectificada en labVIEW™, en este grafico se decidió mostrar los dos tipos de señales que son la senal trifásica de corriente alterna y la senal de CD, esto para tener una mejor apreciación de los resultados obtenidos.

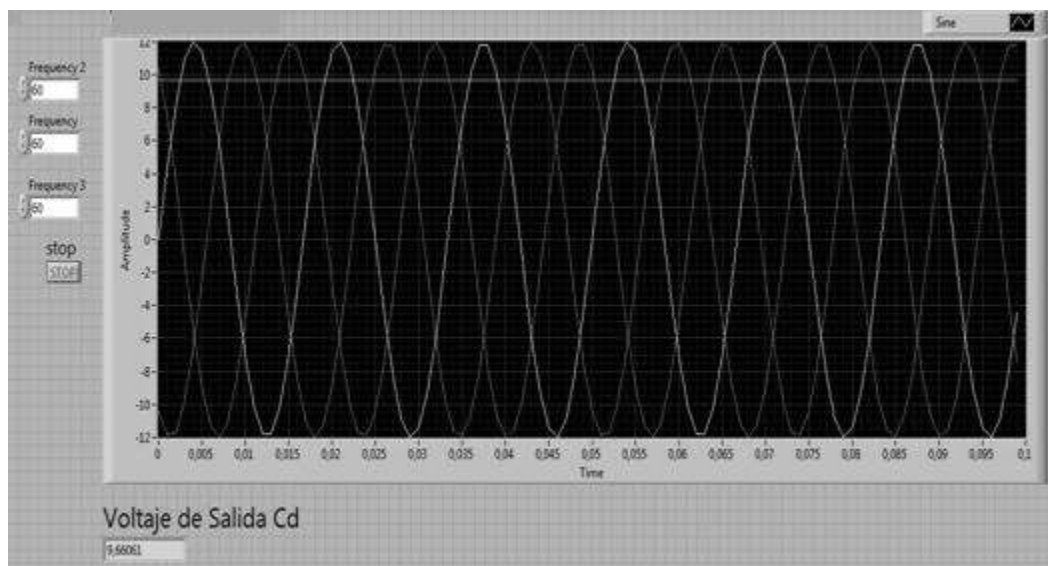


Figura 4. 7 Señal de corriente Directa

4.6.3 Salida en la DAQ

En la figura 4.8 se muestra en una lectura tomada con el multímetro el voltaje de corriente directa proveniente de la conversión Digital/Analógica realizada por la DAQ.

Esta imagen ilustra la comparación del voltaje rectificado dentro de la plataforma labVIEW™ y es el mismo voltaje que muestra la lectura en el multímetro.

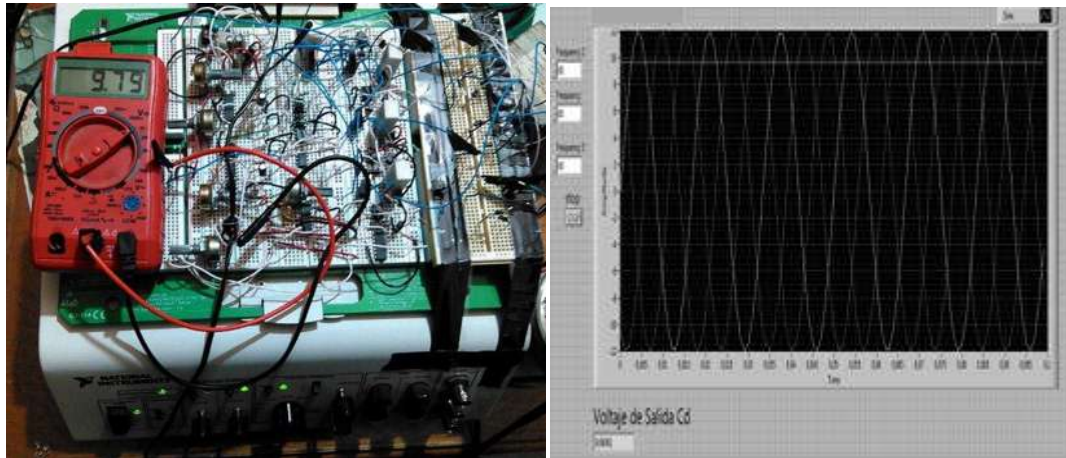


Figura 4. 8 Salida en la DAQ.

4.6.4 Salida en el convertidor boost

La figura 4.9 muestra el voltaje que proporciona el convertidor boost en su salida.

El diseño del convertidor boost se plasma al voltaje deseado pero en realidad se diseño a una magnitud de voltaje mayor esto para compensar la caída de voltaje en los elementos.

