



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA:

"Análisis y aplicación de un generador de imanes permanentes para un sistema de energía eólica"

AUTORES

Manuel David Rodríguez Santillán

Michael Javier León Yungaicela

DIRECTOR: Ing. David Humberto Cárdenas Villacrés. Msc.

GUAYAQUIL

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **MANUEL DAVID RODRÍGUEZ SANTILLÁN** y **MICHAEL JAVIER LEÓN YUNGAICELA** autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, Agosto, 18, 2016

f) _____

f) _____

Autor: Manuel David Rodríguez Santillán

Autor: Michael Javier León Yungaicela

Cédula: 0922827779

Cédula: 0921974549

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Nosotros, **MANUEL DAVID RODRÍGUEZ SANTILLÁN**, con documento de identificación N° **0922827779**, y **MICHAEL JAVIER LEÓN YUNGAICELA**, con documento de identificación N° **0921974549**, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE UN GENERADOR DE IMANES PERMANENTES PARA UN SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Agosto, 18, 2016

f) _____

Autor: Manuel David Rodríguez Santillán

Cédula: 0922827779

f) _____

Autor: Michael Javier León Yungaicela

Cédula: 0921974549

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR

Yo, **DAVID HUMBERTO CARDENAS VILLACRECES**, director del proyecto de Titulación denominado “**Análisis y Aplicación de un Generador de Imanes Permanentes para un Sistema de Energía Eólica**” realizado por los estudiantes, **MANUEL DAVID RODRÍGUEZ SANTILLÁN** y **MICHAEL JAVIER LEÓN YUNGAICELA**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, Agosto, 18, 2016

f) _____

Ing. David Cárdenas Villacreces

MSc.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a mi querida madre Rita Irene Santillán Briones, por haberme inculcado los valores éticos y morales, por su apoyo incondicional en todo momento y circunstancia, a mi padre Manuel Deifilio Rodríguez Tapia por brindarme su apoyo para estudiar la carrera de Ingeniería Eléctrica, a mi hermanita Alicia Paulina, a mi familia que siempre confió en mí. A mis profesores que de una u otra manera ayudaron a mejorar mis perspectivas para crecer como ser humano y ahora como profesional.

Manuel David

En primer lugar quiero dedicar este proyecto de tesis a Dios por todas las bendiciones que me ha brindado en el transcurso de mi vida, a mis padres por su infinito amor y apoyo, permitiéndome alcanzar cada meta de las diferentes etapas de mi vida, por todos los consejos brindados los cuales me han servido para ser una mejor persona. A mi hermano por ser ese gran ejemplo a seguir, por su preocupación y apoyo en mis etapas de estudio, lo cual lo ha convertido en ser digno de toda mi admiración.

Michael Javier

AGRADECIMIENTO

Al finalizar la presente tesis queremos dejar expresado con estas palabras nuestros agradecimientos a:

- A DIOS en primer lugar, quien nos ha brindado toda la sabiduría necesaria para culminar el presente proyecto de tesis.
- A los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana Sede de Guayaquil, por habernos transmitido toda su sabiduría durante el tiempo que duró nuestros estudios universitarios.
- Al Ing. David Humberto Cárdenas Villacrés, tutor de nuestra tesis, por habernos encaminado y guiado para culminar este proyecto.
- Al Ing. Carlos Fernando Chávez Córdova, guía técnico de nuestra tesis, por habernos encaminado y guiado en todo momento para culminar este proyecto.
- A todas las personas que de una u otra forma nos brindaron apoyo y contribuyeron que este tema de tesis se llevara a cabalidad con total éxito.

RESUMEN

El presente proyecto involucra el análisis y aplicación de un generador de imanes de permanentes de neodimio. Después de diseñar y construir un generador con excitación de imanes permanentes se planteó las pruebas de funcionamiento, con la finalidad de ser utilizado posteriormente como un aerogenerador de eje horizontal. Para la simulación y posteriormente construcción de cada una de las piezas, se utilizó un programa de diseño tridimensional (AutoDesk Inventor). La característica principal de éste generador es su campo magnético constante, el cual es generado por sus imanes permanentes de Neodimio ubicados en el rotor. Se consideró que el voltaje terminal inducido sea de 25 Voltios \pm 2 Voltios. Luego de realizar distintas pruebas de funcionamiento a vacío y con diferentes tipos de carga resistiva, se obtuvo los resultados esperados logrando así tener un voltaje terminal de 25,90 Voltios y corriente por fase de 4 Amperios a 600 rev/min y 60 Hertz.

Palabras claves: GENERADOR, IMANES PERMANENTES, CAMPO MAGNÉTICO CONSTANTE.

ABSTRACT

This project involves the analysis and implementation of a permanent magnet generator neodymium. After design and build a generator with permanent magnet excitation function tests, in order to be used later as a horizontal axis wind turbine he was raised. a program of three-dimensional design (AutoDesk Inventor) was used for the simulation and then construction of each of the pieces. The main feature of this generator is its constant magnetic field which is generated by its permanent Neodymium magnets located on the rotor. It was considered that the induced voltage terminal is 25 Volts \pm 2 volts. After performing various tests operating under vacuum and with different types of resistive load obtained thus achieving the expected results have a terminal voltage of 25.90 volts and phase current 4 Amperes 600 rev / min and 60 Hertz.

Keywords: GENERATOR PERMANENT MAGNET, MAGNETIC FIELD CONSTANT.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pag.
PORTADA.....	i
CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvii
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xviii
ABREVIATURAS.....	xix
SIMBOLOGÍA.....	xx
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
EL PROBLEMA	2
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.2. Importancia y Alcances.....	2
1.3. Delimitación.....	9
1.4. Objetivos.....	9
1.4.1. Objetivo General.....	9
1.4.2. Objetivos Específicos.....	9
CAPÍTULO 2	10
MARCO TEÓRICO.....	10

2.1.	Parámetros Eléctricos.	10
2.1.1.	Corriente Eléctrica.	10
2.1.2.	Diferencia de Potencial.	10
2.1.3.	Resistencia Eléctrica.	11
2.1.4.	Potencia Eléctrica.	11
2.2.	Definición de las Partes Principales del Generador.	12
2.2.1.	Estator.	12
2.2.2.	Rotor.	13
2.2.3.	Bobina Eléctrica.	14
2.2.3.1.1.	Bobinas Fijas.	14
2.2.3.1.2.	Bobinas Variables.	16
2.2.4.	Imanes Permanentes.	16
2.2.5.	Rodamientos.	18
2.3.	Conceptos Generales del Proyecto.	19
2.3.1.	Generador Eléctrico.	19
2.3.2.	Generador Sincrónico.	20
2.3.2.1.1.	El sistema de excitación propia.	23
2.3.2.1.2.	El sistema de autoexcitación.	23
2.3.3.	Aerogenerador.	28
2.3.4.	Tipos de Aerogeneradores con Imanes Permanentes.	28
2.3.5.	Campo Magnético.	30
2.3.6.	Inducción Magnética.	30
2.3.7.	Intensidad de Campo Magnético.	31
2.3.8.	Inducción Electromagnética.	31
2.3.9.	Fuerza Electromotriz.	31
2.3.10.	Ley De Faraday – Lenz.	32
CAPÍTULO 3		33

MARCO METODOLÓGICO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR.....	33
3.1. Metodología.....	33
3.1.1. Método Investigativo.	33
3.1.2. Método Analítico.	33
3.1.3. Método Experimental.....	33
3.2. Técnicas de Investigación.	34
3.2.1. Técnica Documental.....	34
3.2.2. Técnica De Campo.	34
3.3. Parámetros del Generador de Imanes Permanentes.....	34
3.3.1. Cálculo del Número de Polos.....	35
3.3.2. Cálculo del Número de Bobinas.	35
3.3.3. Selección de los Imanes Permanentes.....	36
3.3.4. Selección del conductor de las bobinas.....	36
3.4. Fabricación y Ensamble del Estator.	36
3.4.1. Armadura del Estator.	36
3.4.2. Construcción de las Bobinas.	41
3.4.3. Conexión de Bobinas.	43
3.4.4. Ensamble Final del Estator.....	46
3.5. Fabricación y Ensamble del Rotor Inductor.	46
3.5.1. Montaje del Collar de Imanes.	48
3.6. Fabricación de la Carcasa del Generador.	51
3.7. Ensamble Final del Generador de Imanes Permanentes.....	53
3.8. Construcción de Mesa y Soporte para Pruebas.	54
3.9. Presupuesto de la Construcción del Generador de Imanes Permanentes.	59
CAPÍTULO 4.....	60
PRUEBAS DE LABORATORIO (TABLAS Y CURVAS)	60

4.1.	Características a Vacío del Generador a Frecuencia Variable.	60
4.1.1.	Característica Fasorial y Senoidal del Voltaje Línea – Línea.	60
4.1.2.	Característica Fasorial y Senoidal de Voltaje Línea – Neutro.	62
4.1.3.	Tabla de Valores Experimentales.....	64
4.1.4.	Tabla De Valores Calculados.....	65
4.1.5.	Gráficas Obtenidas.	66
4.2.	Características del Generador con Frecuencia Constante y Carga Resistiva Variable.	69
4.2.1.	Tabla de Valores Experimentales con Frecuencia Constante y Carga Resistiva Variable.	69
4.2.2.	Tabla De Valores Calculados con Frecuencia Constante y Carga Resistiva Variable.	70
CAPÍTULO 5.....		72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		72
5.1.	Conclusiones.	72
5.2.	Recomendaciones.	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		76
ANEXOS		78
ANEXO A.....		79
ANEXO B.....		80
ANEXO C.....		81
ANEXO D.....		90
ANEXO E.....		93
ANEXO F.....		96
ANEXO G.....		98

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Velocidad de vientos predominantes (Enero)	4
<i>Figura 2.</i> Velocidad de vientos predominantes (Febrero)	4
<i>Figura 3.</i> Velocidad de vientos predominantes (Marzo)	5
<i>Figura 4.</i> Velocidad de vientos predominantes (Abril)	5
<i>Figura 5.</i> Velocidad de vientos predominantes (Mayo)	6
<i>Figura 6.</i> Velocidad de vientos predominantes (Junio).....	6
<i>Figura 7.</i> Velocidad de vientos predominantes (Julio).....	7
<i>Figura 8.</i> Velocidad de vientos predominantes (Agosto)	7
<i>Figura 9.</i> Velocidad de vientos predominantes (Septiembre)	8
<i>Figura 10.</i> Velocidad de vientos predominantes (Octubre).....	8
<i>Figura 11.</i> Estator	12
<i>Figura 12.</i> Rotor inductor	13
<i>Figura 13.</i> Bobina o Inductor.....	14
<i>Figura 14.</i> Bobina con núcleo de aire	15
<i>Figura 15.</i> Bobina con núcleo de ferrita	15
<i>Figura 16.</i> Bobina con núcleo de hierro	16
<i>Figura 17.</i> Bobina variable	16
<i>Figura 18.</i> Imán permanente de Neodimio N-42.....	18
<i>Figura 19.</i> Rodamiento Koyo SA205 - 16.....	19
<i>Figura 20.</i> Generador Sincrónico	21
<i>Figura 21.</i> Rotor de seis polos salientes en máquina sincrónica	21
<i>Figura 22.</i> Rotor de polos no salientes en una máquina sincrónica.....	22
<i>Figura 23.</i> Distribución de los imanes permanentes en máquinas de flujo radial	25
<i>Figura 24.</i> Distribución de los imanes permanentes en máquinas de flujo axial	26

<i>Figura 25.</i> Aerogeneradores	28
<i>Figura 26.</i> Aerogenerador de eje vertical	29
<i>Figura 27.</i> Aerogenerador de eje horizontal	30
<i>Figura 28.</i> Vistas del estator del generador tipo axial	37
<i>Figura 29.</i> Diseño de cabezas de las bobinas del estator	38
<i>Figura 30.</i> Diseño de los núcleos de las bobinas del estator	38
<i>Figura 31.</i> Núcleos de las bobinas del estator	39
<i>Figura 32.</i> Diseño de la placa principal de la armadura del estator.....	39
<i>Figura 33.</i> Placa principal de la armadura del estator	40
<i>Figura 34.</i> Armadura del estator	40
<i>Figura 35.</i> Construcción de las bobinas del estator	42
<i>Figura 36.</i> Bobinas del estator	42
<i>Figura 37.</i> Ensamble de las bobinas en la armadura del estator	43
<i>Figura 38.</i> Estator del generador	43
<i>Figura 39.</i> Diseño de la conexión de las bobinas del generador	44
<i>Figura 40.</i> Estator del generador en conexión estrella	45
<i>Figura 41.</i> Diseño del rotor inductor	47
<i>Figura 42.</i> Fabricación del rotor inductor del generador.....	48
<i>Figura 43.</i> Montaje del collar de imanes en el disco inductor.....	50
<i>Figura 44.</i> Pintado base del rotor inductor	50
<i>Figura 45.</i> Pintado final del rotor inductor	51
<i>Figura 46.</i> Diseño del disco posterior de la carcasa del generador	52
<i>Figura 47.</i> Discos de la carcasa del generador	52
<i>Figura 48.</i> Diseño del disco frontal de la carcasa del generador	53
<i>Figura 49.</i> Rodamientos con sus soportes de brida	54

<i>Figura 50.</i> Vista tridimensional del ensamble de las partes del generador	54
<i>Figura 51.</i> Construcción de la base de la mesa del generador.....	55
<i>Figura 52.</i> Soldada de las garruchas a la base de la mesa del generador	55
<i>Figura 53.</i> Mesa de acople de la máquina primaria.....	56
<i>Figura 54.</i> Acople de la máquina primaria con el generador tipo axial	56
<i>Figura 55.</i> Diseño del soporte del generador.....	57
<i>Figura 56.</i> Pintado de los soportes del generador.....	57
<i>Figura 57.</i> Generador de imanes permanentes acoplado a la maquina primaria.....	58
<i>Figura 58.</i> Diagrama Fasorial Voltaje Línea – Línea secuencia (+) R-S-T.....	60
<i>Figura 59.</i> Diagrama Senoidal Voltaje Línea – Línea secuencia (+) R-S-T	61
<i>Figura 60.</i> Generación de Onda Sinusoidal a partir del Diagrama Fasorial.....	62
<i>Figura 61.</i> Diagrama Fasorial Voltaje Línea – Neutro secuencia (+) R-S-T	62
<i>Figura 62.</i> Diagrama Senoidal Voltaje Línea – Neutro secuencia (+) R-S-T	63
<i>Figura 63.</i> Generación de Onda Sinusoidal a partir del Diagrama Fasorial.....	64
<i>Figura 64.</i> Cámara termográfica mostrando puntos de calor en los núcleos de las bobinas.	75
<i>Figura 65.</i> Conexión del motor Hampden DYN - 400.....	91
<i>Figura 66.</i> Conexión del Generador a los equipos de medición.....	92
<i>Figura 67.</i> Conexión del motor Hampden DYN - 400.....	94
<i>Figura 68.</i> Conexión del Generador a los equipos de medición.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades de un generador síncrono (rpm)	27
Tabla 2. Presupuesto del proyecto	59
Tabla 3. Valores Experimentales	64
Tabla 4. Valores Calculados	65
Tabla 5. Valores Experimentales	69
Tabla 6. Valores Calculados	70
Tabla 7. Placa del Generador	73

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Intensidad	10
Ecuación 2. Diferencia de potencial.....	10
Ecuación 3. Resistencia eléctrica	11
Ecuación 4. Potencia Eléctrica Trifásica.....	11
Ecuación 5. Frecuencia Eléctrica	22
Ecuación 6. Velocidad de un generador síncrono (rpm).....	28
Ecuación 7. Inducción magnética	31
Ecuación 8. Fem inducida en un conductor	31
Ecuación 9. Ley de Faraday – Lenz	32
Ecuación 10. Número de polos	35
Ecuación 11. Número de bobinas.....	35
Ecuación 12. Constante de la relación entre el V_{l-l} y el V_{l-n}	65
Ecuación 13. Constante de operación magnética.	65
Ecuación 14. Constante sincrónica.	65
Ecuación 15. Impedancia sincrónica.....	70
Ecuación 16. Porcentaje de rendimiento del generador.	71

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Constante K1	66
Gráfica 2. Constante K2.....	67
Gráfica 3. Constante K3.....	67
Gráfica 4. Fem [V] Vs. Torque aplicado [N.m].....	68
Gráfica 5. Curva de magnetización a diferentes rpm.....	68

ABREVIATURAS

\pm	Más, menos.
I	Intensidad de corriente.
q	Carga que recorre una sección del conductor.
t	Tiempo.
V	Diferencia de potencial.
W	Trabajo para desplazar una carga.
R	Resistencia eléctrica.
P	Potencia eléctrica.
$\cos \emptyset$	Coseno del ángulo.
AWG	Calibre de alambre Estadounidense.
Cap.	Capítulo.
N-42	Grado de imán de Neodimio.
fem	Fuerza electromotriz.
DC	Corriente continua.
CC	Corriente alterna.
rpm	Revoluciones por minuto.
f	Frecuencia eléctrica.
n	Velocidad mecánica del rotor.
p	Número de polos.
N	Norte.
S	Sur.
n°	Número.
B	Inducción magnética.
u	Permeabilidad magnética.
H	Intensidad de campo magnético.
\mathcal{E}	fem
l	Longitud.
v	Velocidad rotacional del campo.
$e_{inducido}$	Voltaje inducido.
N	Número de vueltas en una bobina.
φ	Flujo de inducción magnética.
pp	Pares de polos.
V l-l	Voltaje Línea – Línea.
V l-n	Voltaje Línea – Neutro.
N_b	Número de bobinas.
K_1	Constante de relación entre V l-l y V l-n.
m	Pendiente de una recta.
K_2	Constante de operación magnética.
K_3	Constante sincrónica.
$T_{aplicado}$	Torque aplicado.
Z_s	Impedancia sincrónica.
V_f	Voltaje de fase.

SIMBOLOGÍA

m	Metros.
s	Segundos.
A	Amperios.
C	Culombios.
V	Voltios.
J	Julios.
Ω	Ohmios.
plg	Pulgadas.
H	Henrios.
mH	Milihenrios.
uH	Microhenrios.
Nd	Neodimio.
Fe	Hierro.
B	Boro.
Sm	Samario.
Co	Cobalto.
Hz	Hertz.
G	Gauss
T	Tesla.
Wb	Weber.
π	Pi, 3,141592654.
\$	Dólares.
W	Vatios.
%	Porcentaje.

INTRODUCCIÓN

El cuidado del medio ambiente, la viabilidad económica y el consumo energético han motivado a utilizar fuentes de energía renovables como la energía eólica, solar y biomasa, entre otras.

Los parques eólicos construidos en tierra proporcionan una fuente de energía cada vez más barata y competitiva, e incluso más barata en muchas regiones que otras fuentes de energía convencionales.

El presente trabajo pretende, ser un material instructivo para profundizar en el conocimiento de los fundamentos de la generación eléctrica a través de la energía eólica.

Por lo tanto, se ha diseñado y construido un prototipo de generador con excitación de imanes permanentes al cual se ha hecho diferentes pruebas de funcionamiento en el laboratorio de Motores y Generadores de La Universal Politécnica Salesiana, para su futura aplicación en un aerogenerador de baja potencia. En el documento presentado a continuación se detallan, el desarrollo, los resultados y las conclusiones que se han obtenido en este trabajo, además los conocimientos teóricos que lo fundamentan, para la comprensión total del proyecto.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema.

Debido a la falta de una máquina eléctrica, que aproveche las condiciones climáticas para la generación de energía utilizando el viento, en la Universidad Politécnica Salesiana, se decidió diseñar y construir un generador con rotor de imanes permanentes, para ser utilizado en una aplicación de un sistema de energía eólica, aprovechando las velocidades de viento, que tenemos en la terraza del edificio de la Universidad Politécnica Salesiana Bloque B, a fin de que se pueda conectar a un banco de baterías y su futura conexión a la red eléctrica.

1.2. Importancia y Alcances.

En la actualidad el gobierno ha identificado que para el año 2030 la generación eléctrica del país, va a ser predominada por la producción de energía en hidroeléctricas y de fuentes renovables alternativas como la eólica, la solar, la de biomasa y la geotérmica, teniendo energía eléctrica con fuentes renovables entre el 80% y 90% de la electricidad generada. Como se da a conocer en el “Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017” (capítulo 5.1.4 Matriz productiva y sectores estratégicos - Oferta de bienes y servicios). El propósito de este proyecto, además de analizar el comportamiento del generador de imanes permanentes a través de las pruebas a realizarse, promueve a incentivar el estudio de las energías renovables y de esta manera concientizar en la reducción de contaminación ambiental, en la actualidad aún existe el modelo energético a base de combustibles como su principal fuente, generando un gran impacto ambiental. Los estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, podrán constatar el funcionamiento práctico de un generador trifásico con excitación de imanes permanentes, a nivel de ingeniería eléctrica, el sistema ayudará al estudiante a interpretar de manera más rápida y práctica el comportamiento del equipo estacionario eléctrico, fortaleciendo la

parte técnica de conocimiento y asociando a proyectos de desarrollo utilizando recursos naturales renovables. La tendencia de consumo de energía revela el crecimiento de la demanda energética a nivel nacional e internacional (El Banco mundial, 2016). Por tanto para lograr una sostenibilidad económica y ambiental, la tendencia mundial, es aprovechar las fuentes renovables para la generación de electricidad (REN21, 2015). Por tal motivo se determinó realizar este proyecto teniendo en cuenta que un aerogenerador es un generador eléctrico que funciona convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una turbina eólica y en energía eléctrica gracias a un generador. Para aplicaciones de generación mediante energía eólica, la energía generada dependerá de factores como la cantidad de viento existente y la potencia del aerogenerador. Para tener referencia de la cantidad de viento existente en Guayaquil se encontraron gráficas con datos de las velocidades promedio en los últimos años en la página web del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), detallando el comportamiento del viento en cada mes del año, como se muestra a continuación:

En las siguientes gráficas se podrá observar comparaciones de velocidades normales y velocidades del mes a presentarse, tomando en cuenta los colores representativos en cada gráfica.

Esto es:

Lectura del mes: 

Lectura normal: 

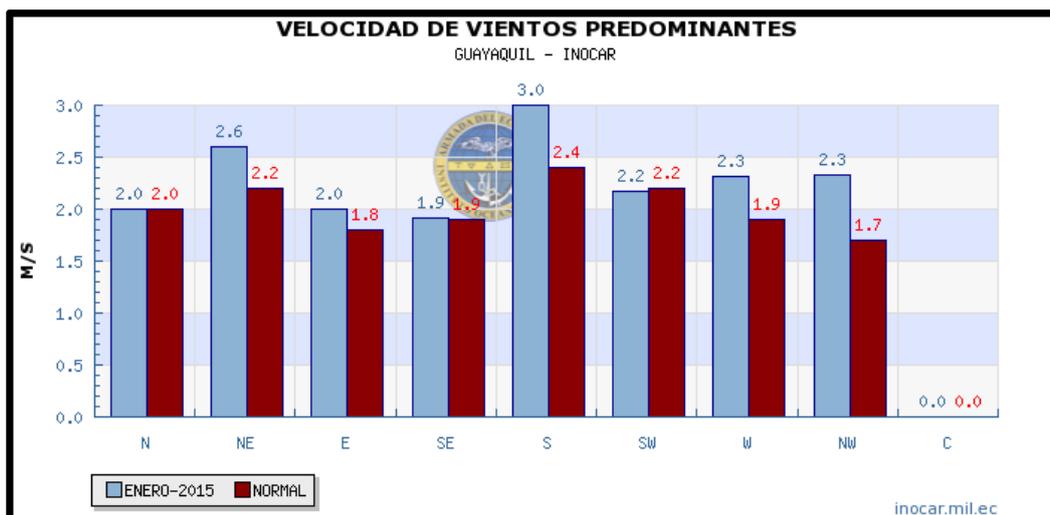


Figura 1. Velocidad de vientos predominantes (Enero)

Fuente: (INOCAR, 2015)

En la figura 1. Observamos que la mayor velocidad de viento se intuye en la dirección Sur (3 m/s), y la menor cantidad de viento se percibe en la dirección Norte y Este (2 m/s).