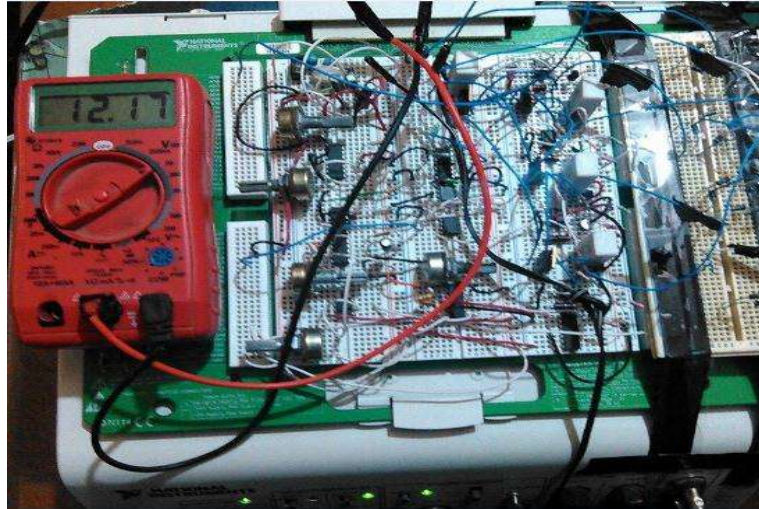


Figura 4. 9 Lectura del convertidor boost.

4.6.5 Salida de señal en el inversor

La salida que proporciona el inversor se puede considerar una senoidal, esto debido a que se utilizó en la salida un filtro del tipo LC la figura 4.10 muestra la configuración del puente con el filtro. La finalidad es obtener una señal senoidal lo más pura posible, los parámetros del filtro son $L=300\mu\text{H}$ y $C=13.2\mu\text{F}$, ya que la frecuencia de la señal portadora es de 20kHz. La figura 4.11 muestra la respuesta del inversor.

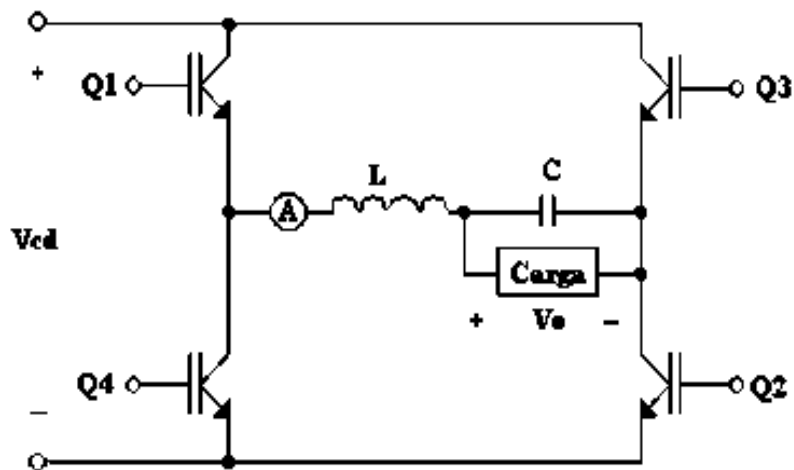


Figura 4. 10 Puente inversor con filtro LC.

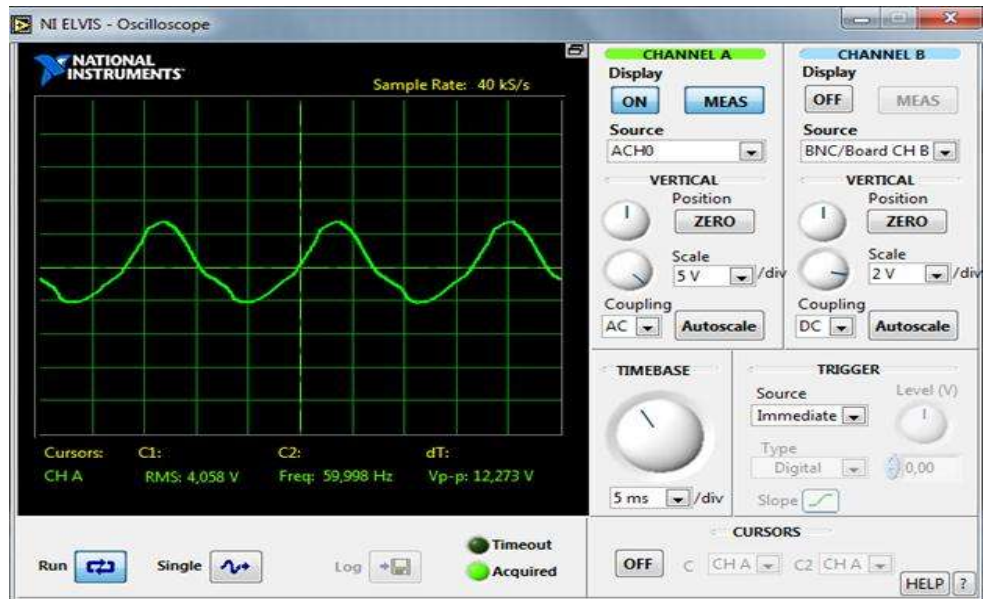


Figura 4. 11 Salida del inversor.