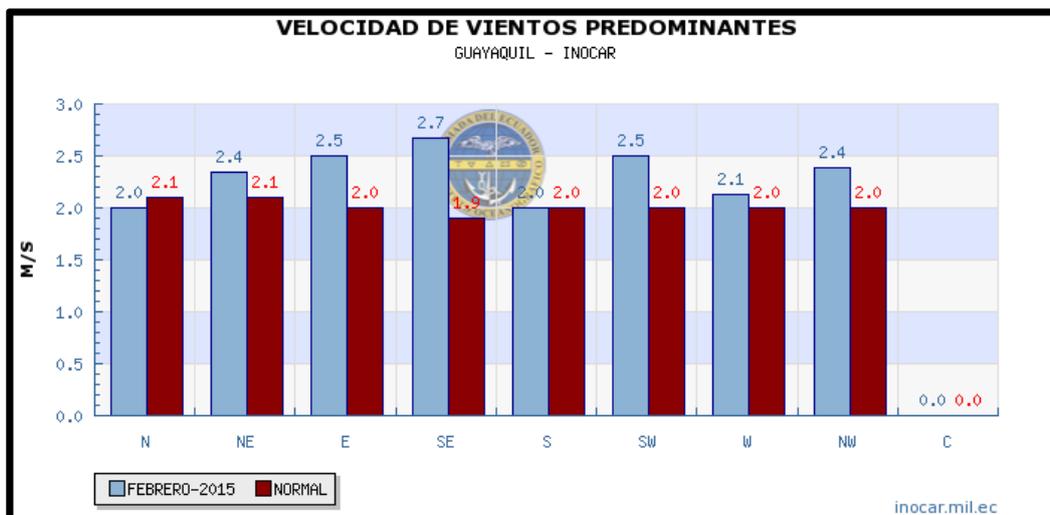


Figura 2. Velocidad de vientos predominantes (Febrero)

Fuente: (INOCAR, 2015)

En la figura 2. Observamos que la mayor velocidad de viento se intuye en la dirección Sureste (2.7 m/s), y la menor cantidad de viento se percibe en la dirección Norte y Sur (2 m/s).

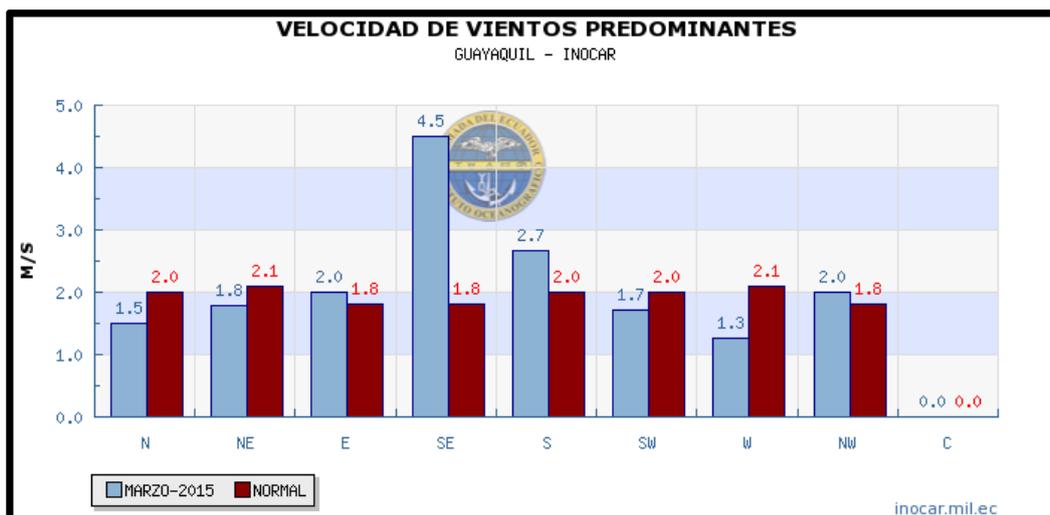


Figura 3. Velocidad de vientos predominantes (Marzo)

Fuente: (INOCAR, 2015)

En la figura 3. Observamos que la mayor velocidad de viento se intuye en la dirección Sureste (4.5 m/s), y la menor cantidad de viento se percibe en la dirección Oeste (1.3 m/s).

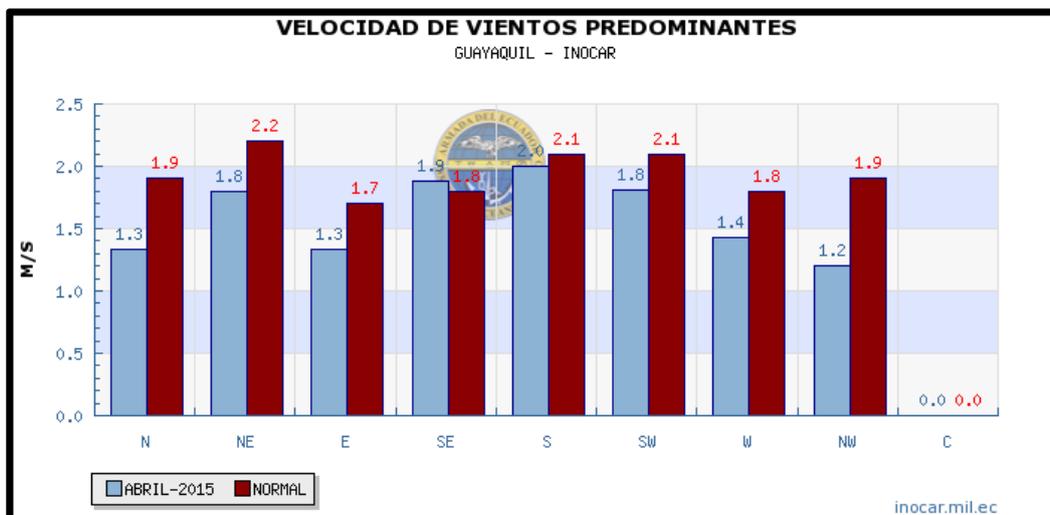


Figura 4. Velocidad de vientos predominantes (Abril)

Fuente: (INOCAR, 2015)

En la figura 4. Observamos que la mayor velocidad de viento se intuye en la dirección Sureste (1.9 m/s), y la menor cantidad de viento se percibe en la dirección Noroeste (1.2 m/s).

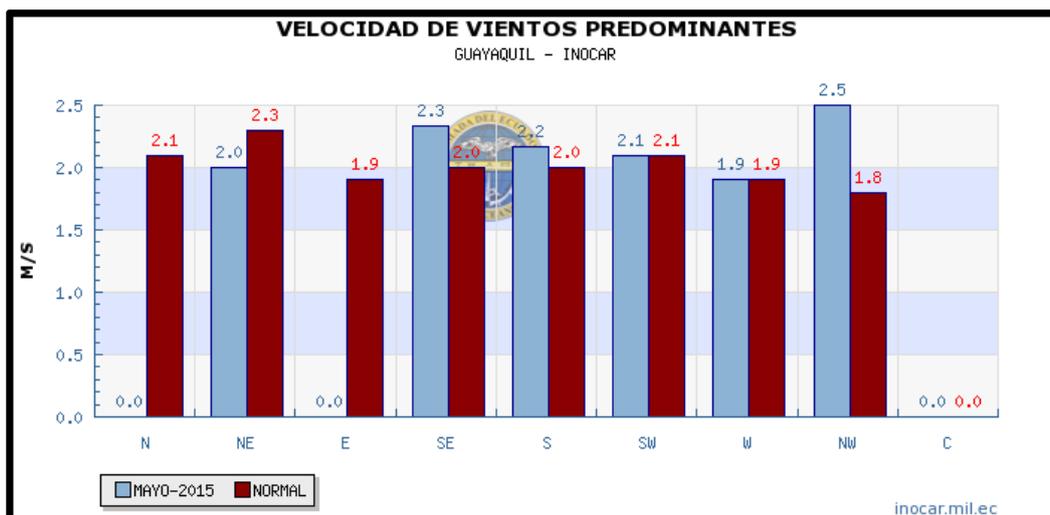


Figura 5. Velocidad de vientos predominantes (Mayo)

Fuente: (INOCAR, 2015)

En la figura 5. Observamos que la mayor velocidad de viento se intuye en la dirección Noroeste (2.5 m/s), y la menor cantidad de viento se percibe en la dirección Oeste (1.9 m/s).

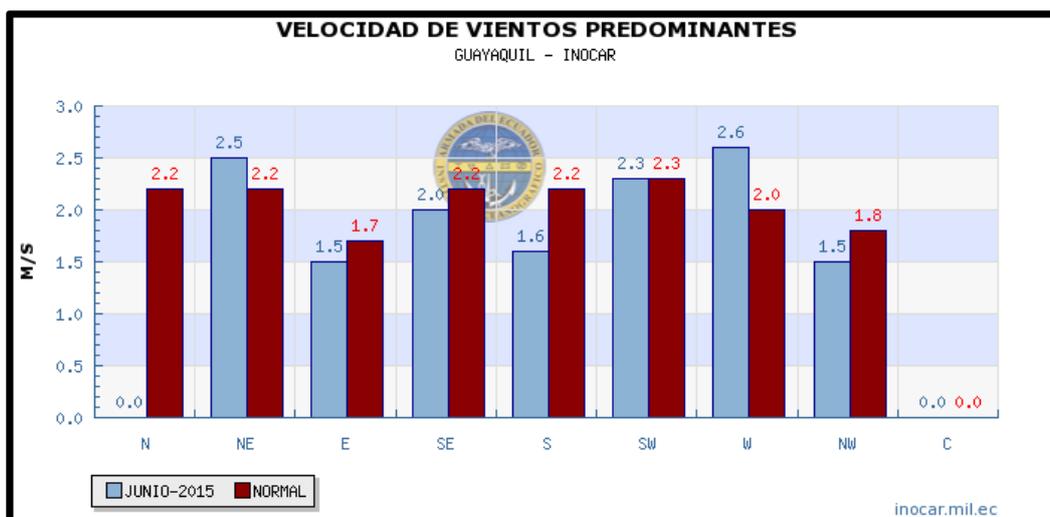


Figura 6. Velocidad de vientos predominantes (Junio)

Fuente: (INOCAR, 2015)

En la figura 6. Observamos que la mayor velocidad de viento se intuye en la dirección Oeste (2.6 m/s), y la menor cantidad de viento se percibe en la dirección Este y Noroeste (1.5 m/s).

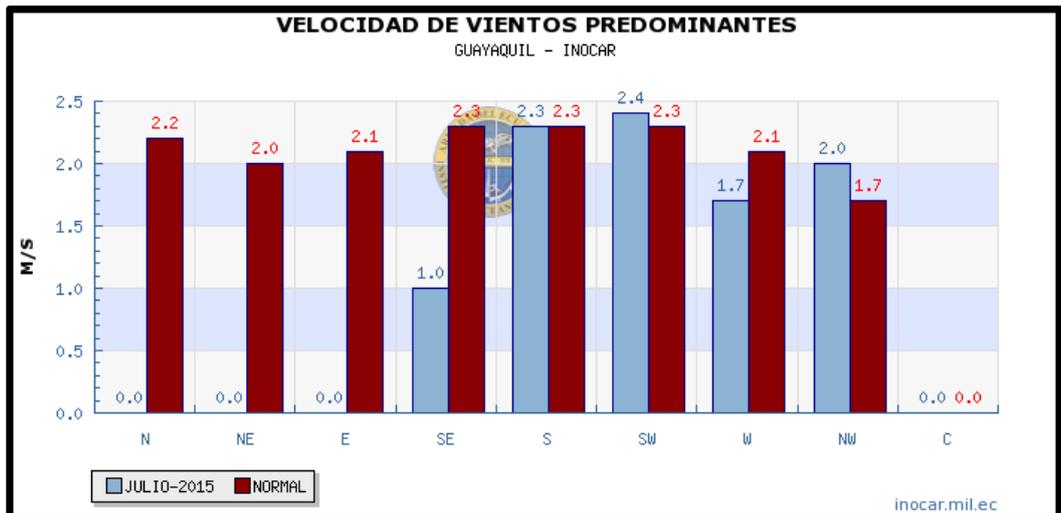


Figura 7. Velocidad de vientos predominantes (Julio)

Fuente: (INOCAR, 2015)

En la figura 7. Observamos que la mayor velocidad de viento se intuye en la dirección Suroeste (2.4 m/s), y la menor cantidad de viento se percibe en la dirección Sureste (1 m/s).

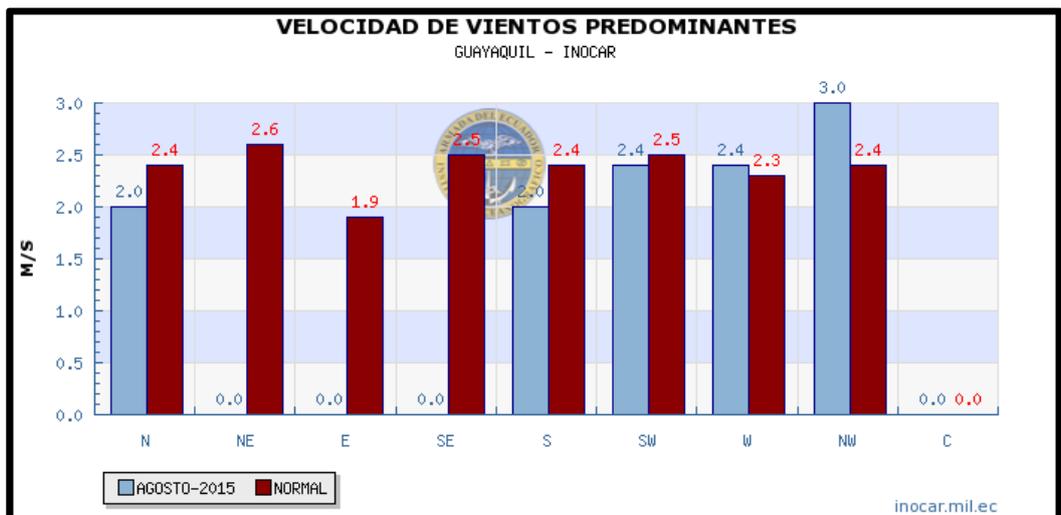


Figura 8. Velocidad de vientos predominantes (Agosto)

Fuente: (INOCAR, 2015)

En la figura 8. Observamos que la mayor velocidad de viento se intuye en la dirección Noroeste (3 m/s), y la menor cantidad de viento se percibe en la dirección Norte (2 m/s).

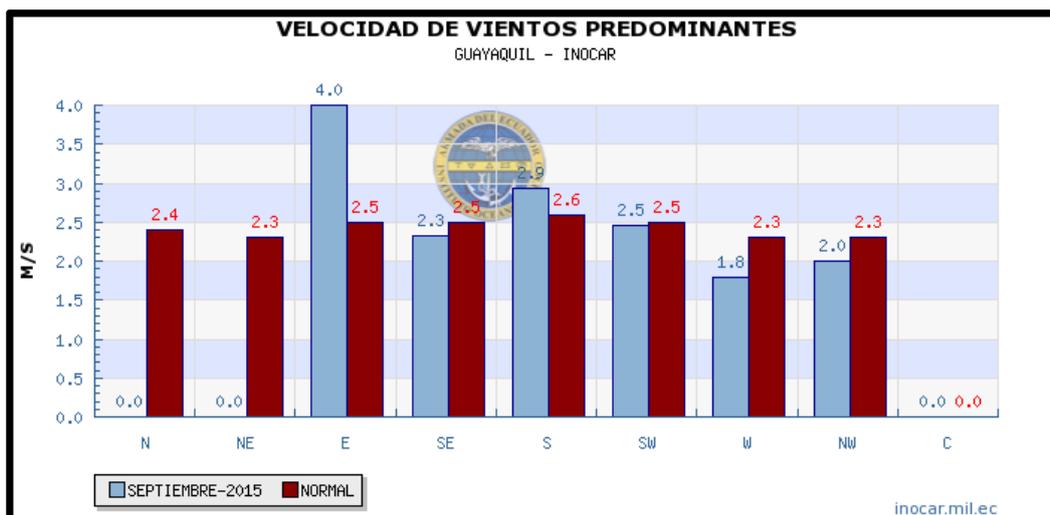


Figura 9. Velocidad de vientos predominantes (Septiembre)

Fuente: (INOCAR, 2015)

En la figura 9. Observamos que la mayor velocidad de viento se intuye en la dirección Este (4 m/s), y la menor cantidad de viento se percibe en la dirección Oeste (1.8 m/s).

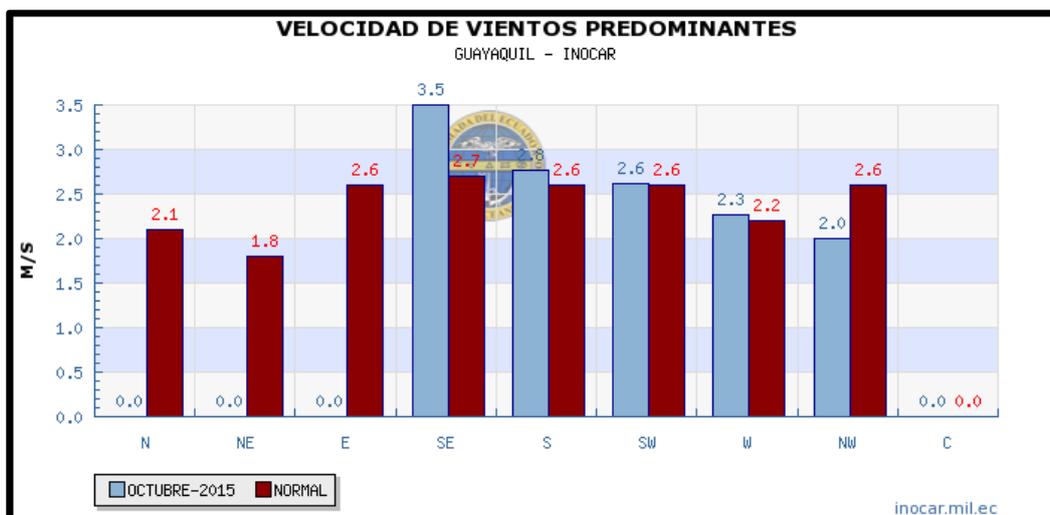


Figura 10. Velocidad de vientos predominantes (Octubre)

Fuente: (INOCAR, 2015)

En la figura 10. Observamos que la mayor velocidad de viento se intuye en la dirección Sureste (3.5 m/s), y la menor cantidad de viento se percibe en la dirección Noroeste (2 m/s).

Nota: Los gráficos a partir del año 2013, tienen como referencia las velocidades normales del periodo 1981 - 2010.

Fuente: INOCAR (Instituto Nacional Oceanográfico de la Armada)

1.3. Delimitación.

El diseño y construcción del generador con rotor de imanes permanentes de eje horizontal, tendrá como máxima entrega 25 Voltios \pm 2 Voltios en cada fase y 4 Amperios \pm 1 Amperio, realizando pruebas de funcionamiento en el Laboratorio de Motores y Generadores ubicado en el bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil. Con la finalidad de ser utilizado en futuras aplicaciones como un aerogenerador de eje horizontal, para rectificar el voltaje terminal y conectar un banco de baterías y así tener una generación de energía eléctrica mediante energía eólica.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Diseñar, construir y realizar pruebas de funcionamiento de un generador con excitación de imanes permanentes para un sistema de energía eólica.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Diseñar un generador de tipo eje horizontal con excitación de imanes permanentes.
- Construir un generador de tipo eje horizontal con excitación de imanes permanentes.
- Demostrar el correcto funcionamiento del generador mediante pruebas y mediciones.
- Realizar tablas y gráficas demostrando el desempeño del generador.
- Fortalecer la investigación científica en los ámbitos energéticos, de generación y uso sustentable de energía renovable, para la industria, hogares, transporte y producción.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Parámetros Eléctricos.

2.1.1. Corriente Eléctrica.

La corriente eléctrica es el desplazamiento de cargas eléctricas de un punto a otro en un conductor. Se llama intensidad de corriente eléctrica (I) a la carga que recorre una sección del conductor la unidad de la intensidad de corriente eléctrica viene dada en amperio (A), que equivale a un flujo de cargas de un culombio (C) por segundo (s) esto es:

$$I = \frac{q \text{ (Culombios)}}{t \text{ (segundos)}} = 1 \text{ Amperio}$$

Ecuación 1. Intensidad

Fuente: (Chapman, 2000)

Donde:

I : Intensidad (A)

q : Carga que recorre una sección del conductor (C)

t : Tiempo que utiliza la carga en recorrer (s)

2.1.2. Diferencia de Potencial.

La diferencia de potencial (V) es el trabajo (W) esencial para llevar la unidad de carga eléctrica de un punto a otro. La unidad de la diferencia de potencial viene dada en voltio (V), para llevar 1 C de carga de un punto a otro de un conductor es esencial ejecutar un trabajo de 1 J, la diferencia de potencial entre ambos es de 1 V esto es:

$$V = \frac{W \text{ (Julios)}}{q \text{ (Culombios)}} = 1 \text{ Voltio}$$

Ecuación 2. Diferencia de potencial

Fuente: (Chapman, 2000)

Donde:

V: Diferencia de potencial (V)

W: Trabajo para desplazar una carga (J)

2.1.3. Resistencia Eléctrica.

Todo conductor tiene una resistencia eléctrica (R) que se opone al paso de una corriente eléctrica, la resistencia eléctrica depende de las características geométricas del conductor, del material de construcción y su temperatura. La resistencia eléctrica fija la intensidad de la corriente obtenida por una diferencia de potencial dada. La unidad de la resistencia eléctrica viene dada en ohmios (Ω) y significa la resistencia de un conductor en el que con una diferencia de potencial aplicada de 1 V, circula una corriente de 1 A de intensidad esto es:

$$R = \frac{V \text{ (Voltios)}}{I \text{ (Amperios)}} = 1 \text{ Ohmio}$$

Ecuación 3. Resistencia eléctrica

Fuente: (Chapman, 2000)

Donde:

R: Resistencia eléctrica (Ω)

2.1.4. Potencia Eléctrica.

Se denomina potencia eléctrica a la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo, es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La potencia eléctrica se representa con la letra P y la unidad de medida es el Vatio (Watt). En este proyecto se utilizará la potencia eléctrica trifásica.

La Potencia trifásica viene dada por la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi$$

Ecuación 4. Potencia Eléctrica Trifásica

Fuente: (Chapman, 2000)

2.2. Definición de las Partes Principales del Generador.

2.2.1. Estator.

El estator es la parte fija de la máquina. Está formado por una carcasa metálica que sirve de soporte, dentro del mismo se encuentra el núcleo del inducido, donde se monta el que será el devanado o bobinas del inducido. Por el estator circula toda la energía eléctrica generada.

El arreglo estático según el diseño y el tipo de generador seleccionado para la aplicación (Generador de Imanes Permanentes de Flujo Axial) consta de un arreglo de 9 bobinas de cobre calibre #22 AWG ver (*figura 11*). El bobinado se ha configurado de tal forma que la corriente obtenida sea del tipo trifásica. La conexión del bobinado se hizo mediante la configuración “estrella” (Ver *figura 39*). Lo que facilita la generación de voltaje a bajas revoluciones.



Figura 11. Estator

Fuente: Los Autores

2.2.2. Rotor.

Es el elemento que presenta movimiento rotacional en las máquinas eléctricas como motores y generadores, en este caso el rotor es el encargado de realizar movimiento rotacional, presentando un eje que pasa por el centro del estator (Ver *figura 12*). Es llamado también rotor inductor ya que tiene como función producir un campo magnético giratorio, en este proyecto el rotor inductor está constituido por un grupo de imanes con campo magnético permanente (Ver *figura 12*), al girar el rotor inductor, permitirá inducir un campo magnético rotacional en las bobinas del estator generando una diferencia de potencial también llamado voltaje inducido o fuerza electromotriz determinado por la Ley de Faraday – Lenz (Ver Cap. 2.3.10.).

Para esta aplicación, el rotor inductor está compuesto de un plato metálico circular de 8 plg de diámetro y de 1/8 plg de espesor, en el cual se han fijado, mediante una capa de soldadura al frío, 12 imanes de neodimio de grado N-42 (Ver Anexo A).



Figura 12. Rotor inductor

Fuente: Los Autores

2.2.3. Bobina Eléctrica.

La bobina o inductor por su apariencia (espiras de alambre enrollados sobre un núcleo) es aquella que acumula energía en forma de campo magnético.