4.7.- Experimentación a otro voltaje de generación

El voltaje generado trifásico en labVIEW™ es de 10 volts y desfasado 120 grados, lo cual se muestra en la figura 4.12

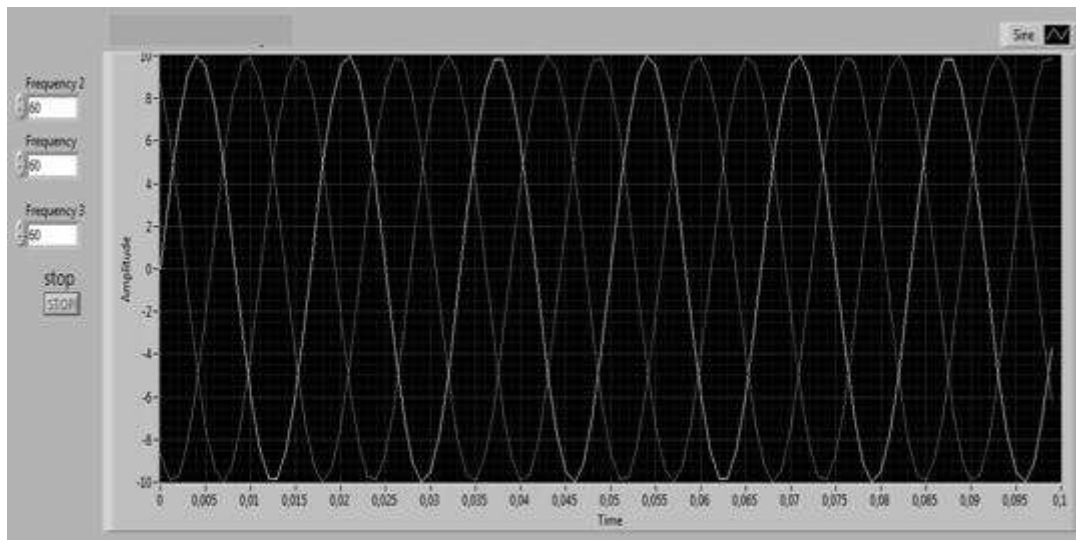


Figura 4. 12 Voltaje trifásico generado de 10 volts

En la figura 4.13 se observa en color azul la señal de corriente directa rectificada en labVIEW™ este voltaje es de una magnitud de 9.34 volts de Cd.

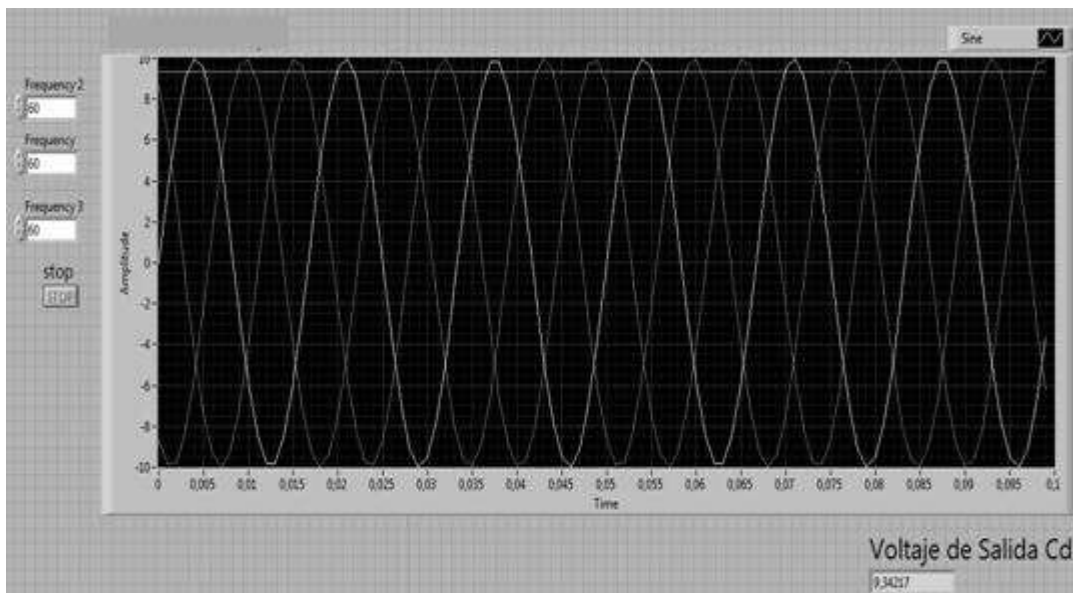


Figura 4. 13 Señal de corriente directa línea azul.

En la figura 4.14 se muestra en una lectura tomada con el multímetro el voltaje de corriente directa proveniente de la conversión Digital/Analógica realizada por la DAQ en la cual muestra un voltaje de magnitud 9.44 volts.

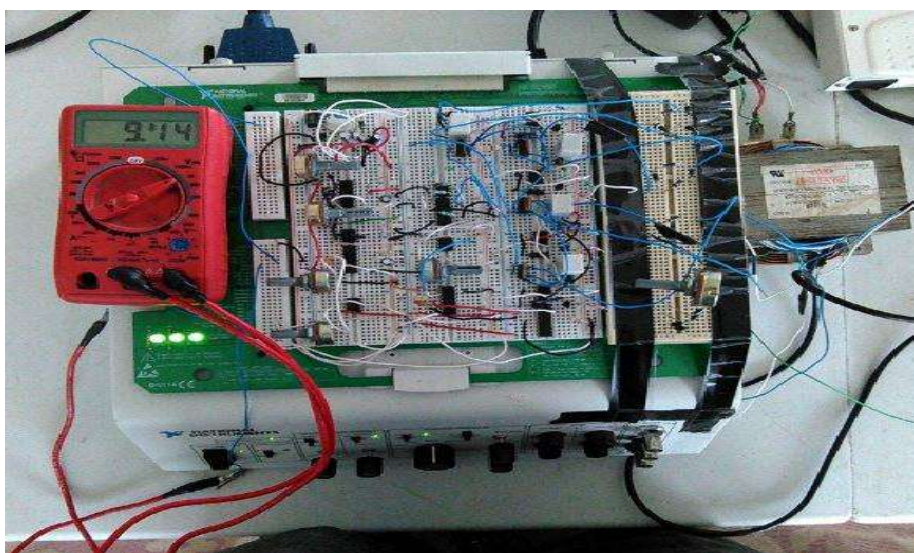


Figura 4. 14 Voltaje de Corriente directa en la Dac.

La figura 4.15 muestra el voltaje que proporciona el convertidor boost en su salida.

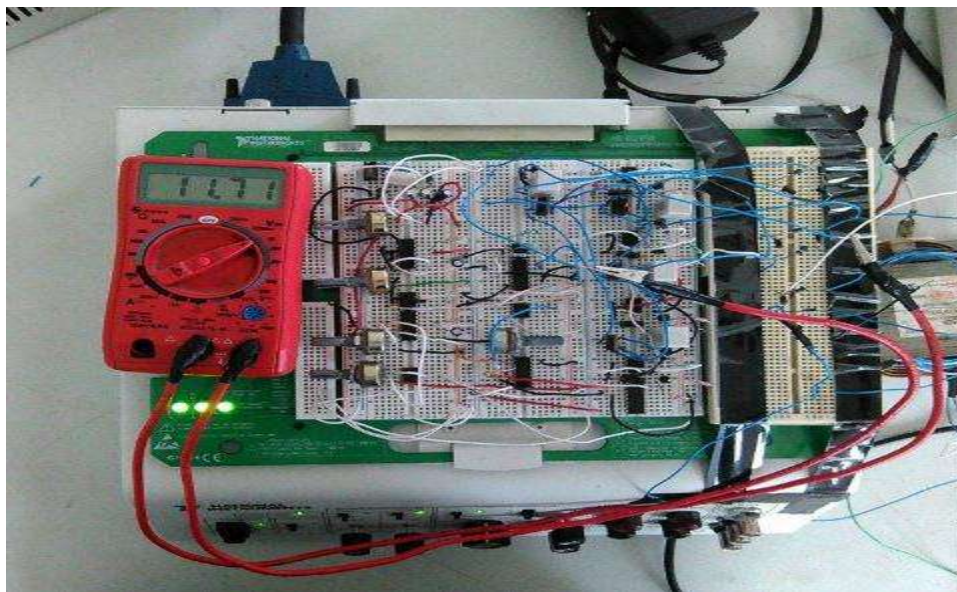


Figura 4. 15 Salida del convertidor boost.

En la figura 4.16 se muestra la salida en el inversor con una magnitud de 11.68 volts de corriente directa.