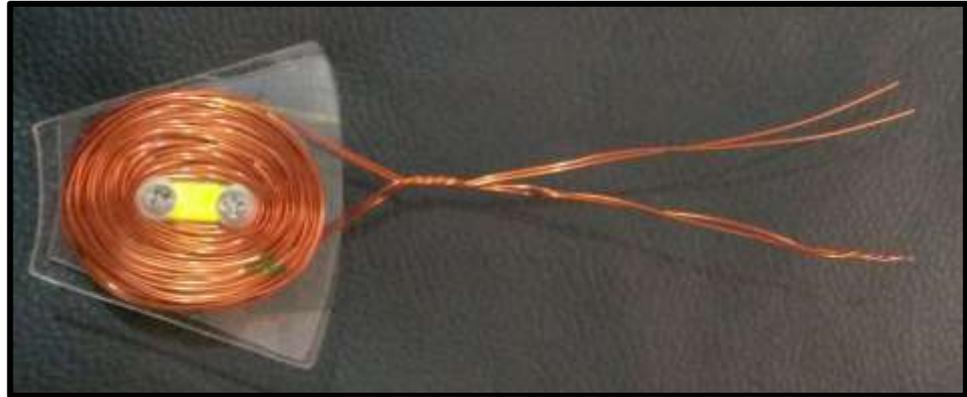


Figura 13. Bobina o Inductor

Fuente: Los Autores

Todo inductor al cual se le suministra una corriente eléctrica, almacenará energía en forma de campo magnético, y la descargará cuando el suministro de corriente desaparezca o baje de intensidad. El campo magnético almacenado en el inductor circulará por el centro del mismo y cerrará su camino por su parte exterior.

Su unidad de medida es el Henrio (H) en el Sistema Internacional. Se utilizan submúltiplos como el milihenrio (mH) que equivale a una milésima parte de un henrio, y el microhenrio (μH) que equivale a una millonésima parte de un henrio.

2.2.3.1. Tipos de Bobinas.

2.2.3.1.1. Bobinas Fijas.

2.2.3.1.1.1. Con Núcleo de Aire.

Este tipo de bobina consiste en enrollar el conductor sobre un núcleo que hará de soporte para posteriormente retirarlo. A este tipo de bobina se la denomina como solenoide que son utilizadas cuando se precisan muchas espiras y pueden emplearse dos o más bobinas enrolladas sobre el mismo

soporte y conectadas en serie. Este tipo de bobinas poseen baja inductancia y se utilizan para señales de alta frecuencia como en radios, televisores, transmisores, etc.

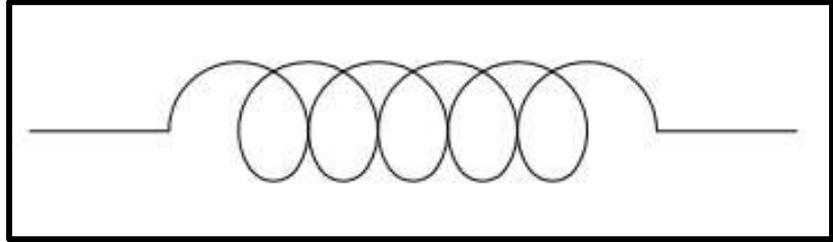


Figura 14. Bobina con núcleo de aire

Fuente: Los Autores

2.2.3.1.1.2. Con Núcleo Sólido.

Poseen valores de inductancia más altos que los de núcleo de aire debido a su nivel elevado de permeabilidad magnética (capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de ella campos magnéticos). El núcleo suele ser de un material ferromagnético, los más utilizados son la ferrita y el *ferroxcube* debido a su alta permeabilidad y resistividad.

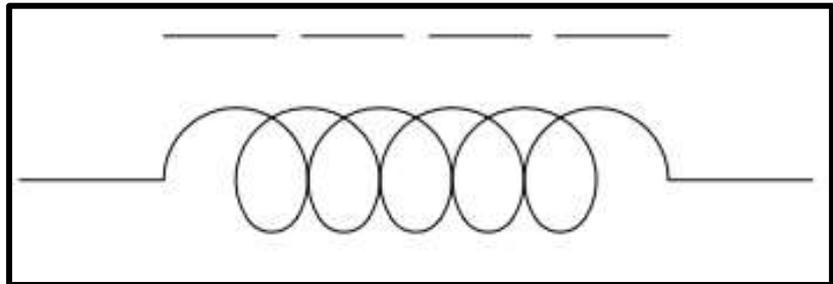


Figura 15. Bobina con núcleo de ferrita

Fuente: Los Autores

Las bobinas con núcleo de hierro tienen un mayor campo magnético, por consiguiente generan valores altos de inductancia. Se utilizan para aplicaciones en los transformadores en los que se utiliza un núcleo laminado en forma de “E” y otro en forma de “I”, para disminuir pérdidas.

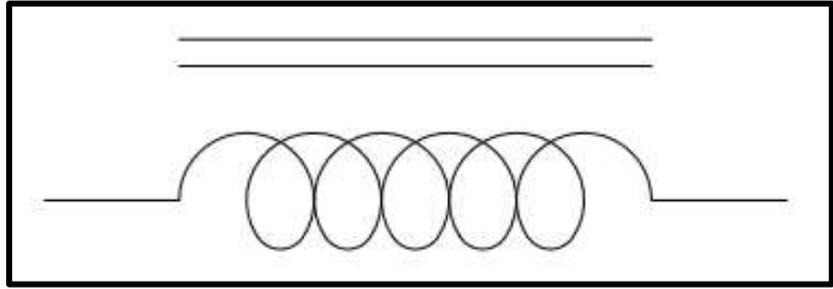


Figura 16. Bobina con núcleo de hierro

Fuente: Los Autores

2.2.3.1.2. Bobinas Variables.

Normalmente se produce la variación de inductancia por desplazamiento del núcleo en este tipo de bobinas.

Las bobinas blindadas pueden ser variables o fijas, que consiste en aislar la bobina dentro de una cubierta metálica, cuyo objetivo es limitar el flujo electromagnético creado por la propia bobina.

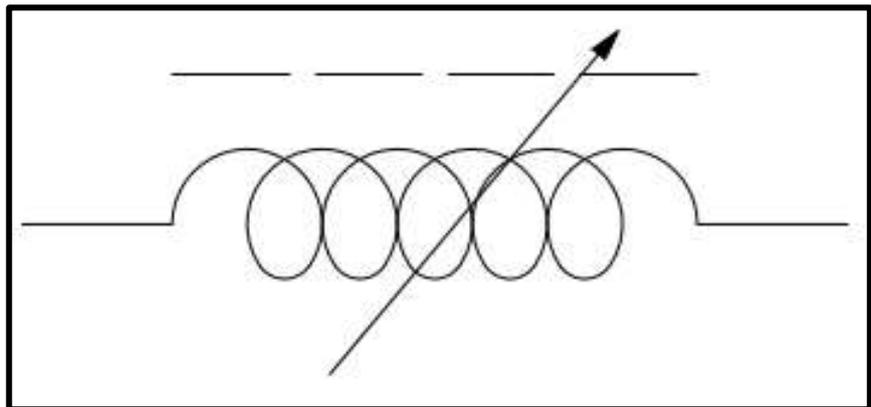


Figura 17. Bobina variable

Fuente: Los Autores

2.2.4. Imanes Permanentes.

Un imán permanente se define como un material que puede ser imantado y que es capaz de generar un campo magnético persistente, a diferencia de los imanes temporales que generan un campo magnético sólo mientras está activa la fuerza o energía externa que lo genera. Por ejemplo, un electroimán produce un campo magnético únicamente cuando circula por el material una corriente eléctrica; el campo magnético desaparece de forma instantánea cuando dejar de circular la electricidad.

Los imanes permanentes pueden clasificarse en dos tipos, los naturales, como la magnetita, y en artificiales. Los imanes permanentes artificiales se fabrican con materiales ferromagnéticos duros, que son aquellos materiales ferromagnéticos que, tras ser imantados, tienden a mantener las propiedades magnéticas hasta que no son desmagnetizados, fenómeno que se produce cuando es aplicado un campo magnético contrario al inicial.

Una de las características principales para la elección del juego de imanes, es que posea una elevada remanencia, mientras mayor sea ésta, mayor será el flujo magnético que pueda crear el imán con elevada coercitividad, mientras mayor sea, más difícil será que éste se desmagnetice.

Existen varios tipos de materiales de imanes permanentes como la ferrita, de bajo precio y baja energía, o los imanes de las tierras raras, de alto costo y alta energía.

Los imanes de tierras raras, es un poderoso imán, por tal motivo se utilizarán para esta aplicación, a pesar de su tamaño reducido, éstos cuentan con una potencia que puede llegar a ser varias veces superior a la de otros imanes en algunos casos.

Las tierras raras son unos elementos pertenecientes a la tabla periódica, las aleaciones de estos elementos son las que producen los imanes permanentes de las tierras raras.

Según el material químico que los componga, estos imanes se suelen dividir en:

Imanes de neodimio (Nd-Fe-B), estos están compuestos por boro, hierro y neodimio, de allí sus rasgos metálicos. Se caracterizan por oxidarse con extrema facilidad por lo que son recubiertos con una capa de barniz, zinc o níquel (Ver figura 18).

Imanes de samario cobalto (Sm-Co), a diferencia de los anteriores, estos no se oxidan con tanta facilidad. Es un buen material para

aplicaciones que requieren elevado rendimiento en ambientes de trabajo con altas temperaturas, tiene excelentes características térmicas.



Figura 18. Imán permanente de Neodimio N-42

Fuente: Los Autores

2.2.5. Rodamientos.

Es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste por medio de una rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.

En este caso, permite la facilidad de movimiento angular del rotor, el modelo de rodamiento que se utilizó es el Koyo SA205 – 16.



Figura 19. Rodamiento Koyo SA205 - 16

Fuente: Los Autores

2.3. Conceptos Generales del Proyecto.

2.3.1. Generador Eléctrico.

Un generador es una máquina eléctrica que transforma energía mecánica en energía eléctrica, es decir, efectúa el proceso contrario que un motor eléctrico.

Todo dispositivo capaz de producir una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados terminales, bornes o polos, es considerado un generador eléctrico.

La transformación de energía mecánica en eléctrica se produce por la acción de un campo magnético sobre el bobinado eléctrico dispuesto sobre una armadura (estator). Si mecánicamente se ejerce un movimiento

relativo entre el campo y el bobinado, se genera una fuerza electromotriz (fem).

Los generadores eléctricos se diferencian de acuerdo al tipo de corriente que producen, de esta forma encontramos con dos grupos de máquinas eléctricas rotativas: los alternadores y las dinamos.

Los alternadores generan electricidad en corriente alterna. El componente inductor es el rotor y el inducido el estator. Un ejemplo son los generadores de las centrales eléctricas, las cuales transforman la energía mecánica en energía eléctrica alterna.

Aunque la corriente generada es corriente alterna, puede ser rectificadas para obtener una corriente continua según sea su aplicación.

Las dinamos generan electricidad en corriente continua. El componente inductor es el estator y el inducido el rotor. Un ejemplo serían las luces que tiene una bicicleta, la cual funciona a través del pedaleo.

2.3.2. Generador Sincrónico.

Los generadores sincrónicos o alternadores son máquinas sincrónicas que se emplean para transformar potencia mecánica en potencia eléctrica.

En este tipo de generadores se suministra una corriente DC al devanado del rotor, lo cual crea un campo magnético, entonces, el rotor del generador gira mediante el acople de una máquina primaria y produce un campo magnético giratorio dentro de la misma, el cual induce en los devanados del estator del generador un grupo trifásico de voltajes.

En las máquinas sincrónicas los devanados de campo (devanados que producen el campo magnético principal en la máquina) están sobre el rotor, creando los polos magnéticos. En esencia, el rotor de un generador sincrónico es un gran electroimán.

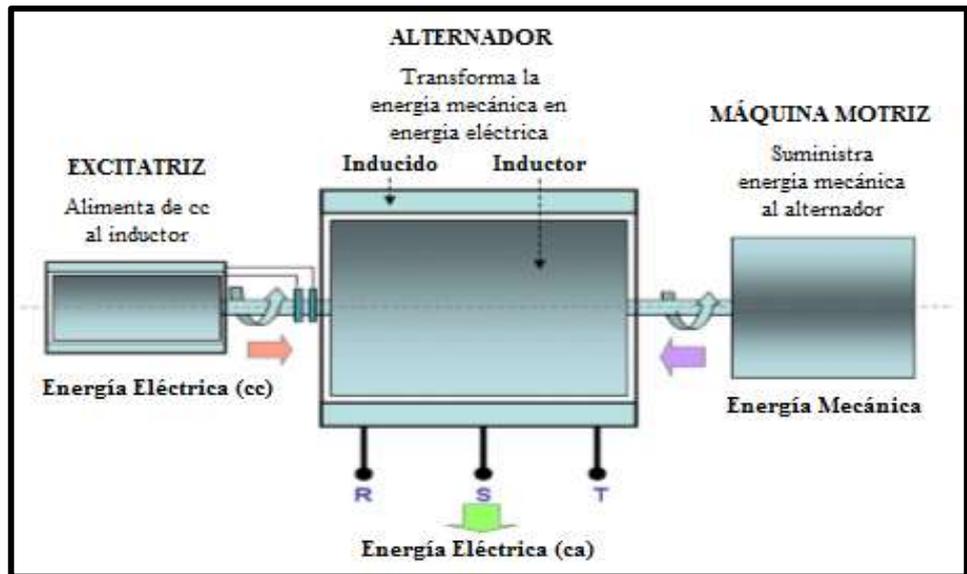


Figura 20. Generador Sincrónico

Fuente: Los Autores

Los polos magnéticos del rotor pueden ser construidos salientes o no salientes.

El rotor de polos magnéticos salientes quiere decir que estos, están proyectados hacia afuera de la superficie del rotor, son utilizados para motores térmicos o turbinas hidráulicas para sistemas de baja velocidad.

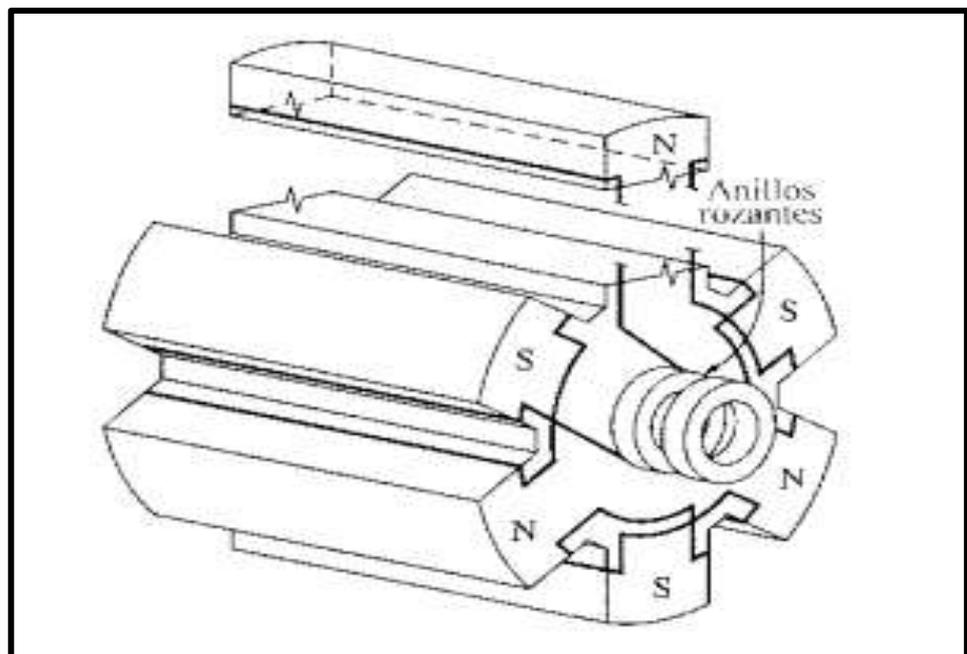


Figura 21. Rotor de seis polos salientes en máquina sincrónica

Fuente: (Chapman, 2000)

Mientras que los rotores de polos no salientes, poseen un rotor construido con sus polos al mismo nivel de la superficie del rotor y son utilizados para turbinas de vapor y gas, éstos grupos son llamados turboalternadores. Pueden girar a 3000, 1500 o 1000 rpm en función de los polos que tenga.

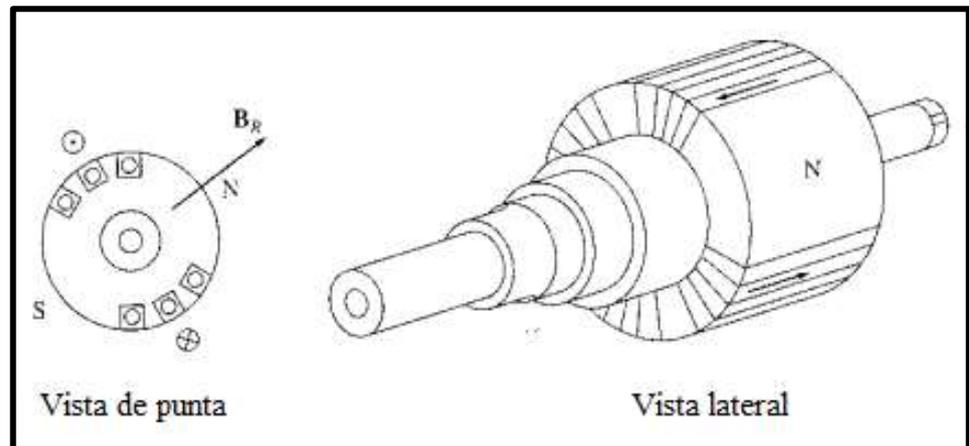


Figura 22. Rotor de polos no salientes en una máquina síncrona

Fuente: (Chapman, 2000)

Se los conoce como generadores síncronos a los generadores eléctricos que tienen sincronismo en su frecuencia eléctrica (f) y su velocidad de giro de campo magnético (n), de acuerdo al número de polos magnéticos (encargados de generar el campo magnético que atraviesa las bobinas). La frecuencia del voltaje generado está dada por la relación:

$$f = \frac{n * p}{120}$$

Ecuación 5. Frecuencia Eléctrica

Fuente: (Chapman, 2000)

Donde:

f : Frecuencia eléctrica (Hz)

p : Número de polos (obligadamente es par)

n : Velocidad mecánica del rotor (rpm)

Esta fórmula es independiente del número de fases del generador, no olvidar que cada fase del generador es una bobina o un grupo de bobinas de p polos, que liga el flujo magnético del rotor del generador.

Como se explicó anteriormente estos generadores producen un campo magnético giratorio dentro de los mismos, para inducir en su bobinado una diferencia de potencial, la forma en que induce la tensión puede diferir, y se distinguen por tanto entre rotor bobinado e imanes permanentes.

2.3.2.1. Generador Síncrono de Rotor Bobinado.

Estos generadores se caracterizan por la necesidad de alimentar el devanado inductor con una tensión continua, éste devanado está situado en el rotor y es accesible mediante unos anillos rozantes, los cuales requieren un frecuente mantenimiento.

Existen dos principales tipos de sistemas de excitación:

2.3.2.1.1. El sistema de excitación propia.

Implica la necesidad de un generador de corriente continua para alimentar el devanado inductor. Este tipo de sistemas están prácticamente en desuso, implica un incremento en los costos de mantenimiento, debido a que se debe dejar fuera de servicio, mientras se realiza el mantenimiento de este generador adicional.

2.3.2.1.2. El sistema de autoexcitación.

Excitación sin escobilla, consiste en alimentar el devanado inductor a través de un puente rectificador, que presenta la ventaja de ser un equipo más fiable que el generador de corriente continua, usado en el sistema de excitación propia. Para el arranque de este tipo de generador se necesita una fuente independiente de corriente continua.

2.3.2.2. Generador Síncrono de Imanes Permanentes.

Este tipo de generador produce la inducción del estator mediante imanes que producen el campo magnético.

La utilización de este tipo de generador síncrono tiene como ventaja, la eliminación de los anillos rozantes además que elimina las pérdidas en el devanado del rotor. Según la disposición de los imanes y la dirección del campo magnético generado, se distinguen entre varios tipos de generadores de imanes permanentes.

2.3.2.3. Generador de Flujo Radial.

En los generadores de flujo radial, el grupo de imanes se colocan sobre un cilindro que gira alrededor de su propio eje (Ver *Figura 23*). En este caso el campo magnético generado por los imanes es perpendicular al eje de giro, por lo cual crea el flujo en el entrehierro en dirección radial, debido a esto son conocidos como generador de “flujo radial” lo que en realidad significa que el campo magnético es perpendicular al eje de giro o que va en dirección radial.

En este grupo existen dos tipos de estos generadores, los generadores de imanes superficiales y generadores de imanes embutidos. El generador con imanes embutidos, a diferencia del generador de imanes superficiales, tiene los imanes colocados dentro de las ranuras del rotor, permitiendo un mayor flujo entre el rotor y el estator. El generador de imanes permanentes de flujo radial, es la más común de las máquinas de imanes permanentes. Los principales aspectos constructivos de estas máquinas son: el espacio entre estator y rotor radial respecto al eje, y el estator longitudinal con ranuras e imanes montados en la superficie del rotor.

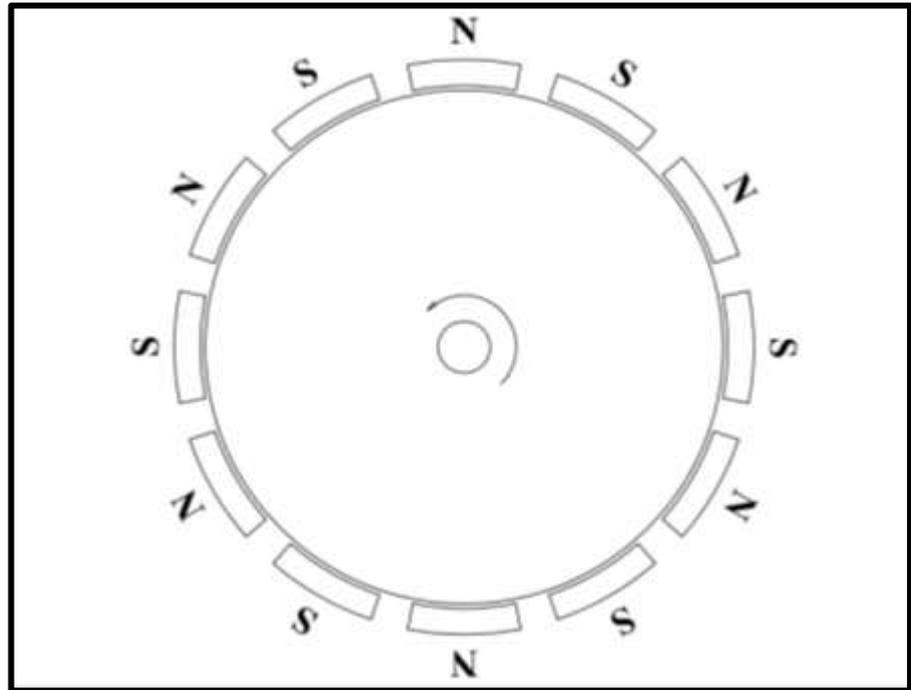


Figura 23. Distribución de los imanes permanentes en máquinas de flujo radial

Fuente: Los Autores

2.3.2.4. Generador de Flujo Axial.

En este tipo de generadores, los imanes son montados sobre un disco de hierro que gira alrededor de un eje perpendicular que pasa por su centro (Ver Figura 24). Es decir, que el campo magnético de los imanes es paralelo al eje de giro, y debido a esto se los conoce como generador de “flujo axial”, lo que quiere decir que el campo magnético es paralelo al eje de giro.

El rotor se encuentra en forma de disco, mientras que el estator está ranurado de forma radial, lo que significa que el generador tendrá una disposición más compacta, pero a su vez más difícil de fabricar.

La principal ventaja que presentan éstas máquinas es su tamaño reducido para un torque dado, pero surge como desventaja la gran complejidad del núcleo del estator, éste debe ser laminado.

Existe una variante al diseño de este tipo de generador de imanes permanentes, la cual se ha empleado para el desarrollo de este proyecto, y es denominada Torus. La diferencia que muestra esta topología es el tener un estator bobinado sobre un disco y aparte el

disco rotor, que lleva el grupo de imanes permanentes montados superficialmente.

La mayor ventaja de este tipo de generador en relación al anterior, es que el diseño y construcción del estator es más simple, aunque presenta como desventaja, el amplio espacio entre el estator y rotor debido a no tener un estator ranurado para la inserción del bobinado.

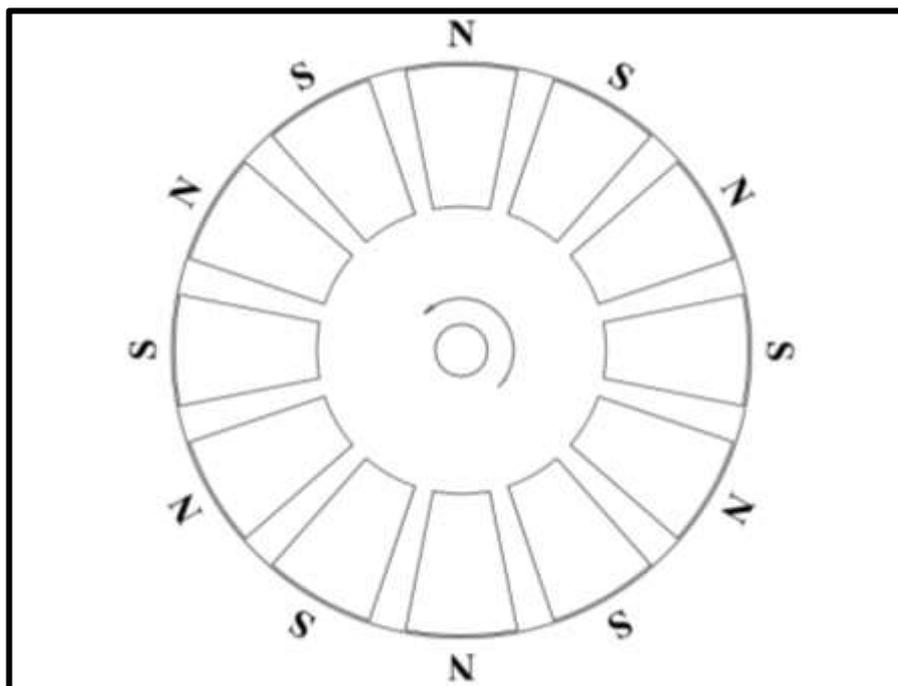


Figura 24. Distribución de los imanes permanentes en máquinas de flujo axial

Fuente: Los Autores

2.3.2.5. Ventajas del Generador de Imanes Permanentes Sobre el Generador de Rotor Bobinado.

La máquina síncrona de rotor bobinado posee la ventaja de que la corriente de excitación es regulable, lo que ocasiona que la tensión en el inducido también lo sea. Por esta razón, este tipo de generadores se usan en sistemas de velocidad constante conectados directamente a la red. Sin embargo, para aplicaciones eólicas, en los aerogeneradores, al ser la velocidad del viento variable, también lo será la velocidad del rotor y, por tanto, es necesario poseer un convertidor para mantener la tensión en el nodo de conexión lo más

estable posible, antes de la conexión de la red, lo cual hace que la máquina síncrona de rotor bobinado pierda su ventaja.

Los generadores de rotor bobinado presentan como desventaja la necesidad de utilizar anillos rozantes, los cuales son encargados de permitir el paso de la corriente de la parte estática a la rotatoria de la máquina, y requieren un frecuente mantenimiento.

Otra desventaja de los generadores sincrónicos de rotor bobinado es que habrá una mayor cantidad de pérdidas debido al devanado en el rotor, aunque haya pérdidas en el grupo de imanes permanentes, serán mucho menores que las del devanado.

Mientras que una gran ventaja de los generadores de imanes permanentes es la gran disminución en el tamaño de los mismos, lo que permite hacer máquinas con una mayor cantidad de polos, y a su vez esto permite a que el uso de una caja multiplicadora de velocidad, no sea necesaria, lo que significa que existirá una menor contaminación acústica, además de disminuir las pérdidas mecánicas y por consiguiente reducir el mantenimiento del sistema mecánico.

2.3.2.6. Velocidades de un Generador Síncrono (rpm).

El rotor gira con la misma velocidad que el campo magnético, la Ecuación 5. Relaciona la velocidad de rotación con la frecuencia eléctrica resultante. Dado que la potencia eléctrica es generada a 50 ó 60 Hz, el generador debe girar a una velocidad fija que depende del número de polos de la máquina.

Tabla 1. Velocidades de un generador síncrono (rpm)

n° polos	rpm (50Hz)	rpm (60Hz)
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

Fuente: Los Autores

$$n = \frac{f * 60}{pp}$$

Ecuación 6. Velocidad de un generador síncrono (rpm)

Fuente: (Chapman, 2000)

2.3.3. Aerogenerador.

El aerogenerador es una maquina eléctrica capaz de transformar la energía cinética en energía mecánica por medio de su turbina eólica, aprovechando la velocidad del viento que golpea en la turbina, y esto provoca realizar un movimiento angular en el eje de un generador eléctrico, para tener una transformación de energía mecánica en energía eléctrica.



Figura 25. Aerogeneradores

Fuente: Los Autores

2.3.4. Tipos de Aerogeneradores con Imanes Permanentes.

Existen dos tipos de aerogeneradores por su principal característica, el eje.

Aerogenerador de eje vertical y aerogenerador de eje horizontal.

2.3.4.1. Aerogenerador de Eje Vertical.

El aerogenerador de eje vertical es aquel que su eje de rotación se encuentra perpendicular al suelo, éstos aerogeneradores no necesitan tener grandes estructuras para ser utilizados, por ende son de menor costo, aunque aprovechan el viento en cualquier dirección que se encuentre su rendimiento es menor frente a los aerogeneradores de eje horizontal.



Figura 26. Aerogenerador de eje vertical

Fuente: Bienes comunes

2.3.4.2. Aerogenerador de Eje Horizontal.

El aerogenerador de eje horizontal es aquel que su eje de rotación se encuentra paralelo al suelo, estos aerogeneradores son los más utilizados en el medio, tienen mayor rendimiento que un aerogenerador de eje vertical y existen en diferentes capacidades de generación, los más utilizados los podemos encontrar en parques eólicos, para abastecer de energía eléctrica a una región. El costo es mucho más alto que un aerogenerador de eje vertical ya que se necesitan grandes infraestructuras para su montaje.



Figura 27. Aerogenerador de eje horizontal

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

2.3.5. Campo Magnético.

El campo magnético es la región del espacio que rodea a una carga eléctrica en movimiento. En un determinado punto del espacio existe un campo magnético, siempre que al pasar por él una carga eléctrica con una velocidad dada, sufra la acción de una fuerza que no sea ni electrostática ni gravitatoria. La fuerza del campo magnético se mide en Gauss (G) o en Tesla (T). Un campo magnético es un campo de fuerza creado como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas (flujo de la electricidad). Las líneas de flujo magnético decrecen a medida que el campo magnético que lo genera se aleja, es decir a mayor distancia de separación menor flujo magnético.

2.3.6. Inducción Magnética.

La inducción magnética (**B**) es un vector que representa el módulo, dirección y sentido del campo magnético en un punto. También denominado densidad de flujo. El campo magnético se representa por las líneas de fuerza o de inducción de manera que el número de líneas que atraviesan perpendicularmente una superficie de área unidad es igual a la inducción magnética en aquella región. El vector inducción es tangente, en cada punto, a las líneas del campo.

$$\mathbf{B} = \mu * H \left[\frac{\text{weber}}{\text{m}^2} \right]$$

Ecuación 7. Inducción magnética

Fuente: (Chapman, 2000)

Donde:

B: Inducción magnética $\frac{\text{weber}}{\text{m}^2}$.

μ : Permeabilidad Magnética del material al cual se le está induciendo el magnetismo, para el caso del aire es $\mu = 4\pi * 10^{-7} \frac{\text{Henrios}}{\text{metros}}$.

H : Intensidad de Campo Magnético $\frac{\text{Amperes vuelta}}{\text{metro}}$.

La inducción magnética (**B**) se expresa en weber por metro cuadrado (Wb/m²) que también se denomina Tesla (T) es decir, 1 T = Wb/m².

2.3.7. Intensidad de Campo Magnético.

La intensidad de campo magnético H es, de alguna forma, una medida del esfuerzo de una corriente por establecer un campo magnético.

2.3.8. Inducción Electromagnética.

Cuando en un circuito tiene lugar una variación de flujo magnético, se induce una fuerza electromotriz (fem).

2.3.9. Fuerza Electromotriz.

Los generadores eléctricos se distinguen por su fuerza electromotriz (fem, \mathcal{E}), que se determina como la energía que provee a la unidad de carga eléctrica para hacerla transitar desde puntos de menor potencial a puntos de mayor potencial. La fem se mide por la diferencia de potencial entre los bornes o terminales del generador, cuando se encuentra en circuito abierto, es decir, no hay existencia de corriente eléctrica. La Unidad de la fem es el voltio.

$$\mathcal{E} = Blv$$

Ecuación 8. Fem inducida en un conductor

Fuente: (Wildi, 2007)

Donde:

\mathcal{E} : Voltaje inducido en un conductor.

B : Inducción magnética.

l : Longitud del conductor inducido.

v : Velocidad rotacional del campo.

Siendo B , l y v mutuamente perpendiculares. La fem se mide en voltios cuando B se expresa en teslas (T) o Wb/m^2 , l en (m) y v en (m/s).

2.3.10. Ley De Faraday – Lenz.

El valor de la fem inducida en una bobina es proporcional a la variación de flujo por unidad de tiempo y al número de espiras de la bobina. Cuando se produce una variación de flujo, se origina una fem en cada una de las espiras y, como están en serie, la fem inducida en la bobina será la suma de las inductancias en cada una de ellas. La fem media es:

$$e_{ind} = -N * \frac{d\phi}{dt}$$

Ecuación 9. Ley de Faraday – Lenz

Fuente: (Chapman, 2000)

Donde:

e_{ind} : Voltaje inducido en la bobina.

N : Número de vueltas de alambre en la bobina.

ϕ : Flujo que circula en la bobina.

El signo menos de la ecuación 9. Es la expresión de la ley de Lenz, donde establece: La corriente inducida tiende a oponerse a la causa que la produce. Es decir, si en una bobina se produce un incremento del flujo que atraviesa, se origina una corriente inducida que circula en una dirección tal, que el campo magnético asociado se opone al campo original. Si la variación de flujo magnético es debido al movimiento de un conductor de un campo, la corriente inducida tendrá una dirección tal, que el campo magnético que ocasiona se opone al movimiento que originó su aparición.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR

Para elaborar el análisis e implementación de manera experimental del diseño del generador tipo axial con excitación mediante imanes permanentes, se empleó algunos métodos y técnicas de investigación, los cuales se mencionan a continuación:

3.1. Metodología.

3.1.1. Método Investigativo.

Se utiliza el método investigativo para la adquisición de información, relacionada a la tipología de generadores sincrónicos y aerogeneradores dentro del ámbito de energías renovables. Además la realización de estudios para el desarrollo y cálculo del diseño del generador trifásico de tipo axial con excitación de imanes permanentes.

3.1.2. Método Analítico.

Se genera y se concluye con análisis para el dimensionamiento del generador tipo axial con excitación de imanes permanentes para abastecer una carga resistiva, inductiva o capacitiva y realizar comparaciones, en caso de que el proyecto se emplee como aerogenerador, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, produciría el torque en el eje del rotor para la generación de energía.

3.1.3. Método Experimental.

Permite comparar las variables en cada uno de los acontecimientos planteados para la obtención de datos del proyecto de estudio en condiciones controladas, permitiendo estudiar exhaustivamente los determinados parámetros del generador tipo axial, y poner de manifiesto los condicionantes de la máquina.

3.2. Técnicas de Investigación.

3.2.1. Técnica Documental.

Permite recolectar la información necesaria para poder validar los conceptos y sustentar los parámetros de generadores además de su desempeño, que han sido utilizados en el marco teórico del proyecto.

3.2.2. Técnica De Campo.

Se utiliza en el momento de realizar pruebas de funcionamiento de este proyecto, las pruebas realizadas y los datos que se obtuvieron, fueron efectuados en el Laboratorio de Motores y Generadores con equipos y elementos reales.

3.3. Parámetros del Generador de Imanes Permanentes.

Para el diseño y construcción del generador de imanes permanentes, en primer lugar se deberá parametrizar las características que tendrá el generador, esto es:

- Generador Trifásico Síncrono.
- Voltaje de fase $25\text{ V} \pm 2$ Voltios.
- 4 Amperios de corriente de fase.
- Campo Magnético (1 – 1,3) Teslas.
- 60 Hz de frecuencia eléctrica. (600 rev/min)

Una vez parametrizado el generador, se procederá a realizar cálculos de diseño.

3.3.1. Cálculo del Número de Polos.

El número de polos que llevará el generador está directamente relacionado con la frecuencia eléctrica y la velocidad de giro del rotor.

$$pp = \frac{f * 60}{n}$$

Ecuación 10. Número de polos

Fuente: (Chapman, 2000)

Donde:

pp : Pares de polos (siempre par).

f : Frecuencia eléctrica, en Hz.

n : Velocidad mecánica del campo magnético en rev/min (velocidad de giro del rotor).

Al reemplazar los valores de parámetros anteriormente detallados en la ecuación 10. Da como resultado 6 pares de polos, es decir 12 Imanes con campo magnético permanente.

3.3.2. Cálculo del Número de Bobinas.

Para determinar el número de bobinas a utilizar en el generador se deberá calcular con la siguiente ecuación:

$$Nb = \frac{3}{4} * p$$

Ecuación 11. Número de bobinas

Fuente: (Chapman, 2000)

Donde:

Nb : Número de bobinas.

p : Número de polos.

Al reemplazar el número de polos en la ecuación 11. Da un resultado de 9 bobinas. Si el generador es trifásico, el resultado del número de bobinas se divide para cada una de las fases en este caso 3 fases, es decir serán 3 bobinas por fase.

3.3.3. Selección de los Imanes Permanentes.

Al revisar varios catálogos de distribuidores de imanes permanentes con diferentes forma geométrica, características y costo, se seleccionará el imán de Neodimio grado N-42, por su forma geométrica (Ver *figura 18*). Características generales (Ver Anexo A) y costo.

3.3.4. Selección del conductor de las bobinas.

El conductor de cobre a seleccionar para este proyecto tiene en consideración varios factores, por ejemplo, que el conductor no sea bastante fino para no tener problemas por sobrecalentamiento, tampoco bastante grueso que dificulte el bobinado y conlleve a tener un menor número de espiras por bobina. La corriente que debe soportar el conductor es 4 amperios, por tal motivo se selecciona el alambre esmaltado AWG #22. (Ver Anexo B). Las bobinas tendrán un tamaño semejante al tamaño de los Imanes de Neodimio (Ver Capítulo 3.3.6.).

3.4. Fabricación y Ensamble del Estator.

3.4.1. Armadura del Estator.

El estator es la parte fija del generador. La construcción del estator es la parte más importante en la fabricación del generador eléctrico de imanes permanentes, determinará en primera instancia la eficiencia neta del generador, la armadura del estator es el conjunto de piezas que contendrá las bobinas de alambre magneto y a través de éste, dirigirá el campo magnético del conjunto de imanes a través de cada una de las espiras.

La armadura del estator está formada por tres grupos de piezas diferentes:

- 9 Cabezas de bobinas de material acrílico.
- 9 Núcleos de material ferromagnético.
- 1 Placa principal de armadura de material ferromagnético 3/16 plg.

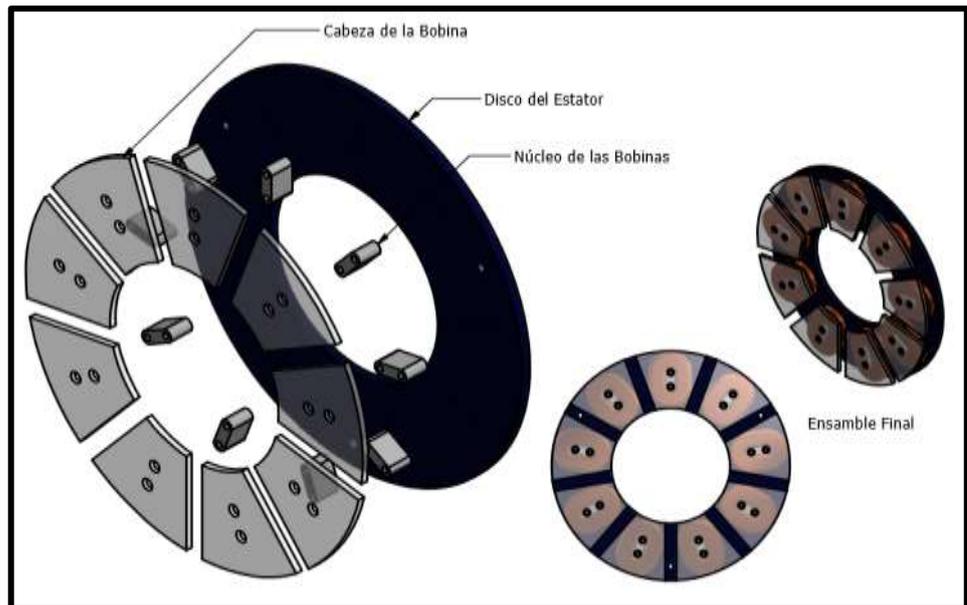


Figura 28. Vistas del estator del generador tipo axial

Fuente: Los Autores

La armadura del estator será el conjunto que conlleve el grupo de bobinas, debido a que el diseño consta de un conjunto de nueve bobinas, la armadura está conformada por nueve núcleos los cuales alojara cada una de las mismas.

Además de las cabezas o contratapas de las bobinas, de igual forma serán nueve para cada una de las nueve bobinas y finalmente la placa principal de la armadura albergará el conjunto de todas las piezas anteriormente mencionadas formando un solo conjunto.

Las cabezas de las bobinas son 9 piezas individuales que fueron fabricadas de un material acrílico de 1/8 plg.

De manera ideal, estas piezas deberían ser fabricadas de algún material ferromagnético, y de ésta forma atraer mayor líneas de campo magnético de cada uno de los imanes de neodimio y transmitirlo al núcleo de la bobina, pero para implementación académica no fue necesaria mayor captación de campo por lo que se las realizó de material acrílico.

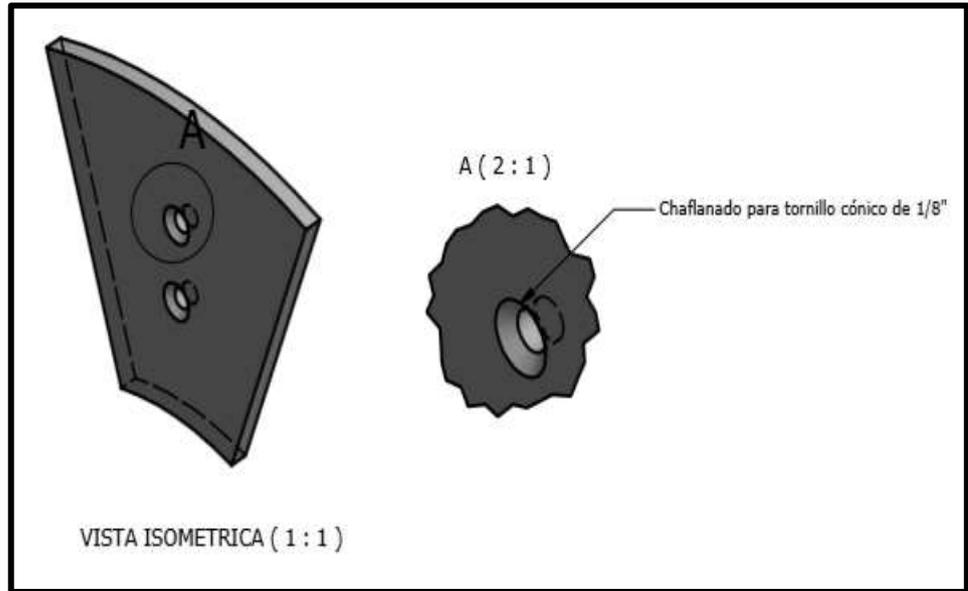


Figura 29. Diseño de cabezas de las bobinas del estator

Fuente: Los Autores

Los núcleos de las bobinas si deberán ser de material ferromagnético, en este caso se realizará el trabajo en hierro y las piezas deberán llevar las respectivas perforaciones roscadas para montarse en la placa principal y colocar las respectivas cabezas de la bobina.

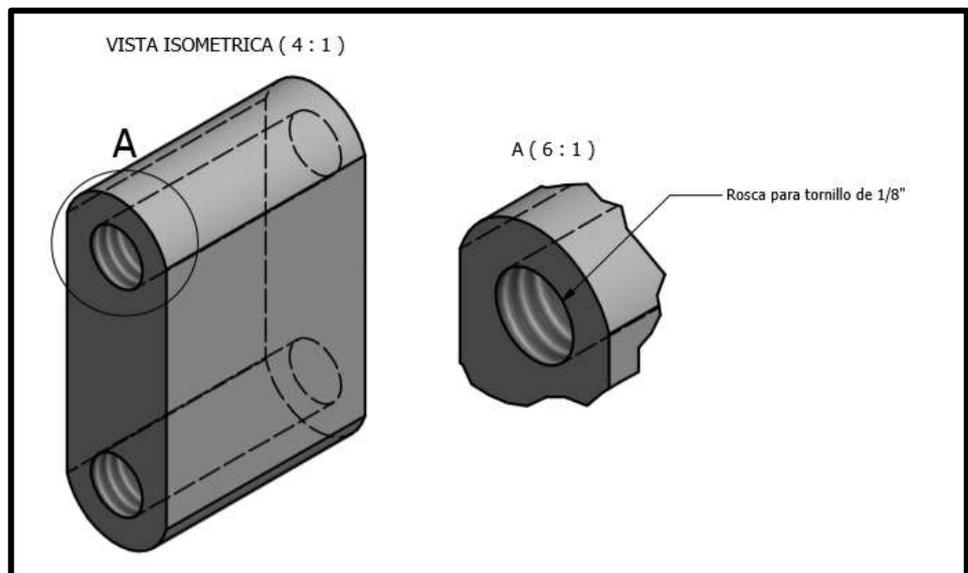


Figura 30. Diseño de los núcleos de las bobinas del estator

Fuente: Los Autores

La función de los núcleos es mantener el flujo magnético confinado dentro de ellos y evitar que éste fluya por el aire, favoreciendo las pérdidas en el núcleo y reduciendo la eficiencia de nuestro generador.

En los núcleos se realizará el bobinado respectivo, en los cuales mediante inducción magnética se originará una diferencia de potencial en sus terminales.



Figura 31. Núcleos de las bobinas del estator

Fuente: Los Autores

La placa principal de armadura (disco del estator), será fabricada del mismo material que los núcleos de las bobinas, por lo cual se la realizó sobre una placa de hierro de 3/16 plg.

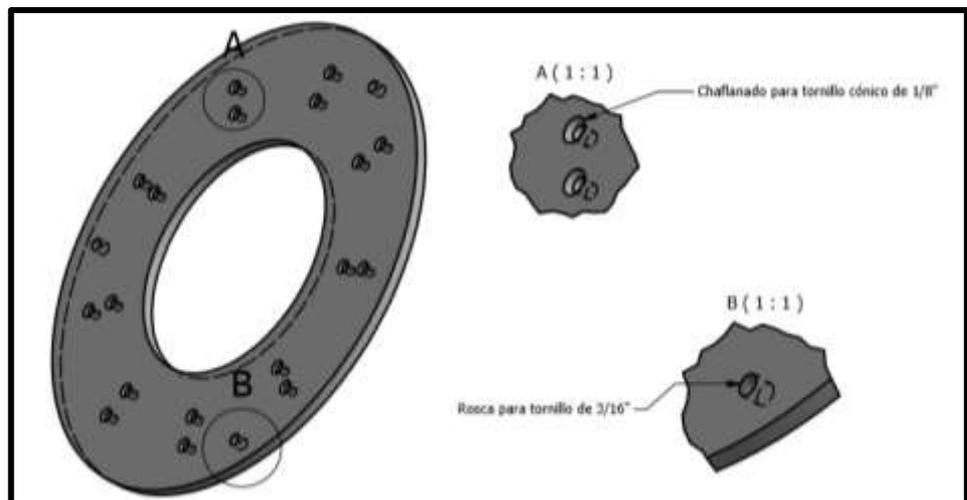


Figura 32. Diseño de la placa principal de la armadura del estator

Fuente: Los Autores

El objetivo de esta placa es conectar el campo magnético entre ambas bobinas laterales y es la encargada de cerrar el circuito magnético de toda la armadura.



Figura 33. Placa principal de la armadura del estator

Fuente: Los Autores

Después de la fabricación de las piezas de la armadura, se deberá aplicar un recubrimiento de esmalte anticorrosivo a todas las piezas metálicas, para evitar que la humedad y el contacto con la intemperie las oxiden.



Figura 34. Armadura del estator

Fuente: Los Autores

3.4.2. Construcción de las Bobinas.

El proceso para la fabricación de las bobinas es sencillo, a diferencia de la elaboración de las bobinas de cualquier otro tipo de generador con armadura convencional, y gracias al diseño de piezas individuales de fácil ensamble y la particular geometría axial.

Para realizar esta tarea se deberá tener la totalidad de piezas elaboradas anteriormente; así como los tornillos necesarios para ensamblarlas, además de cinta aislante o alguna lámina plástica para evitar que la bobina entre en contacto con el núcleo de hierro.