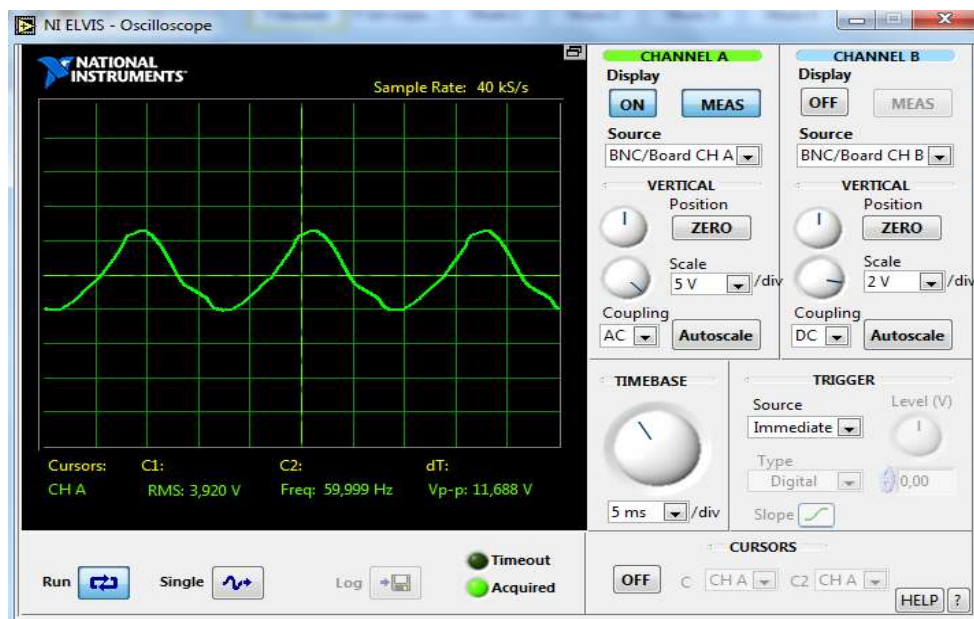


Figura 4. 16 Salida de corriente alterna en el inversor.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.-Conclusiones

A través de la instrumentación virtual se logró la implementación del sistema de generación de energía eléctrica a escala. Además se implementó la configuración de labVIEW™ para producir y manipular la señal trifásica de salida con la ayuda de la estación de trabajo NI ELVIS I.

Se propuso un sistema de generación a escala el cuál permite tener un panorama general de la generación de energía eléctrica a través de una turbina eólica del tipo Skystream.

El uso de instrumentos virtuales, ordenador y equipo correspondiente permite una buena interacción del alumno con el sistema implementado además de producir mejoras en las enseñanzas del alumno.

El uso de la instrumentación virtual es un gran avance en el desarrollo de conocimientos para estudiantes de algunas áreas de ingeniería, el cual permite comprender el funcionamiento de instrumentos físicos trabajando de manera virtual, además la utilización de herramientas virtuales hace posible la implementación y desarrollo de proyectos de ingeniería de forma muy accesible económicamente hablando.

La instrumentación virtual ofrece una gran flexibilidad a los instructores en la solución de problemas, casos de estudios y permite reducir los costos considerablemente en los materiales de laboratorio. También permite crear ambientes de aprendizaje en los cuales el estudiante se encuentra en contacto con problemas de ingeniería en el mundo real.

Durante el desarrollo de este proyecto de tesis se aplicaron todas las capacidades adquiridas en el campo de formación de ingeniería eléctrica, reafirmando todos los

conocimientos, habilidades, destrezas, valores y actitudes que se obtuvieron en las aulas de clase.

A través de ésta se originó la idea de investigar y aprender más sobre las nuevas formas de generación de energía eléctrica, también cabe mencionar que en el campo de la producción, transmisión y distribución de energía eléctrica se encuentra una extensa área de oportunidad para la investigación.

5.2.-Recomendaciones

Dentro de las áreas de ingeniería se recomienda crear cursos de capacitación relacionados con la instrumentación virtual, específicamente para los alumnos que cursan las materias de electrónica básica, además de informar de las nuevas tecnologías de instrumentación virtual, esto con la finalidad de aplicar y fortalecer los conocimientos adquiridos en clase al relacionarlos con la práctica.

Es importante que el alumno sea constructor de su propia investigación, realizando una metacognición de sus conocimientos previos con lo nuevo por conocer, siempre con la guía del profesor acompañante, poniendo así todos los conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes adquiridas durante todo su proceso formativo de ingeniería, cumpliendo así el propósito de la investigación, al poner en práctica todos los aprendizajes adquiridos en las aulas y ser éstos transformados y aplicados en la vida diaria, aportando herramientas útiles en la ciencia y tecnología en pro de la vida en sociedad.