Para el diseño utilizado se empleará alambre esmaltado AWG #22 enrollando cada bobina mediante dos líneas individuales, con el fin de poder utilizar un alambre esmaltado delgado y obtener el mayor número de espiras por sección del núcleo, pero a la vez tener la capacidad de amperaje de un conductor más grueso al sumar la capacidad de cada línea. En este caso, al utilizar dos líneas de conductor AWG #22 se obtendrá una capacidad máxima de corriente circundante de 5 A, la capacidad máxima que soporta cada conductor es de 2,5 A. (Ver Anexo B).

Se deberá empezar utilizando como molde uno de los núcleos metálicos y dos de las placas acrílicas de las cabezas de las bobinas.

Es de suprema importancia que el alambre esmaltado no entre en contacto con la armadura una vez ensamblados, el contacto con el metal o la presión al momento de ser armado pueden ocasionar que se desgaste el recubrimiento de resina del alambre y entre en corto circuito. Por lo que se aislará toda área metálica que entre en contacto con el bobinado, utilizando la cinta aislante o en conjunto con la lámina plástica.

Teniendo en cuenta lo mencionado con anterioridad se comenzará a enrollar las dos líneas de alambre esmaltado en el núcleo, dejando al menos 5 pulgadas de alambre en los extremos para después poder realizar las conexiones del circuito. Tomando las dos líneas de alambre se

enrollarán un total de 75 espiras, obteniendo por deducción 150 espiras entre ambas líneas.



Figura 35. Construcción de las bobinas del estator

Fuente: Los Autores

Al completar las 75 vueltas, se deberá apartar nuevamente 5 pulgadas en ese extremo y se continuará haciendo el mismo procedimiento para terminar las 8 bobinas restantes.

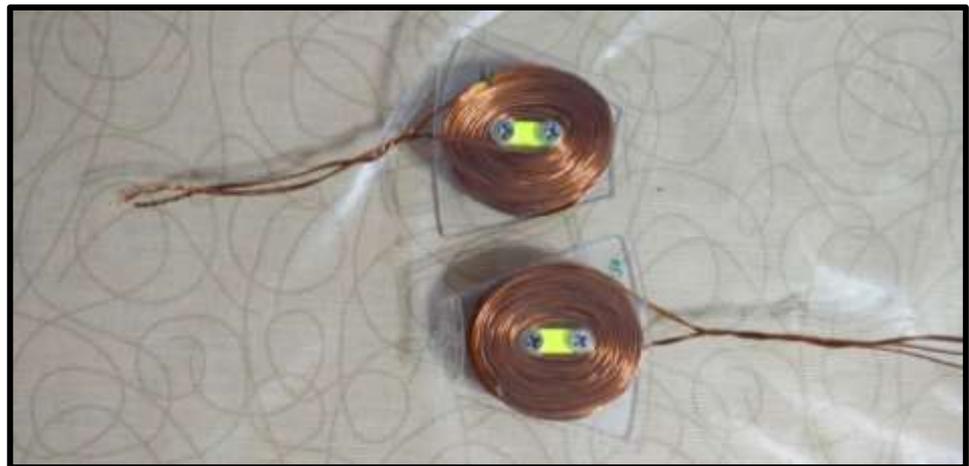


Figura 36. Bobinas del estator

Fuente: Los Autores

Al finalizar de enrollar todas las bobinas, se deberá quitar una de las dos placas de los cabezales de la bobina para de esta forma ubicar la bobina

en la placa principal de la armadura colocando previamente el respectivo plástico o cinta aislante y sujetarla con los dos tornillos cónicos 8/32 plg.



Figura 37. Ensamble de las bobinas en la armadura del estator

Fuente: Los Autores

De igual manera se deberá realizar el mismo procedimiento hasta concluir las 9 bobinas.

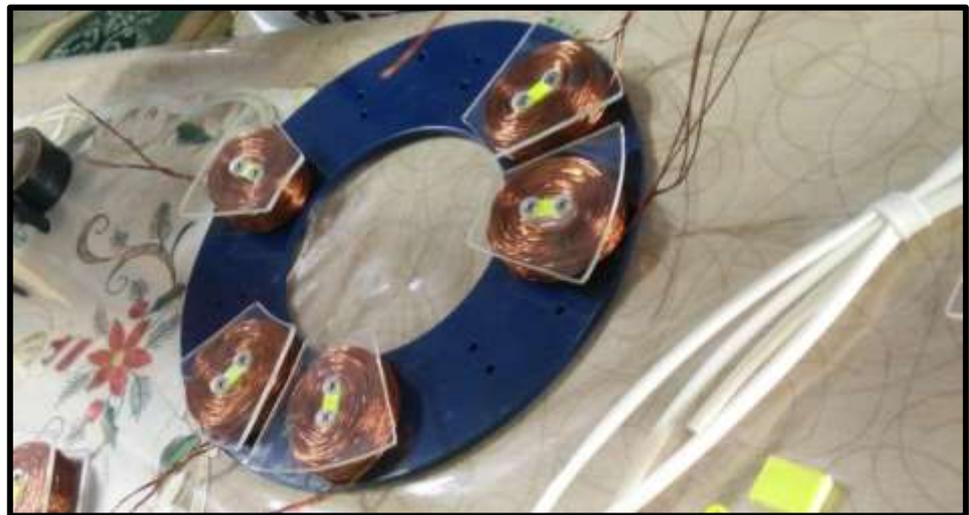


Figura 38. Estator del generador

Fuente: Los Autores

3.4.3. Conexión de Bobinas.

La conexión de bobinas determinará en primera instancia el voltaje del generador eléctrico, el tipo de conexión más común es la conexión

trifásica estrella, la cual permitirá generar un voltaje favorablemente aun teniendo bajas revoluciones por lo que será la más conveniente de utilizar.

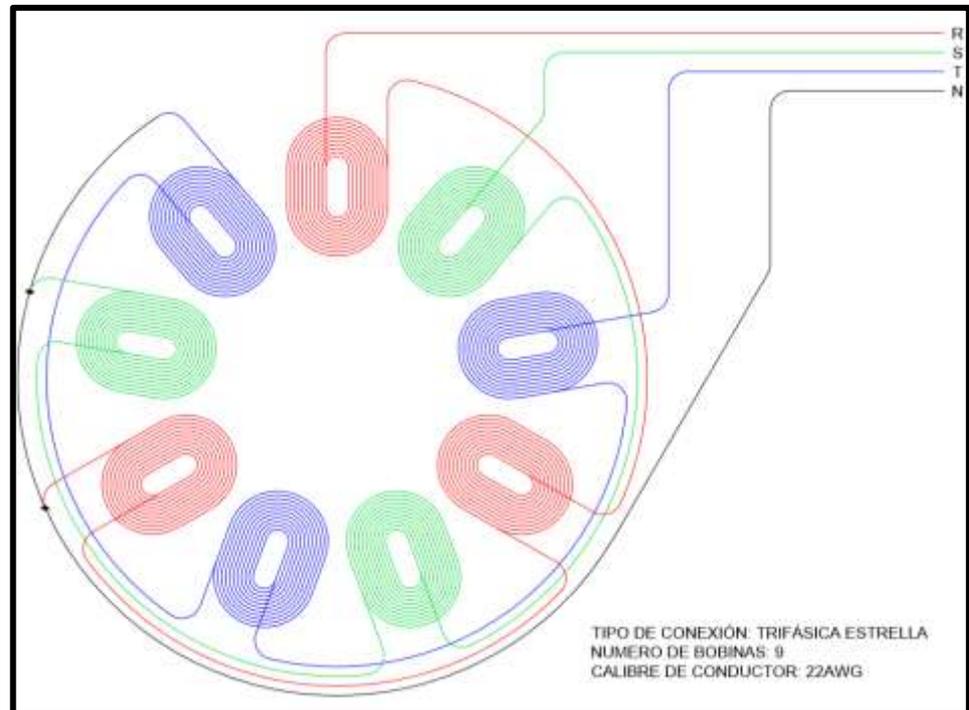


Figura 39. Diseño de la conexión de las bobinas del generador

Fuente: Los Autores

Una vez que se encuentren las bobinas debidamente instaladas sobre la placa de la armadura, se deberá realizar la prueba de cortocircuito en cada una de las bobinas, para comprobar que el alambre esmaltado no esté haciendo contacto con ninguna parte metálica de la armadura, lo que ocasionaría el bajo desempeño del generador o incluso la pérdida total de energía generada.

Para realizar esta prueba se deberá colocar el multímetro en la opción de “Diodo” o “Continuidad” y colocar el puntal negativo sobre alguna área de la armadura metálica que esté descubierta de pintura, y el puntal positivo sobre cada una de las dos terminales de salida de cada bobina. En ningún caso el multímetro deberá sonar, si este emite el sonido de alerta significa que en algún punto el cobre está haciendo contacto directamente con el metal, es decir, estaría en cortocircuito.

Ya realizada esta prueba, antes de proceder con la conexión del bobinado, aislaremos los extremos del conductor esmaltado de la armadura, colocando aislante spaghetti o un cobertor de fibra de vidrio a las 18 salidas de las 9 bobinas, para de esta manera evitar que el conductor sufra alguna pérdida de su esmalte al manipular el bobinado o al momento de realizar las conexiones, la prioridad en esta etapa será siempre será mantener aislado el cobre de la armadura.

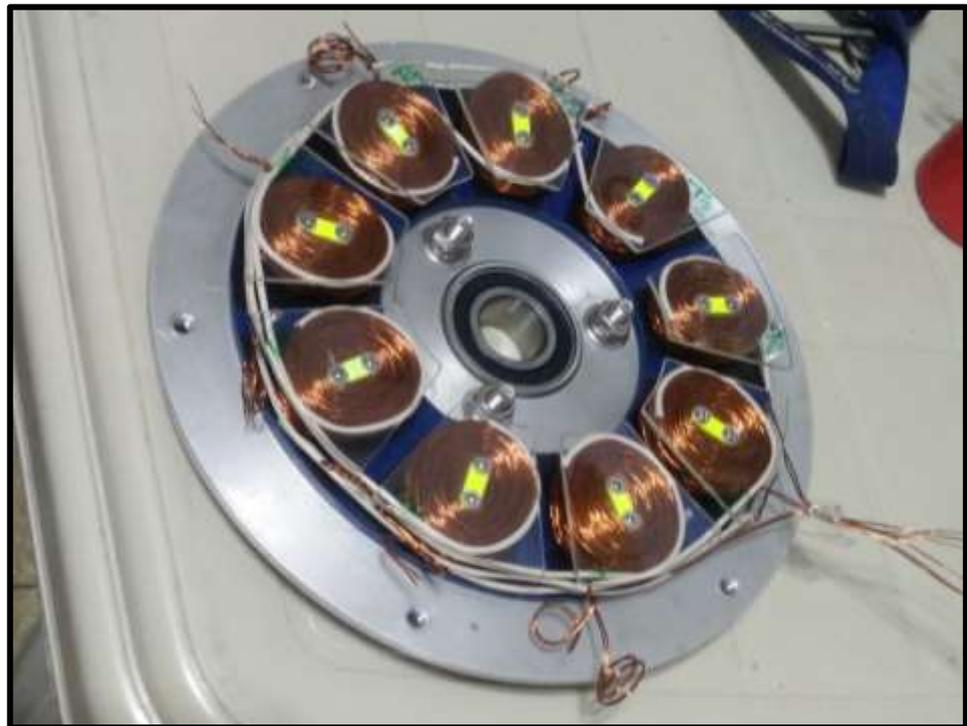


Figura 40. Estator del generador en conexión estrella

Fuente: Los Autores

Una vez que todos los terminales tengan su protección de spaghetti colocaremos en un extremo el tubo termoencogible, el cual cuando se somete a una fuente de calor, se retrae hasta aproximadamente un 50 % de su tamaño inicial, y una vez hecha la conexión queden totalmente aislados los extremos de los conductores, este tubo posee una gran adhesión alrededor del objeto del cual se envuelve. Después de enfriarse, dicho tubo conserva su nueva forma.

Para realizar las conexiones del bobinado estático se seguirá detalladamente el diagrama de conexión mostrado anteriormente (Ver Figura 39). y siempre teniendo en cuenta de lijar los extremos del

alambre para retirar el esmalte de resina y enrollándolos con las pinzas para asegurar que no se suelten. Lo más recomendable para ejecutar ésta tarea es realizar los cortes de alambre esmaltado a las distancias precisas entre las conexiones de las bobinas, interconectarlas entre sí para posteriormente poder soldarlas utilizando el cautín, luego colocar en la unión soldada el tubo termoencogible mencionado anteriormente que se encontraba en uno de los dos terminales conectados y finalmente sometiéndolo a calor para que éste se retraiga y de esta manera aislar la conexión soldada que hemos realizado.

Finalmente solo quedarán las tres líneas y el neutro del generador, los cuales se sujetarán con una amarra de plástico para evitar que se muevan independientemente.

3.4.4. Ensamble Final del Estator.

El ensamble final de la armadura junto con el ensamble de las bobinas se llamará estator, es el producto del trabajo realizado en los pasos anteriores y será el componente que capturará la totalidad del campo magnético del disco inductor de imanes permanentes.

3.5. Fabricación y Ensamble del Rotor Inductor.

El rotor o parte móvil del generador, es el encargado de crear el campo magnético inductor, el cual provoca en el bobinado o inducido la corriente eléctrica que suministrará el generador.

El rotor inductor es de campo magnético permanente, es decir para ello se utilizará imanes permanentes de Neodimio grado N-42, el cual permitirá generar electricidad sin necesidad de baterías como a diferencia de los generadores de inducción que suelen requerir al menos una fuente de energía externa para generar el campo magnético.

El rotor está compuesto por un disco metálico de 8 pulgadas de diámetro y 1/8 de pulgada de espesor soldado sobre un eje de acero inoxidable.

El rotor inductor será el encargado de conducir el campo magnético del grupo de imanes de neodimio N-42, los cuales se deberán adherir con cualquier tipo de pegamento para metales, en este caso para mayor seguridad y fijación se usará una soldadura al frío epoxi.

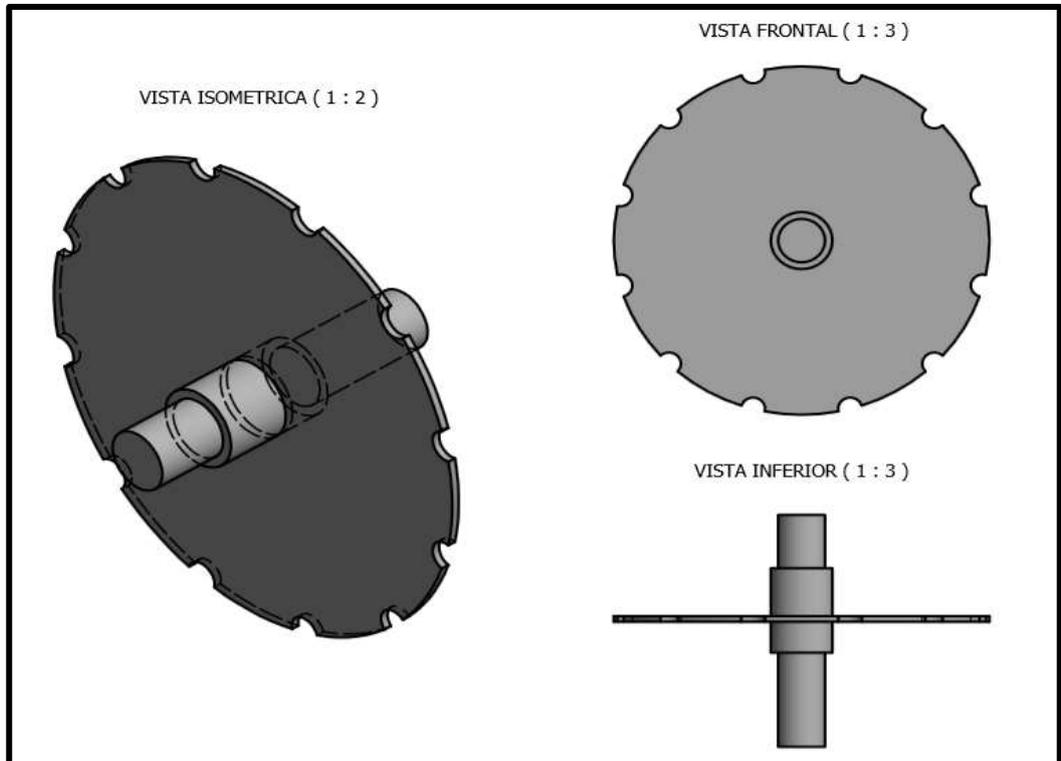


Figura 41. Diseño del rotor inductor

Fuente: Los Autores

Se deberá tomar en consideración en el rotor inductor; además de los imanes permanentes montados sobre el eje de acero inoxidable, los rodamientos que irán ensamblados en el eje para que el rotor gire libremente al momento de estar acoplado a la máquina primaria.



Figura 42. Fabricación del rotor inductor del generador

Fuente: Los Autores

El eje del rotor inductor se lo deberá realizar con las características de diseño adecuadas para un correcto ensamble (Ver Anexo C). A éste también se acoplarán los rodamientos, y evitar así que al momento de armar todo el generador, no se sobreponga ninguna pieza y además logre mantener la distancia más cercana de separación entre el rotor inductor y armadura del estator, para que de esta forma sea posible captar la mayor cantidad de líneas de campo generado por los imanes de neodimio.

Además se debe considerar la importancia de que el eje sea también del material apropiado, es decir, acero inoxidable, al ubicarse a la intemperie debe ser un material que evite la corrosión, si el eje es fabricado de algún otro material rápidamente se oxidará, manchando las demás piezas con el óxido y disminuyendo la vida útil del generador.

3.5.1. Montaje del Collar de Imanes.

El montaje de los imanes en el disco inductor es una tarea de total cuidado, por lo cual se deben tener en cuenta las consideraciones de seguridad que hay que seguir para evitar sufrir un accidente con los imanes, debido a la magnitud del campo, además de la precisión que se deberá tener para asegurar que los imanes queden colocados en la posición correcta.

Para unir los imanes al disco del rotor se usará soldadura al frío epoxi para metales. Primero se deberá mezclar el contenido 1 y 2 de la soldadura al frío en partes iguales hasta lograr una mezcla homogénea para después colocarla sobre una cara del imán.

De preferencia, usando guantes para una mayor seguridad, se empezará posicionando un imán, en una de las 12 secciones del disco metálico del rotor y se lo deberá mantener presionado en la posición correcta por unos minutos hasta que el pegamento seque lo suficiente para que el imán mantenga su posición.

Una vez colocado el primer imán se obtendrá el campo magnético que determinará la posición de los demás imanes, como cada uno de los imanes de al lado deberá ir colocado de manera alternada, entonces saltándonos una posición se colocará el segundo imán de la misma manera que el primero, y sucesivamente hasta colocar los 6 imanes con la misma polaridad, de esta manera se evitará que los imanes se atraigan sin control, la posición del campo magnético es el mismo y no interactúa con los imanes de los lados.

Después que el pegamento haya secado por completo se procederá a colocar los imanes restantes con la posición contraria.

Se podrá determinar la polaridad de los imanes restantes fácilmente, conociendo las leyes de atracción y repulsión, las cuales dicen que cuando dos imanes se colocan con sus polos iguales enfrentados ambos se repelen, es decir, el polo positivo de uno repele al polo del otro, y lo mismo sucede con los polos negativos. En cambio, los polos opuestos se atraen.



Figura 43. Montaje del collar de imanes en el disco inductor

Fuente: Los Autores

Ya colocados todos los imanes, se deberá limpiar la superficie del rotor inductor con diluyente para remover cualquier impureza y finalmente aplicar una capa de pintura acrílica sobre el disco del rotor para evitar que la placa metálica se oxide.



Figura 44. Pintado base del rotor inductor

Fuente: Los Autores



Figura 45. Pintado final del rotor inductor

Fuente: Los Autores

3.6. Fabricación de la Carcasa del Generador.

La carcasa metálica tendrá la función de contener el estator y el rotor, además de proteger los componentes de la intemperie y permitirá, mediante sus respectivos soportes poder ser ensamblado a la base para acoplarlo a la máquina primaria.

El diseño de la carcasa es de la misma estructura que se ha utilizado anteriormente, es decir, de geometría axial, lo cual lo hará más sencillo al momento de fabricar la pieza en el taller de torno, y además de permitir un rápido ensamble.

La carcasa estará compuesta por dos discos de aluminio de 1/8 plg, se utilizará este material para disminuir el peso final que tendrá el generador, además de evitar el óxido de estas partes y la facilidad al momento de trabajar en estas piezas.

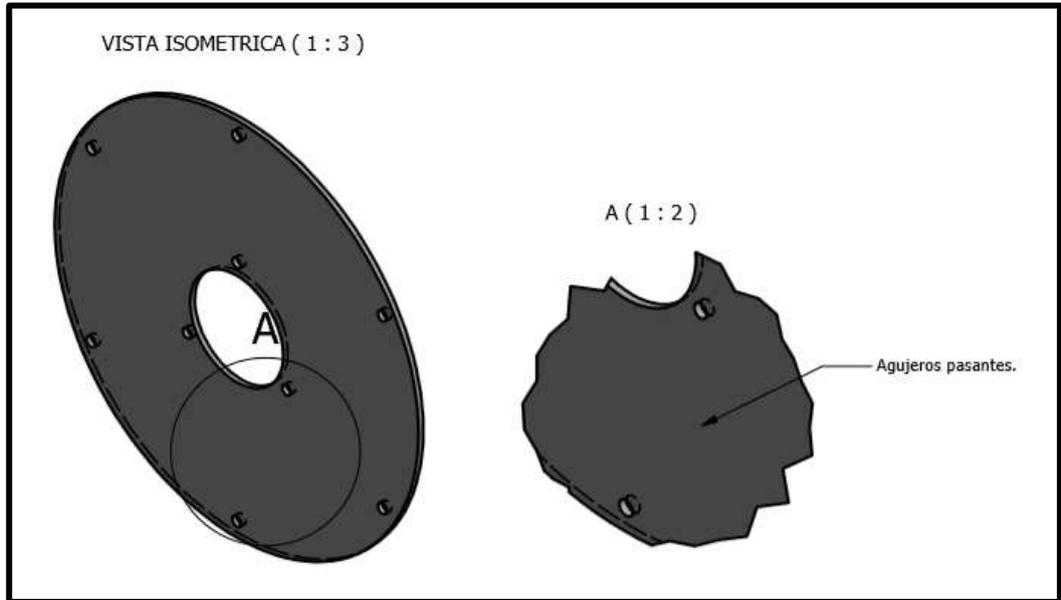


Figura 46. Diseño del disco posterior de la carcasa del generador

Fuente: Los Autores

Para unir ambos discos se utilizará una varilla roscada de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ plg cortada en 6 partes iguales de 3.5 plg y sus respectivos pares de tuercas en cada extremo de la varilla cortada, sujetando el respectivo disco para hacer contratuerca y de esta manera evitar que alguna tuerca se afloje. Además hay que tener en cuenta que la distancia de ajuste de cada varilla roscada con los discos de la carcasa debe ser exactamente igual, para que ambos discos se encuentren totalmente paralelos.



Figura 47. Discos de la carcasa del generador

Fuente: Los Autores

Se debe asegurar al momento de fabricar el par de discos, que las perforaciones para las 6 varillas espaciadoras y las 3 perforaciones para los soportes de los rodamientos coincidan en la misma posición en ambos discos, un pequeño desfase en la posición ocasionará problemas al ensamblar el generador e

incluso podría ocasionar que el rotor de imanes permanentes se incline unos cuantos milímetros y exista algún roce con el estator al momento de girar.

Ambos discos son de iguales dimensiones con la diferencia que en el disco de soporte frontal, estará diseñado con tres perforaciones adicionales en los cuales se montará el estator anteriormente ya construido.

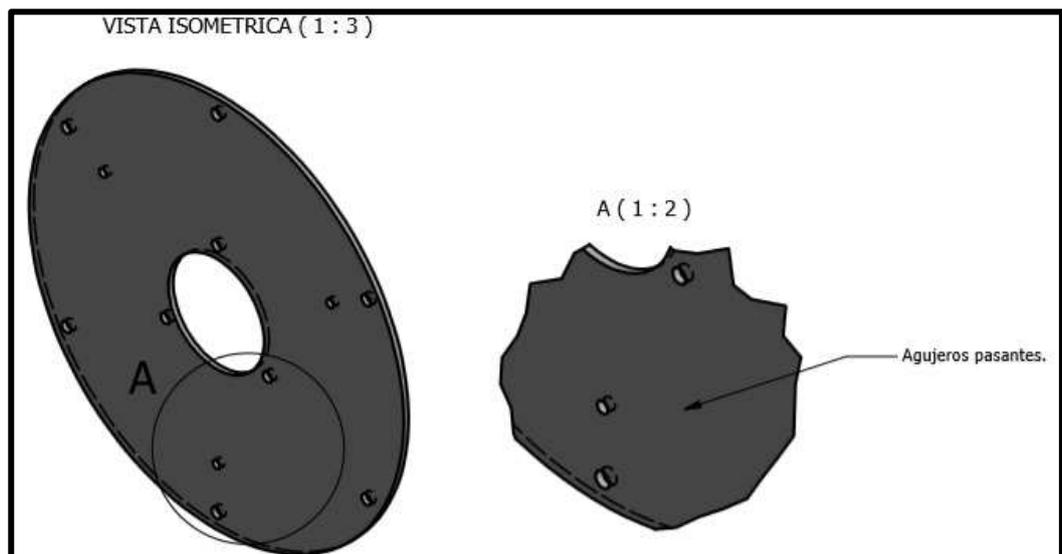


Figura 48. Diseño del disco frontal de la carcasa del generador

Fuente: Los Autores

3.7. Ensamble Final del Generador de Imanes Permanentes.

Teniendo armada la parte estática y rotórica del generador que son las partes centrales de la máquina, se procederán a colocar los rodamientos de 1 plg en sus respectivos soportes de brida, los cuales van a su vez sujetados en cada disco de soporte del generador.

El eje está diseñado con dos manzanas como tope para evitar que exista algún tipo de roce o choque entre el estator y el disco de imanes, el cual permanecerá rotando de manera constante.



Figura 49. Rodamientos con sus soportes de brida

Fuente: Los Autores

Una vez fabricadas todas las partes y ensambladas a las partes fundamentales del generador de tipo axial para su funcionamiento, se procederá al ensamble final del mismo, el cual consiste en la unión de todas las partes de una manera adecuada para que el mismo cumpla un desempeño correcto (Figura 50).

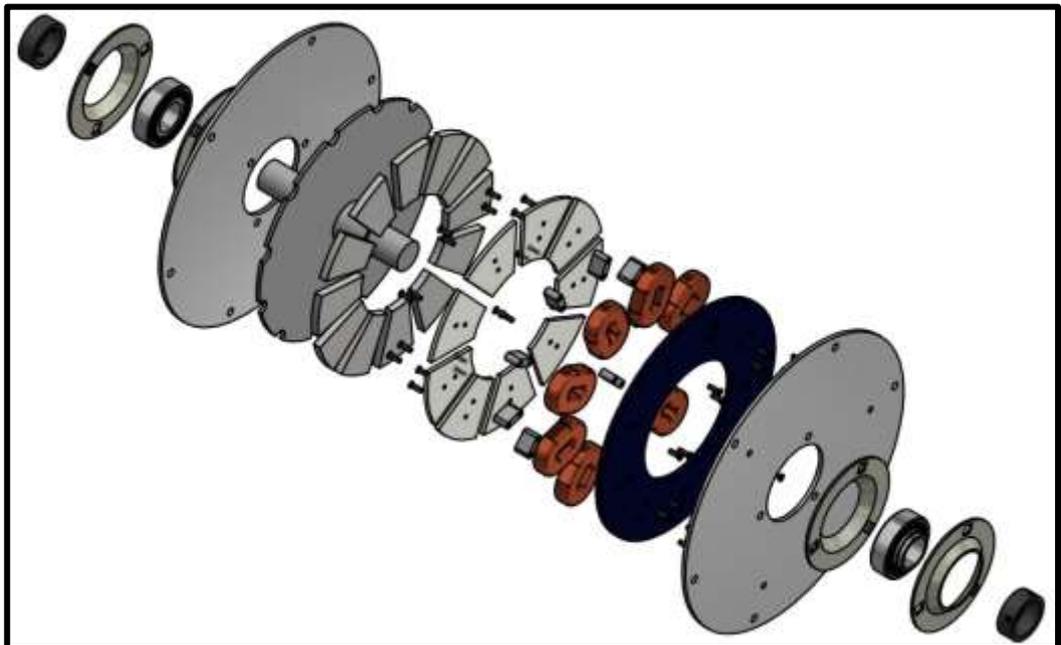


Figura 50. Vista tridimensional del ensamble de las partes del generador

Fuente: Los Autores

3.8. Construcción de Mesa y Soporte para Pruebas.

La mesa está formada por un par de correas de hierro de $\frac{1}{4}$ plg y una lámina del mismo material de $\frac{1}{8}$ plg.

Los extremos de la lámina de hierro deberán ser doblados dando una medida final de 10x15 plg y una altura de 3¼ plg, para luego soldarlos con las correas de 15 plg de largo.



Figura 51. Construcción de la base de la mesa del generador

Fuente: Los Autores

Una vez soldadas las correas con la lámina de hierro se procede a pulir la pieza para posteriormente soldar las garruchas de 4 plg a cada extremo de la mesa.



Figura 52. Soldada de las garruchas a la base de la mesa del generador

Fuente: Los Autores

Se debe tener en cuenta, que la mesa de soporte debe acoplarse a la mesa de la máquina primaria, para lo cual tienen una punta además de las grapas para sujetarlas y encajar ambas mesas.



Figura 53. Mesa de acople de la máquina primaria

Fuente: Los Autores

Se debe tomar las medidas con gran exactitud de la mesa de la máquina primaria para que al acoplarse ambas mesas queden totalmente centradas, de manera contraria el generador no acoplará de manera correcta con el motor.



Figura 54. Acople de la máquina primaria con el generador tipo axial

Fuente: Los Autores

Además de la mesa fabricaremos los soportes del generador los cuales lo sostendrán al momento de estar instalado sobre la mesa. Estos soportes deben llevar medidas muy precisas para que el eje del generador quede a la misma altura del eje del motor primario y de esta manera, mediante el matrimonio poder unir las máquinas para las pruebas (Ver Anexo C).

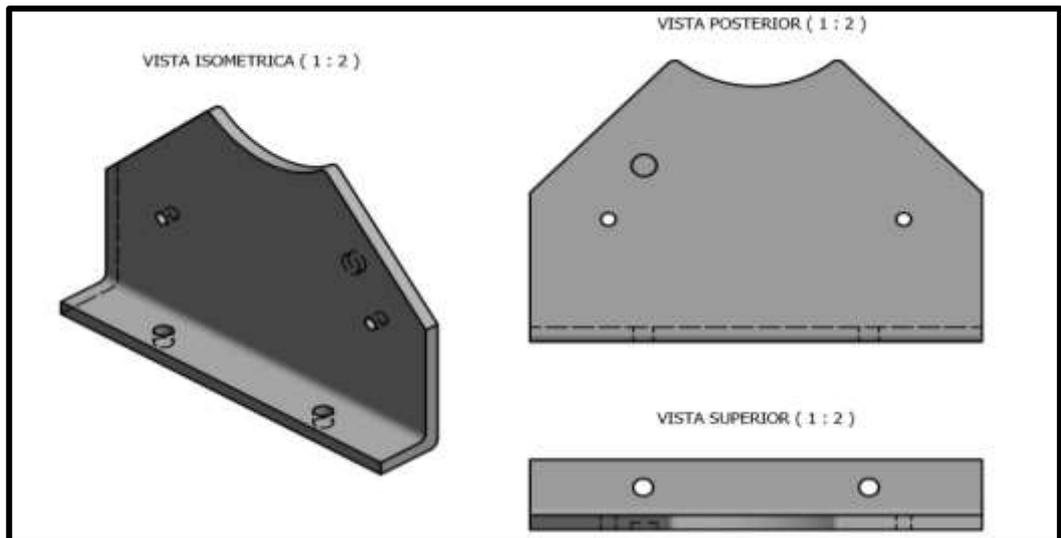


Figura 55. Diseño del soporte del generador

Fuente: Los Autores

Hay que tener en cuenta la distancia precisa de los agujeros, estos deben estar al mismo nivel de los agujeros de los dos discos de la carcasa del generador, para que en los dos agujeros inferiores de los seis existentes en los discos se acoplen los dos soportes.

Además el diseño de los soportes ayuda al descanso del peso del generador mediante el apoyo de las bridas de los rodamientos en los mismos.

Ya realizadas estas piezas se procede a limpiar y limar cualquier desperfecto de los soportes y finalmente a pintarlas para evitar la corrosión, al igual que en las piezas anteriores.



Figura 56. Pintado de los soportes del generador

Fuente: Los Autores

Este par de soportes estarán ubicados a cada lado del generador de imanes permanentes y de manera centrada sobre mesa que los sostendrá en conjunto, para su acople con la otra máquina.

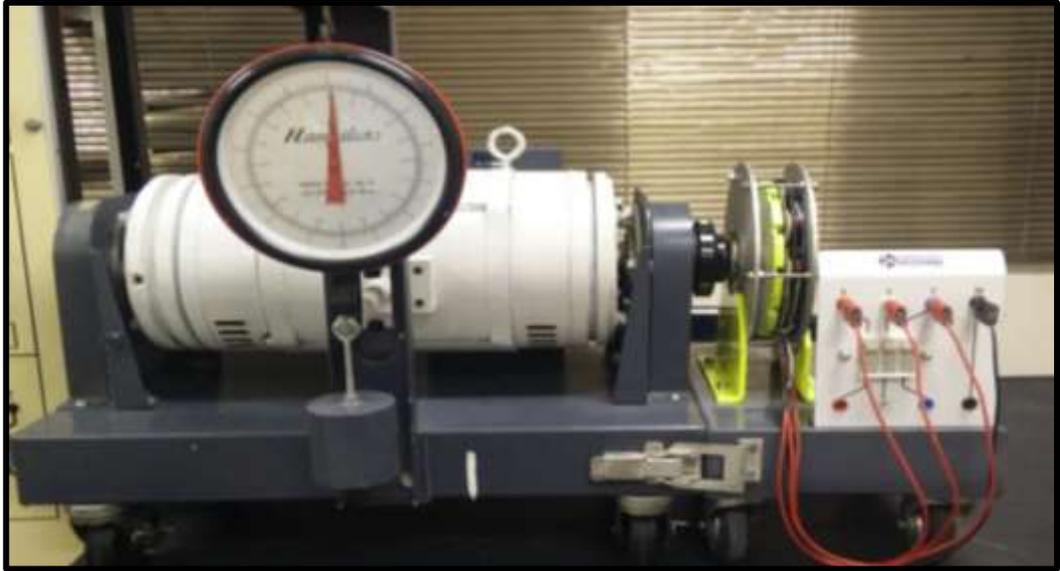


Figura 57. Generador de imanes permanentes acoplado a la maquina primaria

Fuente: Los Autores

3.9. Presupuesto de la Construcción del Generador de Imanes Permanentes.

Tabla 2. Presupuesto del proyecto

MATERIALES				
Ítem	Descripción del Producto	Costo Unitario	Cantidad	Total
1	Disco de Aluminio	\$ 40,00	2	\$ 80,00
2	Chumacera	\$ 25,00	2	\$ 50,00
3	Disco del estator	\$ 25,00	1	\$ 25,00
4	Núcleo de Bobina	\$ 10,00	9	\$ 90,00
5	Alambre Esmaltado #22	\$ 12,50	2	\$ 25,00
6	Cabeza de Bobina	\$ 2,00	9	\$ 18,00
7	Eje del rotor inductor	\$ 60,00	1	\$ 60,00
8	Imán de Neodimio N-42	\$ 13,00	12	\$ 156,00
9	Camisa de eje	\$ 5,00	1	\$ 5,00
10	Tornillería	\$ 10,00	1	\$ 10,00
11	Soporte de Generador	\$ 20,00	2	\$ 40,00
12	Mesa	\$ 100,00	1	\$ 100,00
13	Placa de Conexión	\$ 20,00	1	\$ 20,00
14	Bornera	\$ 8,00	8	\$ 64,00
15	Pintura	\$ 30,00	1	\$ 30,00
16	Varios	\$ 10,00	1	\$ 10,00
TOTAL:				\$ 783,00

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE LABORATORIO (TABLAS Y CURVAS)

4.1. Características a Vacío del Generador a Frecuencia Variable.

Se realizaron diferentes tipos de pruebas de funcionamiento a vacío y con carga resistiva para observar el comportamiento del generador, las conexiones que se realizaron para las pruebas de funcionamiento a vacío se las detalla en el Anexo D, logrando obtener los siguientes datos:

4.1.1. Característica Fasorial y Senoidal del Voltaje Línea – Línea.



Figura 58. Diagrama Fasorial Voltaje Línea – Línea secuencia (+) R-S-T

Fuente: Los Autores

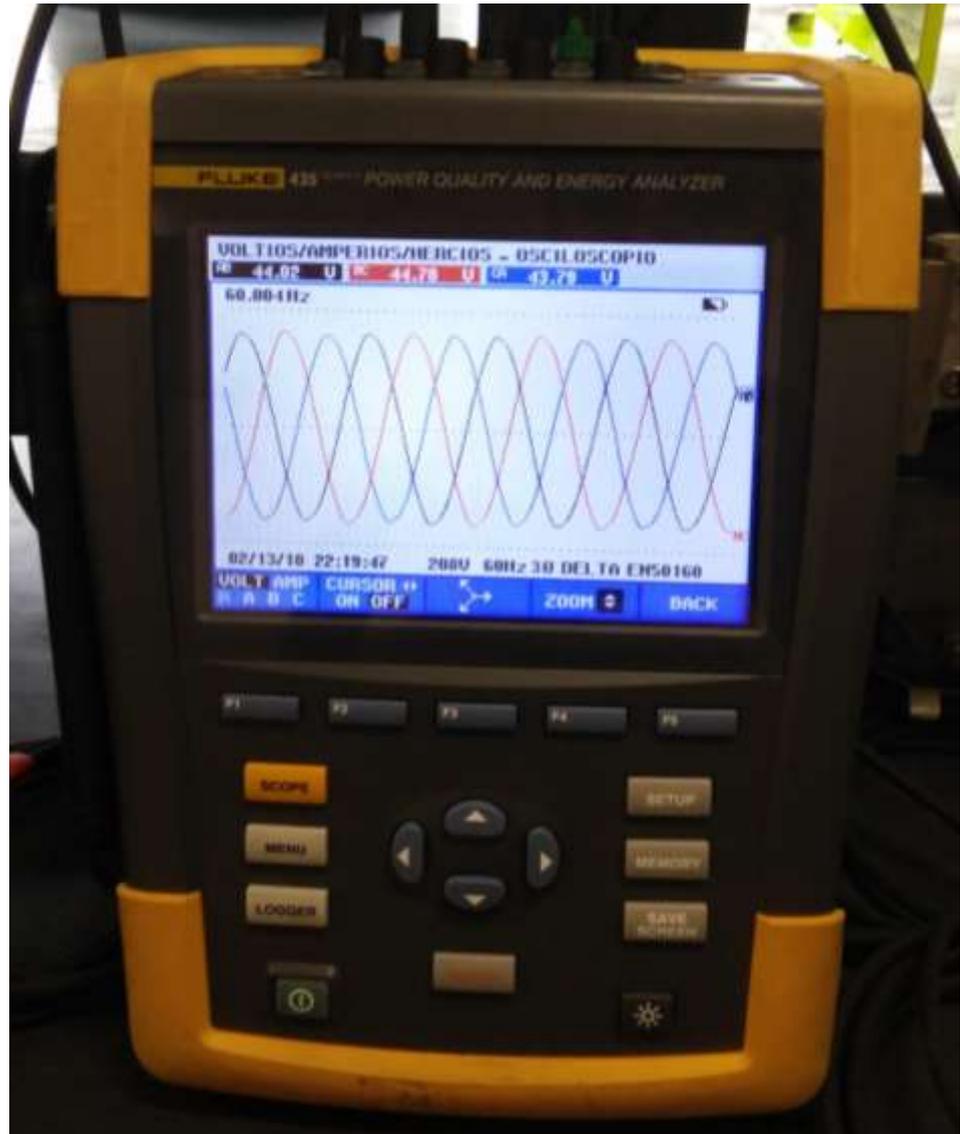


Figura 59. Diagrama Senoidal Voltaje Línea – Línea secuencia (+) R-S-T

Fuente: Los Autores

Las figuras 58 y 59 fueron capturas cuando el Generador de Imanes Permanentes tenía una velocidad $n = 600 \text{ rpm}$ por tal motivo la frecuencia eléctrica es $f = 60 \text{ Hz}$. Para conocer cómo se produce la onda sinusoidal a partir del diagrama Fasorial podemos observar la siguiente figura:

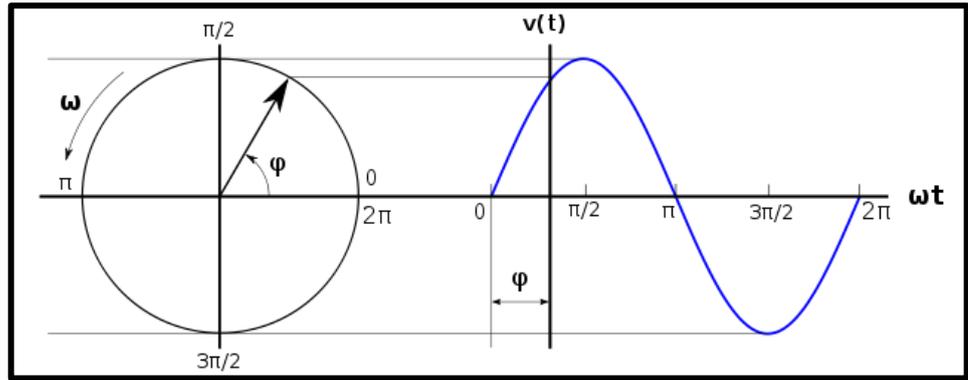


Figura 60. Generación de Onda Sinusoidal a partir del Diagrama Fasorial.

Fuente: Los Autores

4.1.2. Característica Fasorial y Senoidal de Voltaje Línea – Neutro.



Figura 61. Diagrama Fasorial Voltaje Línea – Neutro secuencia (+) R-S-T

Fuente: Los Autores

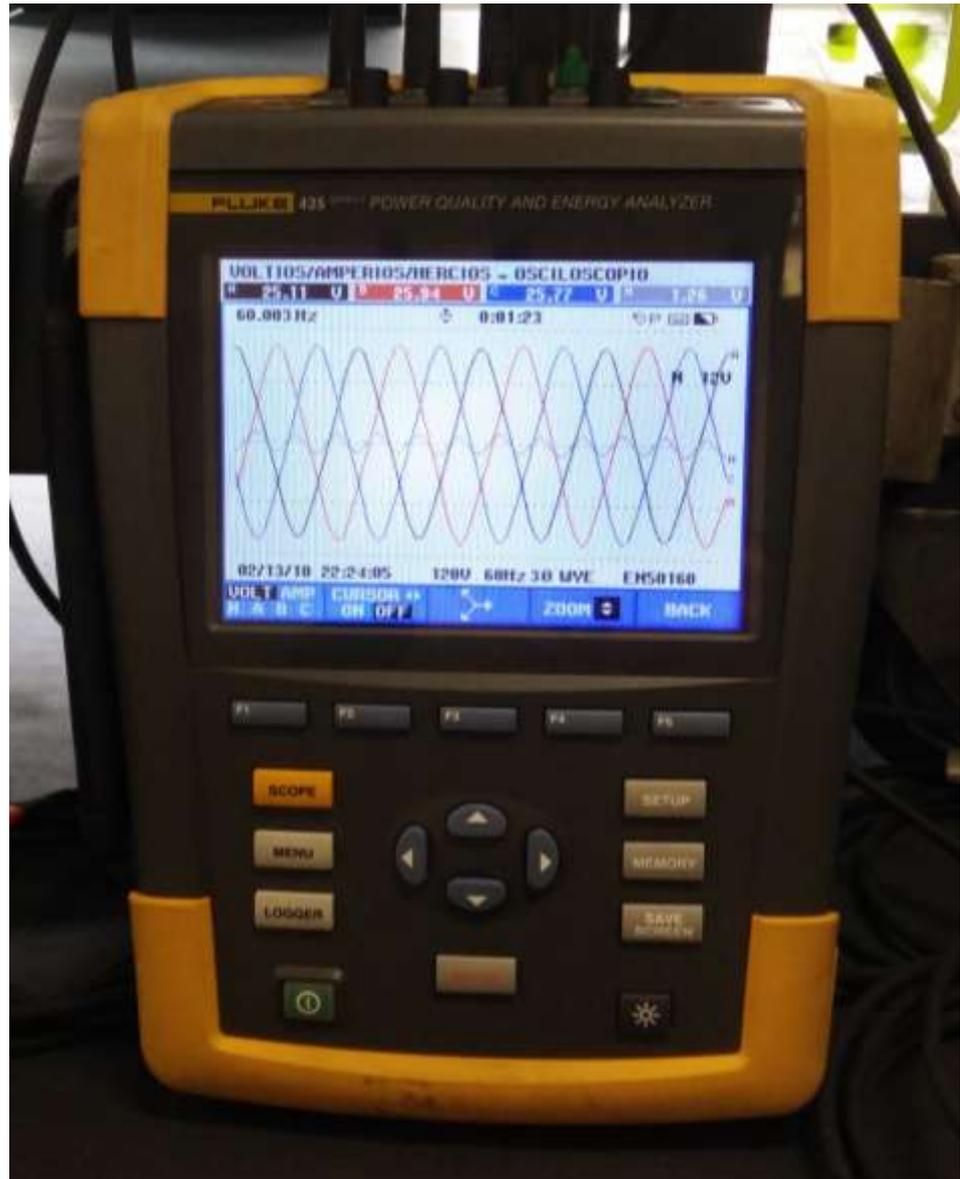


Figura 62. Diagrama Senoidal Voltaje Línea – Neutro secuencia (+) R-S-T

Fuente: Los Autores

Las figuras 61 y 62 fueron capturas cuando el Generador de Imanes Permanentes tenía una velocidad $n = 600 \text{ rpm}$ por tal motivo la frecuencia eléctrica es $f = 60 \text{ Hz}$. Para conocer cómo se produce la onda sinusoidal a partir del diagrama Fasorial podemos observar la siguiente figura:

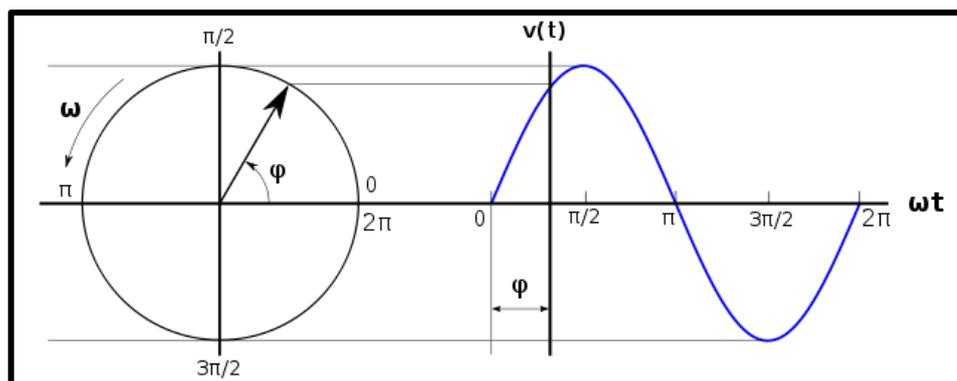


Figura 63. Generación de Onda Sinusoidal a partir del Diagrama Fasorial.

Fuente: Los Autores

4.1.3. Tabla de Valores Experimentales.

Tabla 3. Valores Experimentales

DATOS OBTENIDOS DEL GENERADOR CON EXITACIÓN DE IMANES PERMANENTES				
Velocidad mecánica del rotor [r.p.m.]	Frecuencia [Hz]	Torque Aplicado [N.m]	Tensión Línea - Neutro [V]	Tensión Línea - Línea [V]
0	0	0	0	0
50	5	0,56	2,24	3,42
100	10	0,70	4,44	7,35
150	15	0,80	6,65	11,12
200	20	0,90	8,79	14,79
250	25	1,02	11,32	18,56
300	30	1,12	13,17	22,44
350	35	1,21	15,18	26,10
400	40	1,30	17,37	29,49
450	45	1,42	19,56	33,15
500	50	1,50	21,50	36,58
550	55	1,59	23,10	39,50
600	60	1,72	25,90	44,84

Fuente: Los Autores

Los datos que se visualizan en la Tabla 3. Se obtuvieron al realizar las pruebas de funcionamiento a vacío realizando los pasos que se detalla en el Anexo D. Luego de registrar los datos obtenidos, se procede a desarrollar la Tabla 4, permitiendo graficar las características del Generador de Imanes Permanentes a Vacío con frecuencia variable.