Fuentes de información

1. .-ELECTRICIDAD (S.F.) RECUPERADO EN 2016, DE <http://www.unesa.net/unesa/html/sabereinvestigar/largoviaje/usamos.htm>
2. .-Notas
3. .-Generación de corriente alterna.(S.F).Recuperado en 2016 de <http://www.electrosector.com/wp-content/ftp/revista40/gene.pdf?3e6e2b>
4. .-Alexander, C & Sadiku, M.(2004),Fundamentos de circuitos eléctricos. Delegación Álvaro Obregón, México D.F: McGRAW-Hill/Interamericana Editores S.A DE C.V
5. .-Morales espinosa, Hiram.(2009).Estudio y caracterización del par interruptor-diodo en un convertidor CD-CD.(Tesis de maestría).Centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico departamento de ingeniería electrónica.
6. .-A. Mendoza Delgado, “Desarrollo de Pulsadores para Control de Motores de CD”, Tesis Profesional, Ingeniero Electrónico, UASLP, Septiembre 2003.
7. .-Charles k. A, Matthew N.O.S.(2006).Fundamentos de circuitos eléctricos. Mexico, MC Graw Hill.
8. .-Boylestad Nashelsky, “Electronica: Teoria de Circuitos”, 6a ed., Prentice Hall, 1997.
9. .-R. Coughlin. F. Driscoll, “Amplificadores Operacionales y integrados lineales”, 5a ed., Prentice may 1999.
10. .-J.M. Benavent García, A. Abellán G., E. Figueres A. “Electrónica de Potencia, teoría y aplicaciones”, 1ª ed. Alfaomega, 2000.
11. .-H. Rashid, Muhammad. “Electrónica de Potencia, circuitos, dispositivos y aplicaciones”, 2ª ed., Prentice Hall., 1995.

Apéndices

1) Hoja de especificaciones de 6N135

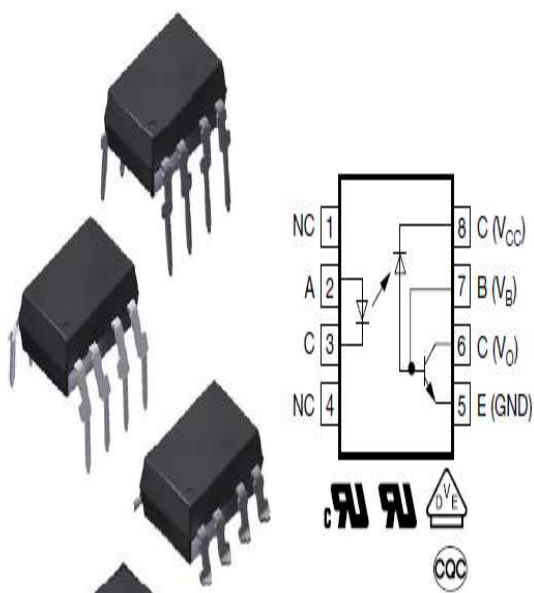
VISHAY

<http://www.vishay.com> [vishay.com](http://www.vishay.com)

6N135, 6N136

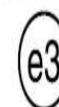
Vishay Semiconductors

High Speed Optocoupler, 1 MBd, Photodiode with Transistor Output



FEATURES

- Isolation test voltages: 5300 V_{RMS}
- TTL compatible
- High bit rates: 1 Mbit/s
- High common-mode interference immunity
- Bandwidth 2 MHz
- Open-collector output
- External base wiring possible
- Material categorization:
for definitions of compliance please see
www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT

HALOGEN
FREE

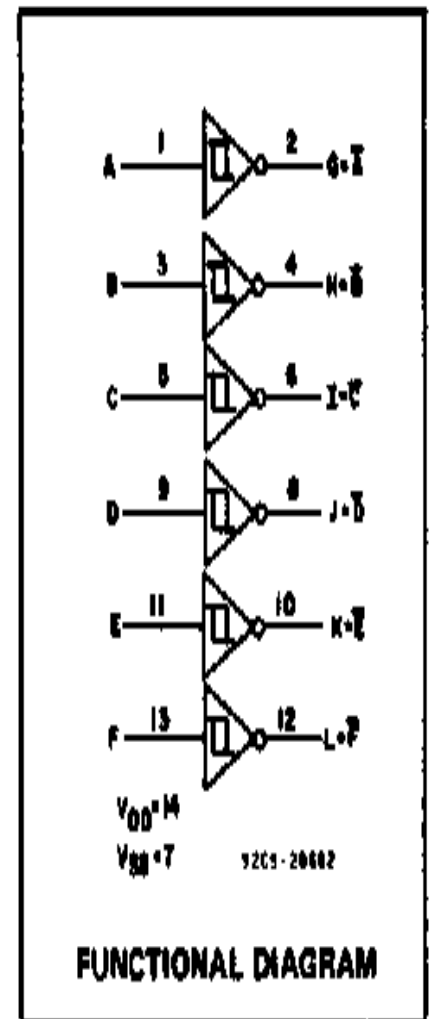
GREEN
(5-2008)