4.1.4. Tabla De Valores Calculados.

Tabla 4. Valores Calculados

DATOS OBTENIDOS DEL GENERADOR CON EXITACIÓN DE IMANES PERMANENTES					
Velocidad Angular. [rad/s]	Torque Aplicado [N.m]	Potencia en el eje. [W]	K1	K2	K3
0	0	0	0	0	10
5,24	0,56	2,93	1,53	0,43	10
10,48	0,70	7,34	1,66	0,42	10
15,71	0,80	12,57	1,67	0,42	10
20,94	0,90	18,85	1,68	0,42	10
26,18	1,02	26,70	1,64	0,43	10
31,42	1,12	35,19	1,70	0,42	10
36,65	1,21	44,35	1,72	0,41	10
41,89	1,30	54,46	1,70	0,41	10
47,12	1,42	66,91	1,70	0,42	10
52,36	1,50	78,54	1,70	0,41	10
57,60	1,59	91,58	1,71	0,40	10
62,83	1,72	108,07	1,73	0,41	10

Fuente: Los Autores

Los datos que se visualizan en la Tabla 4. Son valores obtenidos de los datos experimentales al realizar conversiones de unidades como la velocidad angular que se pasó de rev/min a rad/s, resolución de fórmulas como es el caso de la potencia en el eje, multiplicando el torque aplicado por la velocidad angular. Los valores de K1, K2 y K3.

Son valores que se obtienen de la siguiente manera:

$$K1 = \frac{V_{l-l}}{V_{l-n}} = \sqrt{3}$$

Ecuación 12. Constante de la relación entre el V l-l y el V l-n.

Fuente: Los Autores

$$K2 = \frac{fem}{\omega}$$

Ecuación 13. Constante de operación magnética.

Fuente: Los Autores

$$K3 = \frac{n}{f} = \frac{60}{pp}$$

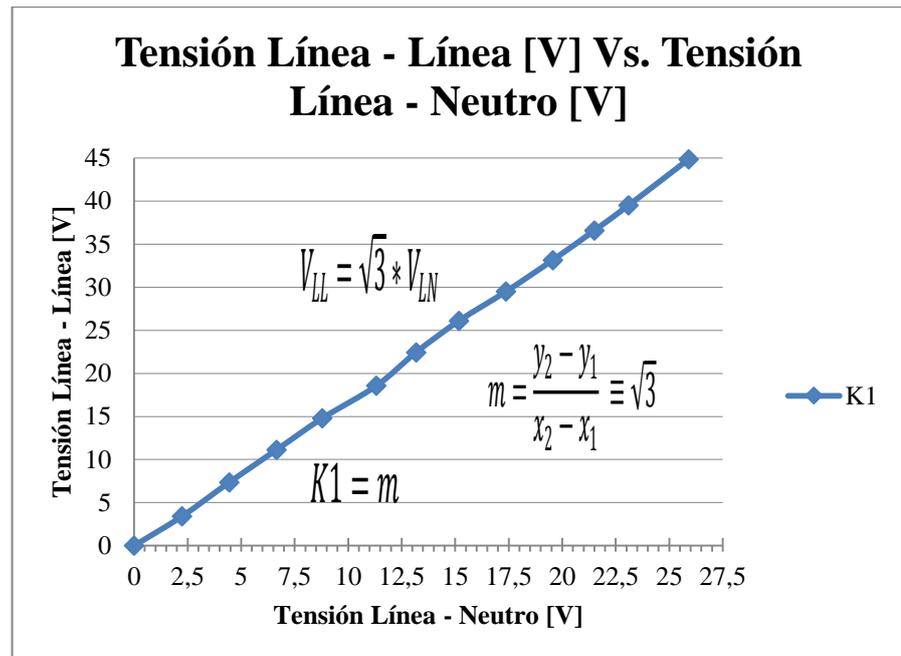
Ecuación 14. Constante sincrónica.

Fuente: Los Autores

4.1.5. Gráficas Obtenidas.

Con los valores obtenidos, experimentales y calculados se realizaron las siguientes gráficas:

4.1.5.1. Obtención de la Constante de Relación entre Voltaje de Línea – Línea y Voltaje Línea – Neutro.

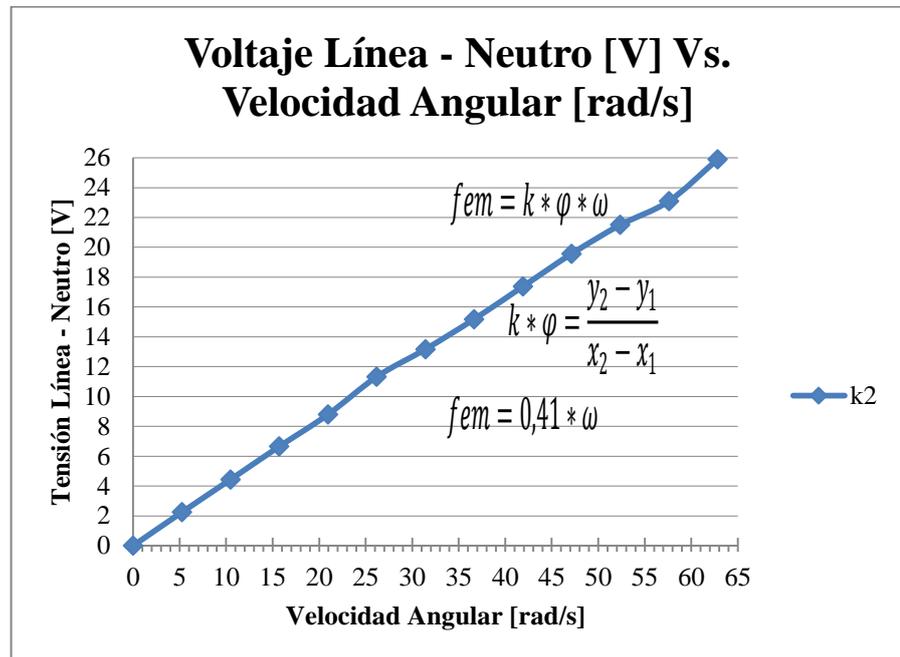


Gráfica 1. Constante K1

Fuente: Los Autores

En la gráfica 1. Observamos el comportamiento del Voltaje de Línea – Línea con respecto al Voltaje de Línea – Neutro. Al calcular el valor de la pendiente de la recta obtenida, se comprueba la relación que existe entre estos voltajes.

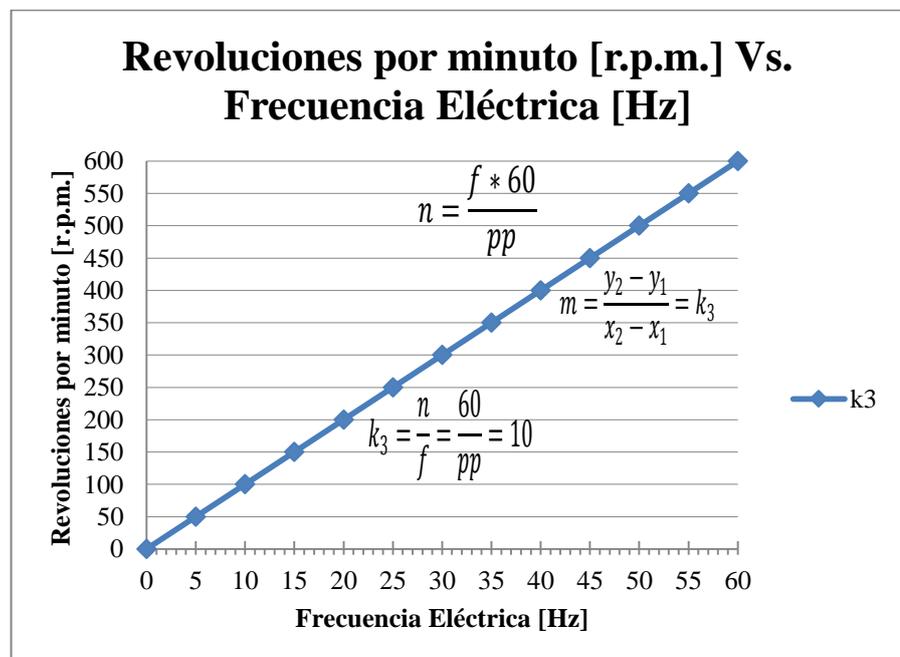
4.1.5.2. Obtención de la Constante de Operación Magnética del Generador.



Gráfica 2. Constante K2.

Fuente: Los Autores

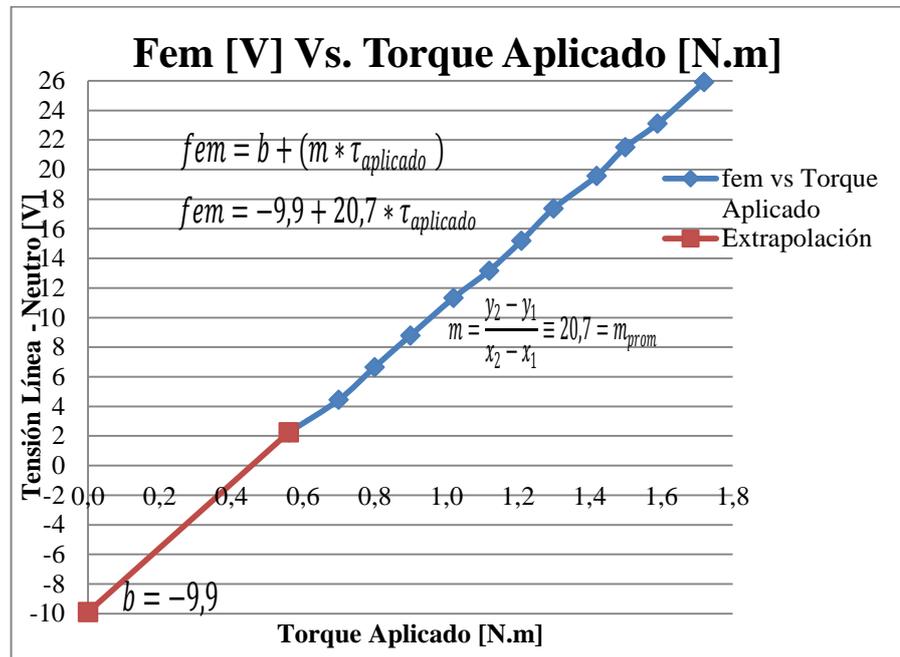
4.1.5.3. Obtención de la Constante Sincrónica del Generador.



Gráfica 3. Constante K3.

Fuente: Los Autores

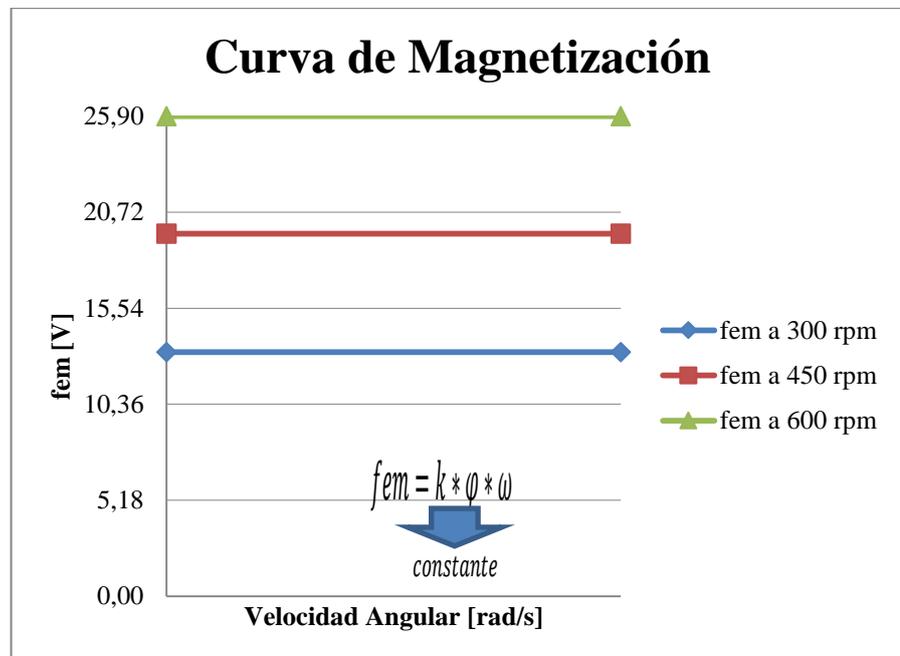
4.1.5.4. Ecuación de la Fuerza Electromotriz en Función del Torque Aplicado.



Gráfica 4. Fem [V] Vs. Torque aplicado [N.m].

Fuente: Los Autores

4.1.5.5. Curva de Magnetización.



Gráfica 5. Curva de magnetización a diferentes rpm.

Fuente: Los Autores

4.2. Características del Generador con Frecuencia Constante y Carga Resistiva Variable.

Se realizaron pruebas de funcionamiento con carga resistiva teniendo la frecuencia constante y variando la carga, observando el comportamiento de la corriente de fase a medida que se variaba la carga resistiva, logrando tener datos experimentales y datos calculados como se muestran a continuación:

4.2.1. Tabla de Valores Experimentales con Frecuencia Constante y Carga Resistiva Variable.

Tabla 5. Valores Experimentales

DATOS OBTENIDOS DEL GENERADOR CON EXITACIÓN DE IMANES PERMANENTES					
Revoluciones por minuto [r.p.m.]	Frecuencia [Hz]	Torque Aplicado [N.m]	Tensión Línea - Neutro [V]	Tensión Línea - Línea [V]	Corriente Fase [A]
600	60	1,88	25,70	44,87	0,253
600	60	2,15	25,36	44,15	0,502
600	60	2,40	25,00	43,50	0,752
600	60	2,80	24,60	42,86	1,044
600	60	3,00	24,25	42,00	1,253
600	60	3,30	23,89	41,34	1,507
600	60	3,50	23,47	40,70	1,754
600	60	3,90	22,86	39,64	2,072
600	60	4,10	22,45	38,90	2,250
600	60	4,47	21,85	37,84	2,527
600	60	4,72	21,30	36,92	2,750
600	60	5,05	20,92	36,21	3,015
600	60	5,25	20,40	35,34	3,244
600	60	5,50	19,77	34,22	3,502
600	60	5,77	19,40	33,61	3,743
600	60	6,00	18,77	32,55	4,025
600	60	6,20	18,14	31,44	4,250
600	60	6,43	17,52	30,38	4,507
600	60	6,65	16,65	28,84	4,750
600	60	6,86	16,01	27,53	5,000

Fuente: Los Autores

4.2.2. Tabla De Valores Calculados con Frecuencia Constante y Carga Resistiva Variable.

Tabla 6. Valores Calculados

DATOS OBTENIDOS DEL GENERADOR CON EXITACIÓN DE IMANES PERMANENTES				
Carga Resistiva [Ω]	Impedancia Sincrónica [Ω]	Potencia Eléctrica [W]	Potencia en el eje [w]	% η Rendimiento del Generador
100,00	0,79	19,66	118,12	16,64
50,10	1,08	38,39	135,09	28,42
32,71	1,20	56,66	150,80	37,57
23,32	1,25	77,50	175,93	44,05
19,19	1,32	91,15	188,50	48,36
15,53	1,33	107,91	207,35	52,04
13,28	1,39	123,65	219,91	56,23
10,99	1,47	142,26	245,04	58,06
9,92	1,53	151,60	257,61	58,85
8,66	1,60	165,62	280,86	58,97
7,76	1,67	175,86	296,57	59,30
6,94	1,65	189,09	317,30	59,59
6,29	1,70	198,57	329,87	60,20
5,59	1,75	207,57	345,58	60,06
5,12	1,74	217,90	362,54	60,10
4,63	1,77	226,92	376,99	60,19
4,24	1,83	231,44	389,56	59,41
3,87	1,86	237,16	404,01	58,70
3,49	1,95	237,27	417,83	56,79
3,18	1,98	238,42	431,03	55,31

Fuente: Los Autores

Los valores que se muestran en la tabla 4, son valores que se calcularon mediante las ecuaciones (3) y (4) para la resistencia y potencia eléctrica, la potencia en el eje es la multiplicación del torque aplicado por la velocidad angular en rad/min los valores restantes se los cálculo utilizando las siguientes fórmulas:

$$Z_s = \frac{fem - V_f}{i_f}$$

Ecuación 15. Impedancia sincrónica.

Fuente: Los Autores

$$\% \eta = \frac{\text{Potencia eléctrica}}{\text{Potencia en el eje}}$$

Ecuación 16. Porcentaje de rendimiento del generador.

Fuente: Los Autores

En la tabla 6. Observamos que el generador llega hasta un 60,19% de rendimiento y se satura, es decir empieza a decrecer el % de rendimiento por tal motivo se considera que la potencia del generador es de 226,92 vatios.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Al finalizar este trabajo, podemos declarar que hemos obtenido los resultados esperados del proyecto, el generador pasó las pruebas de funcionamiento en el laboratorio, logrando obtener el voltaje esperado 25,9 voltios por fase.

Se realizaron un conjunto de pruebas que permiten observar el comportamiento del generador con diversos tipos de cargas, pero estos se efectuaron únicamente de manera educativa debido a que al momento de la aplicación eólica, la máquina no estará sujeta directamente a alguno de estos tipos de carga primero la señal deberá rectificarse para acumular la energía en baterías y mediante un inversor finalmente alimentar alguna carga.

Al emplear un número elevado de polos, se ha podido conseguir que la máquina pueda generar energía a partir de bajas velocidades de viento, en mediciones realizadas en la terraza del bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana y utilizando datos estadísticos del Instituto Oceanográfico de la Armada, hemos notado velocidades promedio entre 2,5 m/s y 4 m/s.

De acuerdo a los cálculos realizados se pudo observar que el voltaje inducido en las bobinas del estator es proporcional al número de espiras de las bobinas y a la inducción magnética en el entrehierro.

Debido al diseño del generador como prototipo educativo las potencias obtenidas a la salida del mismo no son muy elevadas, por lo que este prototipo no es adecuado para la generación de energía en grandes cantidades.

Como datos finales del generador presentamos la siguiente tabla:

Tabla 7. Placa del Generador

Datos finales del Generador			
I _{max} :	5 A	pp:	6
V _{max} :	25,9 V	f:	60 Hz
P:	226,92 W	ω:	600 rpm
% η:	60,19	Z _s :	0,79 - 1,98
N° Fases:	3	R:	1 Ω

Fuente: Los Autores

En la tabla 5. Se puede observar que la impedancia sincrónica (Z_s) varía desde 0,79 hasta 1,98 este valor dependerá de la corriente que entregue el generador.

5.2. Recomendaciones.

Recomendamos seguir con el estudio de utilizar un generador trifásico con excitación de imanes permanentes para ser utilizado como un aerogenerador, tomando en cuenta hacer el respectivo análisis para determinar qué tipo de turbina eólica es la necesaria para tener la menor cantidad de pérdidas en el eje del generador.

El generador no necesita mayor mantenimiento, pero podría presentar disminución en su eficiencia debido a pérdidas mecánicas a causa de fricción en los rodamientos, por lo cual se recomienda un chequeo ocasional de estas partes.

Al ser inducida en las bobinas una F.E.M a través de los imanes permanentes, de la misma manera se inducirá en los núcleos de hierro macizo, y aunque la conductividad de este material es pequeña en comparación con la del cobre, la F.E.M. inducida sobre el hierro provocará la circulación de unas corrientes parásitas provocando el calentamiento de los núcleos (Ver *figura 64*). Por lo que se recomienda en futuros diseños utilizar núcleos de hierro laminado de pequeño espesor para disminuir estas corrientes o el empleo de otro tipo de diseño para que no se requieran núcleos en la parte estática de la máquina.

Reducir la distancia de separación entre el rotor inductor y el estator haciendo la máquina lo más estrecha posible para la mayor captación del campo magnético en las bobinas.

Al momento de la instalación del aerogenerador, deberá tomarse en cuenta que la ubicación sea en lugares donde el recurso eólico sea abundante, recomendándose velocidades promedio de 3,5 m/s.

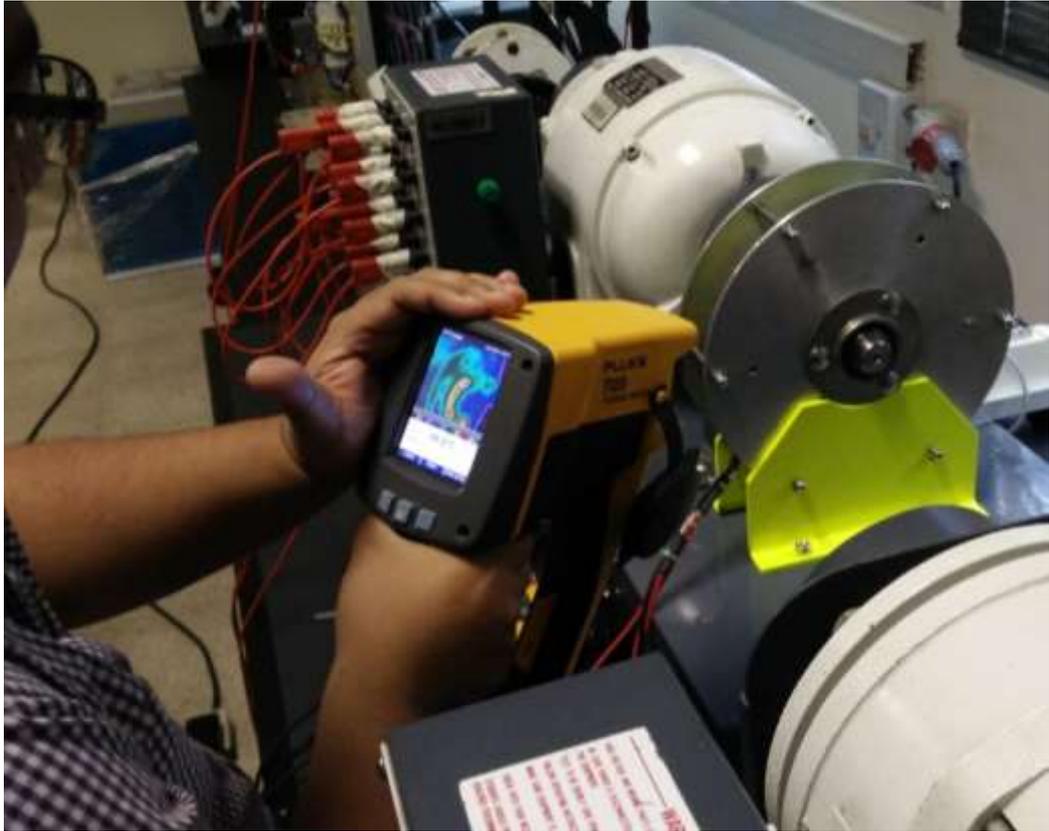


Figura 64. Cámara termográfica mostrando puntos de calor en los núcleos de las bobinas.

Fuente: Los Autores

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Spinadel, Erico
Energía eólica: Un enfoque Sistémico multidisciplinario para países emergentes. - 1a ed. - Buenos Aires: Nueva librería, 2009.
2. Méndez Muñiz, J. M. & Rodríguez Rodríguez, L. M.
Energía eólica. – 1ª ed. - Madrid: FC Editorial, 2012.
3. Villarrubia, Miguel
Ingeniería de la energía eólica. – 1ª ed. Barcelona: MARCOMBO S.A., 2011.
4. Wildi, Theodore
Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. – 6ª ed. – México: Pearson Educación, 2007.
5. Chapman, Stephen
Máquinas eléctricas. – 3ª ed. – McGraw-Hill, 2000.
6. Kosow, Irving
Máquinas Eléctricas y Transformadores. – 2ª ed. – México: Pearson Educación, 1993.
7. Fraile, Jesús
Máquinas Eléctricas. – 6ª ed. – España: McGraw-Hill, 2008
8. Liwshitz, M. & Whipple, C.
Máquinas de corriente alterna. – México: McGraw-Hill Interamericana, 1981.
9. Wangsness, Roald
Campos Electromagnéticos. – 1ª ed. – México: Editorial Limusa, S.A., 2001.
10. Hayt, W. & Buck, J.
Teoría Electromagnética. – 8ª ed. – México: McGraw-Hill Interamericana, 2012.
11. Serway, R. & Vuille, C.
Fundamentos de Física. – 8ª ed. – México: Cengage Learning, 2010.
12. Young H. & Freedman R.
Física universitaria con Física Moderna. – 2ª ed. – México: Pearson Educación, 2009.
13. El banco mundial. (2016). Banco mundial: Datos consumo de energía eléctrica. Grupo del banco mundial. Recuperado de <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC/countries/1W-EC?display=graph>

14. REN21. (2012). Global Status Report: Tendencia Mundial del consumo de energías renovables. REN21. Recuperado de http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/media/gsr2012_press_release_short_spanish.pdf
15. Bienes Comunes. (2012). Version de aerogeneradores de eje vertical. [Figura 13]. Recuperado de www.energias.bienescomunes.org
16. Instituto oceanográfico de la Armada. (2015). Velocidad de vientos predominantes. [Figuras: 1-10]. Recuperado de www.inocar.mil.ec
17. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2013). Central eólica Villonaco. [Figura 14]. Recuperado de www.energia.gob.ec/villonaco/

ANEXOS

ANEXO A.