2) Hoja de especificaciones de CD40106 B

CD40106B Types

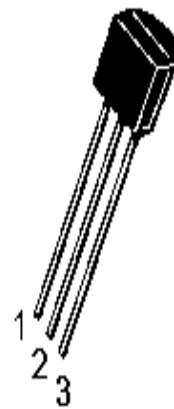
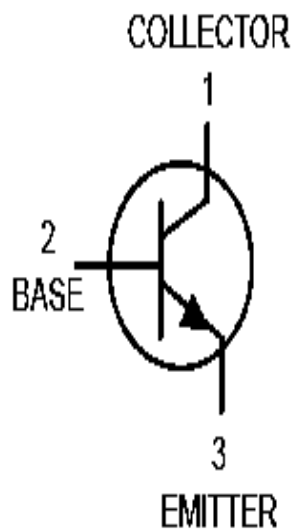
Features:

- Schmitt-trigger action with no external components
- Hysteresis voltage (typ.) 0.9 V at $V_{DD} = 5$ V, 2.3 V at $V_{DD} = 10$ V, and 3.5 V at $V_{DD} = 15$ V
- Noise immunity greater than 50%
- No limit on input rise and fall times
- Standardized, symmetrical output characteristics
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Maximum input current of 1 μ A at 18 V over full package-temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- Low V_{DD} to V_{SS} current during slow input ramp
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"



3) Hoja de especificaciones de 2N2222A

P2N2222A



**CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)**

4) Hoja de especificaciones de HEF4081B

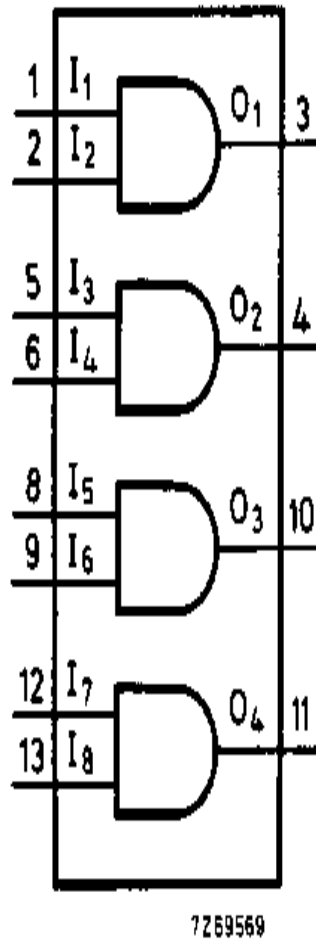


Fig.1 Functional diagram.

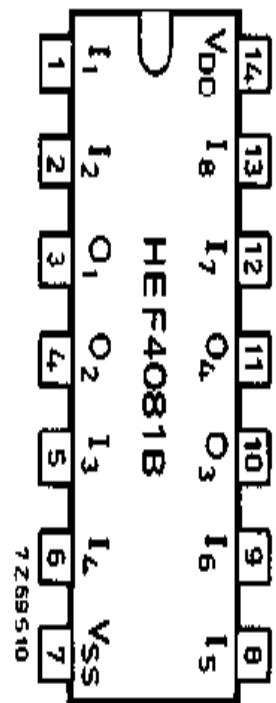
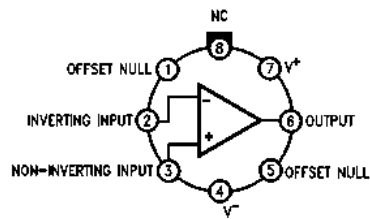


Fig.2 Pinning diagram.

5) Hoja de especificaciones del LM741 y LM311

Metal Can Package

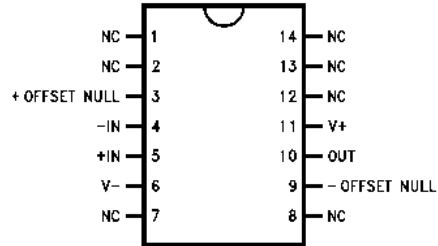


D909341-2

Note 8: LM741H is available per JM38510/10101

Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 8),
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

Ceramic Dual-In-Line Package



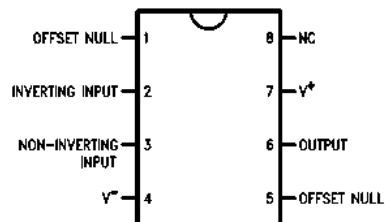
D909341-5

Note 9: also available per JM38510/10101

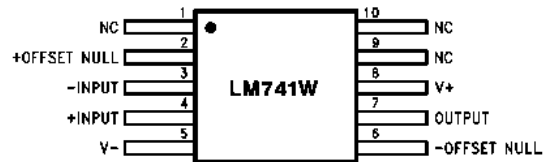
Note 10: also available per JM38510/10102

Order Number LM741J-14/883 (Note 9),
LM741AJ-14/883 (Note 10)
See NS Package Number J14A

Dual-In-Line or S.O. Package

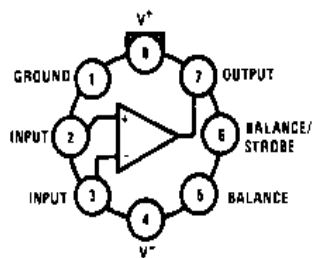


Ceramic Flatpak



D909341-6

Metal Can Package

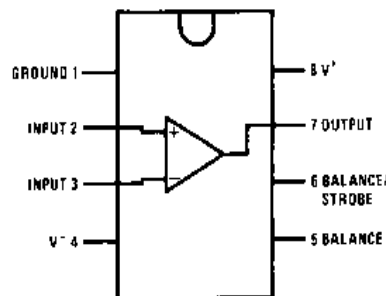


00570406

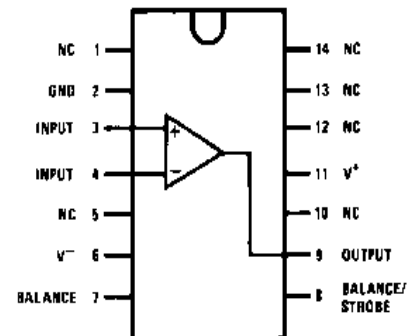
Top View

Order Number LM111H, LM111H/883(Note 21) , LM211H or LM311H
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line Package



Dual-In-Line Package

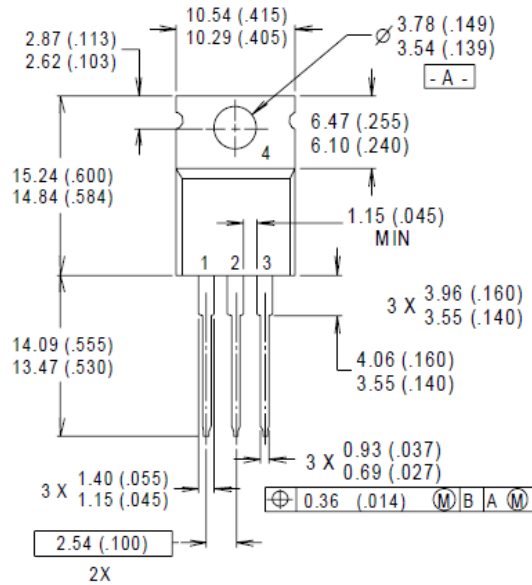


00570435

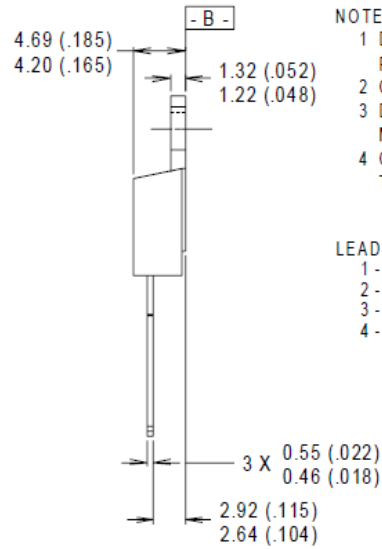
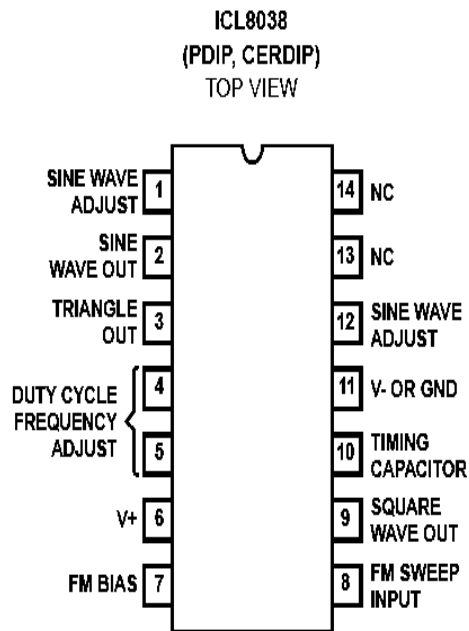
Top View

Order Number LM111J-8, LM111J-8/883(Note 21),

6) Hoja de especificaciones de ICL8038



Pinout



NOTES:

- 1 DIMENSIONS & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
- 2 CONTROLLING DIMENSION : INCH.
- 3 DIMENSIONS ARE SHOWN MILLIMETERS (INCHES).
- 4 CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-220AB.

LEAD ASSIGNMENTS

- 1 - GATE
- 2 - COLLECTOR
- 3 - EMITTER
- 4 - COLLECTOR

Functional Diagram