CARACTERÍSTICAS DE IMANES DE NEODIMIO EN CALIDAD O GRADO N.

Tabla de Propiedades Magneticas

Tabla SuperImanes de Neodymio

Calidad	Remanencia		Coercitividad				Producto energético		Temperatura máxima de empleo
	Br		bHc		iHc		(BxH)max		
	kG	T	kOe	kA/m	kOe	kA/m	MGOe	kJ/m ³	°C
N35	11.7-12.2	1.17-1.201	10.9	868	≥12	≥955	33-36	263-287	≤80
N38	12.2-12.5	1.22-1.25	11.3	899	≥12	≥955	36-39	287-310	≤80
N40	12.5-12.8	1.25-1.28	11.4	907	≥12	≥955	38-41	302-326	≤80
N42	12.8-13.2	1.28-1.32	11.5	915	≥12	≥955	40-43	318-342	≤80
N45	13.2-13.8	1.32-1.38	11.6	923	≥12	≥955	43-46	342-366	≤80
N48	13.8-14.2	1.38-1.42	10.5	836	≥12	≥955	46-49	366-390	≤80
N50	14.0-14.5	1.40-1.45	10.0	796	≥11	≥876	48-51	382-406	≤60
N52	14.3-14.8	1.43-1.48	10.0	796	≥11	≥876	50-53	398-422	≤60

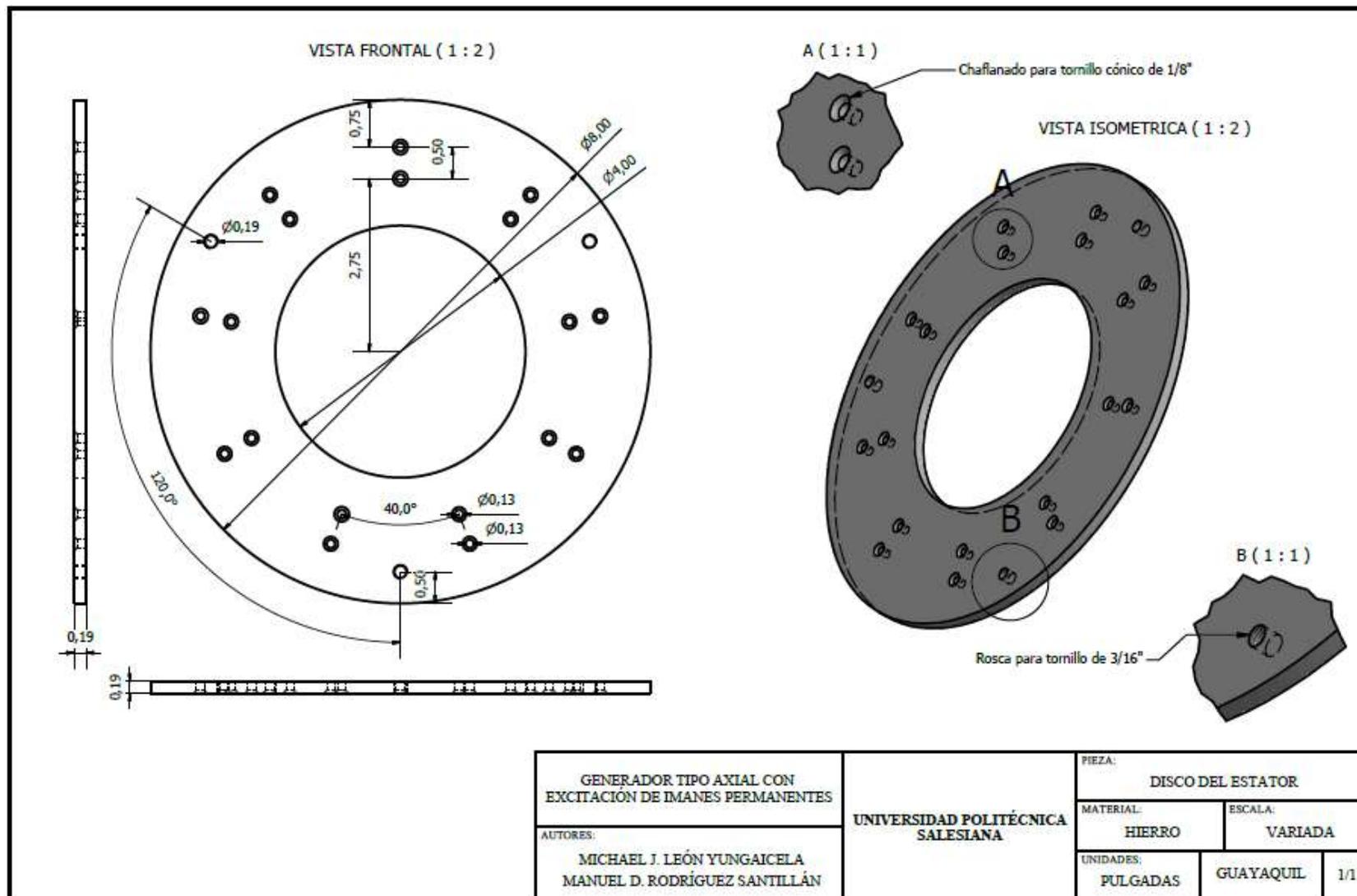
ANEXO B.

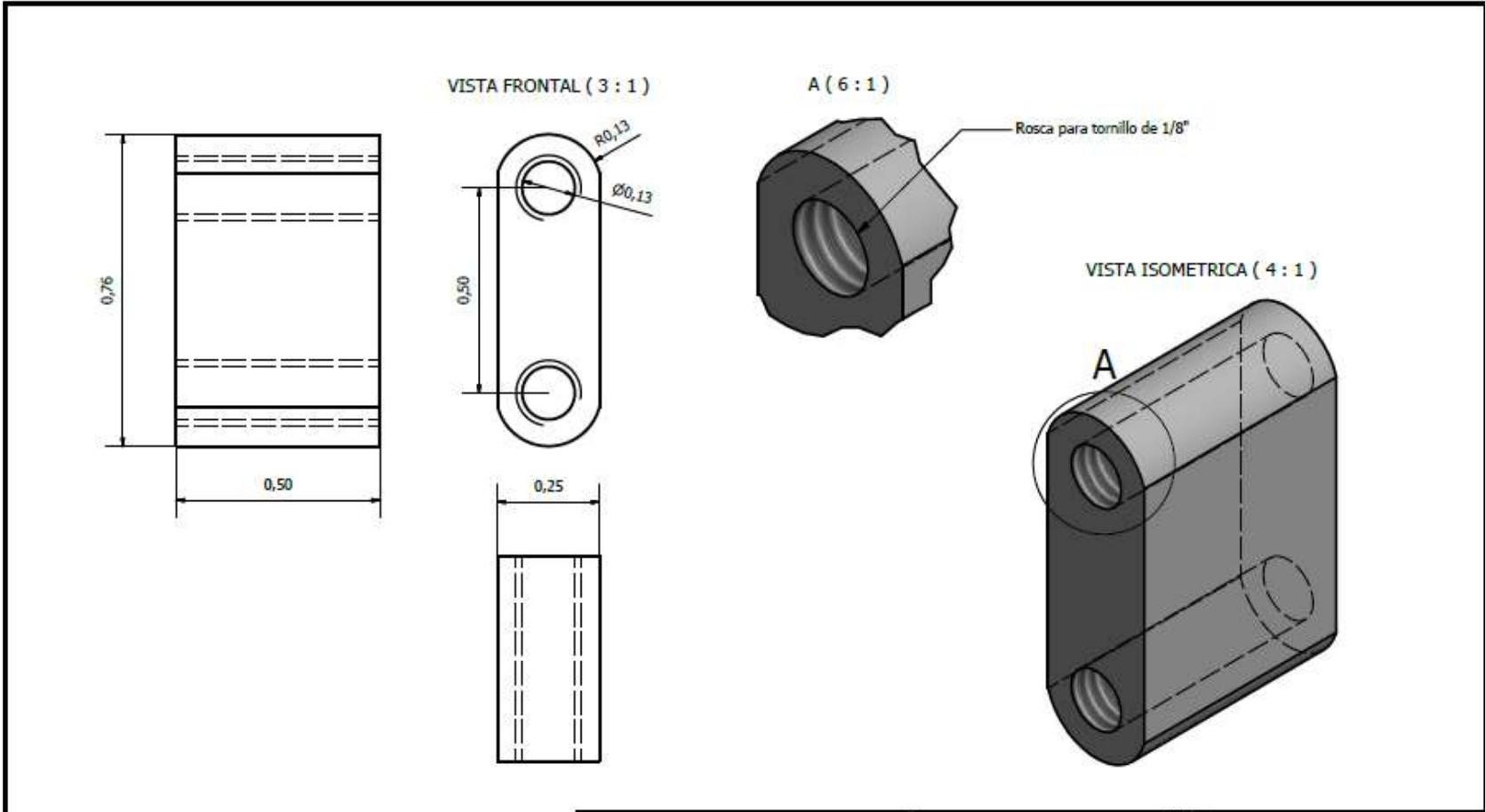
CARACTERÍSTICAS DE ALAMBRE ESMALTADO POR SU DIFERENTE CALIBRE.

CALIBRE AWG	ALAMBRE DESNUDO		CAPA DOBLE		PESO TOTAL APROX (kg/km)	MÁXIMA TENSIÓN DE EMBOBINADO ¹ (kg)	RESISTENCIA ELÉCTRICA DC a 20°C ¹ (ohm/km)	DENSIDAD DE CORRIENTE ¹ (A)
	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	ÁREA (mm ²)	MÍNIMO INCREMENTO (mm)	MÁXIMO DIÁMETRO (mm)				
8	3,26	8,37	0,084	3,383	75,1	50,0	2,06	83
9	2,91	6,63	0,081	3,020	59,6	39,7	2,60	65
10	2,59	5,26	0,079	2,695	47,3	31,5	3,28	52
11	2,30	4,17	0,076	2,408	37,5	24,9	4,14	41
12	2,05	3,31	0,074	2,151	29,8	19,8	5,21	33
13	1,83	2,63	0,071	1,923	23,7	15,7	6,56	26
14	1,63	2,08	0,081	1,732	18,8	12,4	8,28	21
15	1,45	1,65	0,076	1,547	15,0	9,87	10,4	16
16	1,29	1,31	0,074	1,384	11,9	7,82	13,2	13
17	1,15	1,04	0,071	1,240	9,44	6,22	16,6	10
18	1,02	0,824	0,066	1,110	7,48	4,92	20,9	8,1
19	0,912	0,653	0,064	0,993	5,95	3,91	26,4	6,4
20	0,813	0,519	0,058	0,892	4,73	3,10	33,2	5,1
21	0,724	0,412	0,056	0,798	3,76	2,46	41,9	4,1
22	0,643	0,325	0,053	0,714	2,97	1,94	53,1	3,2
23	0,574	0,259	0,051	0,643	2,38	1,55	66,6	2,6
24	0,511	0,205	0,048	0,577	1,88	1,23	84,1	2,0
25	0,455	0,163	0,046	0,516	1,50	0,972	106	1,6
26	0,404	0,128	0,043	0,462	1,18	0,767	134	1,3
27	0,361	0,102	0,041	0,417	0,946	0,612	168	1,0
28	0,320	0,0804	0,041	0,373	0,748	0,481	214	0,79
29	0,287	0,0647	0,038	0,338	0,603	0,387	267	0,64
30	0,254	0,0507	0,036	0,302	0,474	0,303	340	0,50
31	0,226	0,0401	0,033	0,274	0,377	0,240	430	0,40
32	0,203	0,0324	0,030	0,249	0,305	0,194	533	0,32
33	0,180	0,0254	0,028	0,224	0,241	0,152	678	0,25
34	0,160	0,0201	0,025	0,198	0,190	0,120	857	0,20
35	0,142	0,0158	0,023	0,178	0,150	0,0947	1089	0,16
36	0,127	0,0127	0,020	0,160	0,120	0,0758	1361	0,13
37	0,114	0,0102	0,020	0,145	0,0970	0,0610	1689	0,10
38	0,102	0,00817	0,018	0,130	0,0770	0,0489	2110	0,080
39	0,0890	0,00622	0,015	0,114	0,0590	0,0372	2771	0,061
40	0,0790	0,00490	0,015	0,102	0,0460	0,0293	3517	0,048

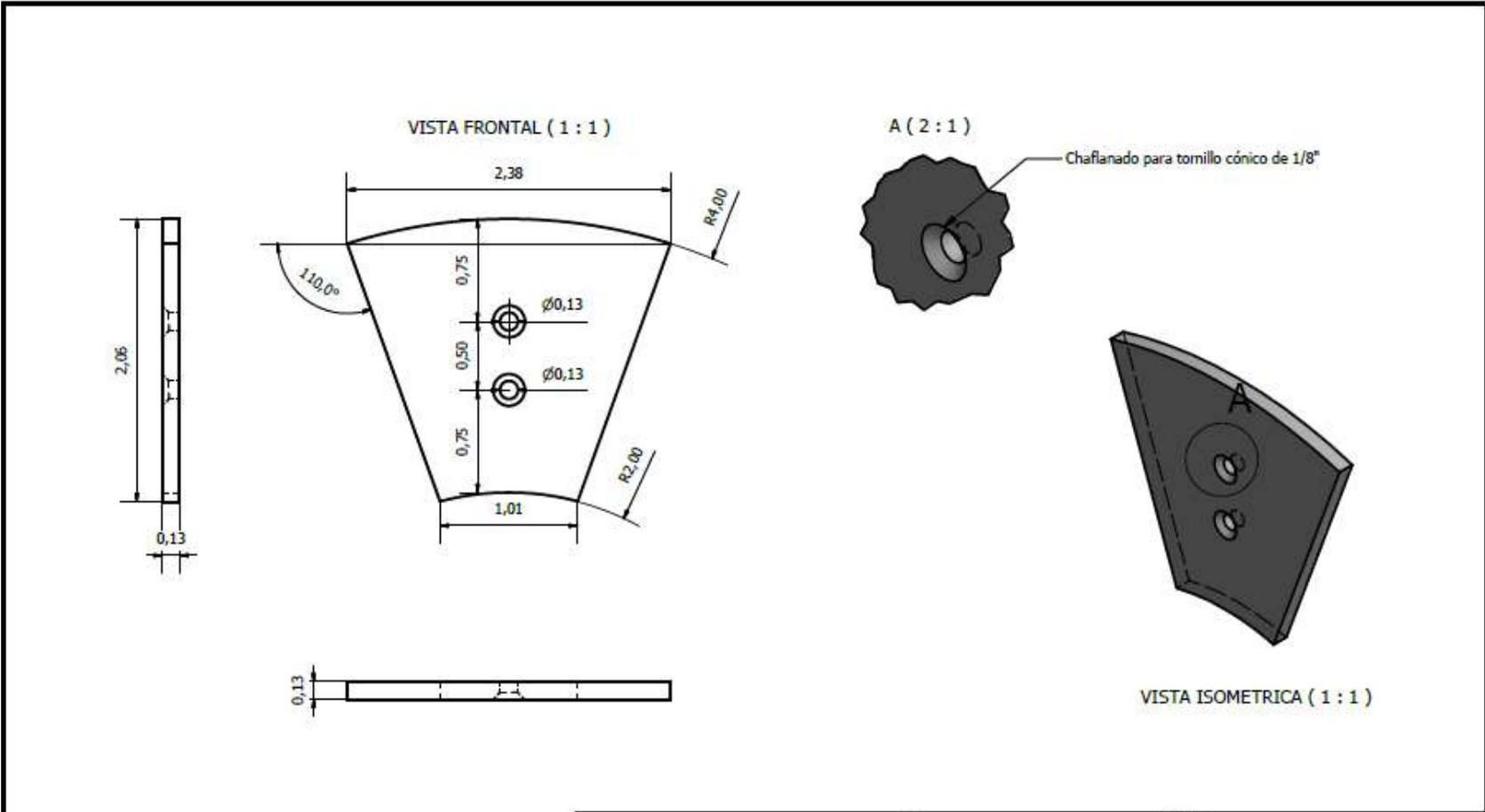
ANEXO C.

DISEÑO DE LAS PIEZAS DEL GENERADOR DE IMANES PERMANENTES.

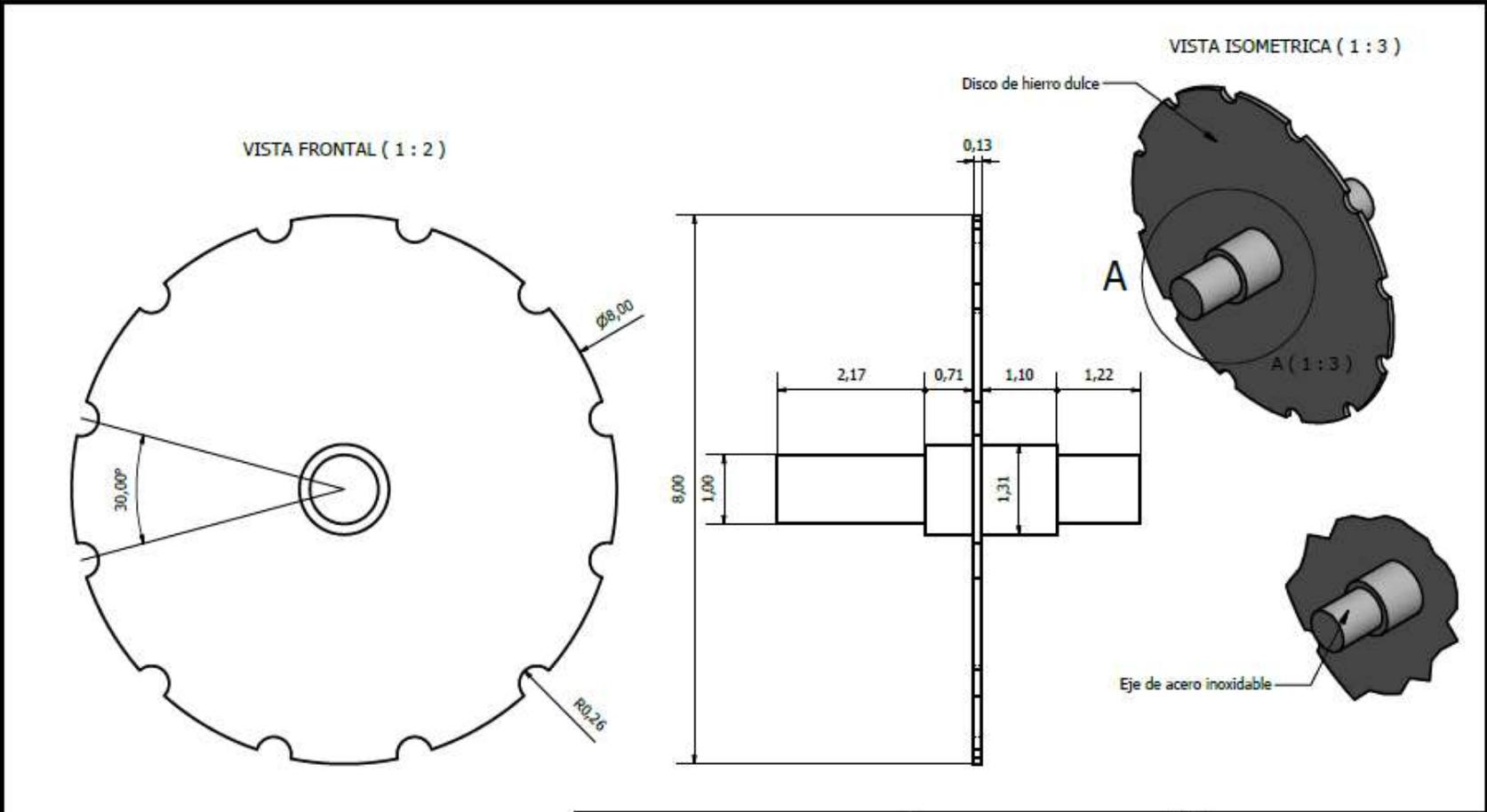




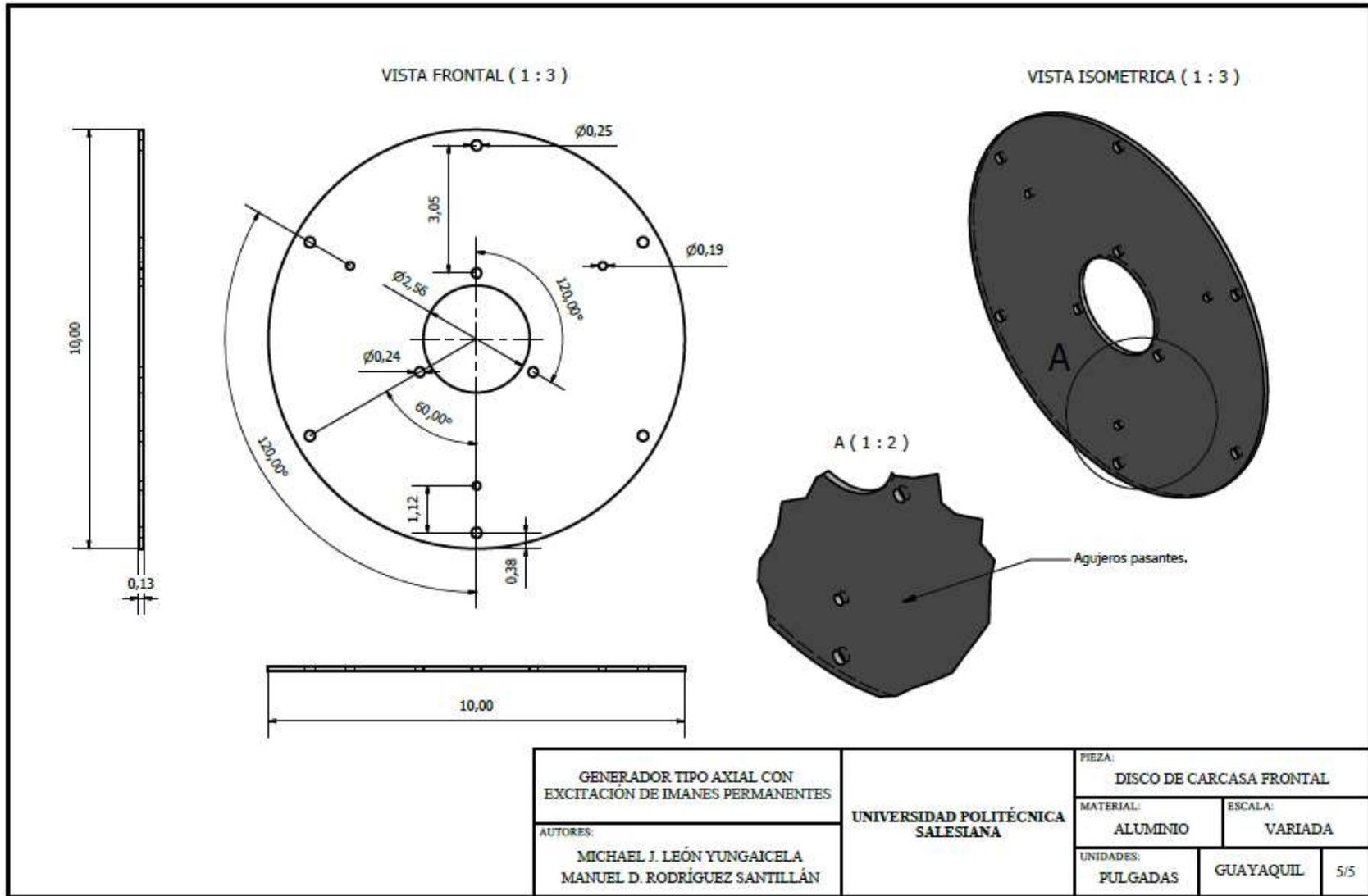
GENERADOR TIPO AXIAL CON EXCITACIÓN DE IMANES PERMANENTES		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		PIEZA: NÚCLEO DE BOBINA	
AUTORES: MICHAEL J. LEÓN YUNGAICELA MANUEL D. RODRÍGUEZ SANTILLÁN				MATERIAL: HIERRO	ESCALA: VARIADA
		UNIDADES: FULGADAS	GUAYAQUIL	2/2	



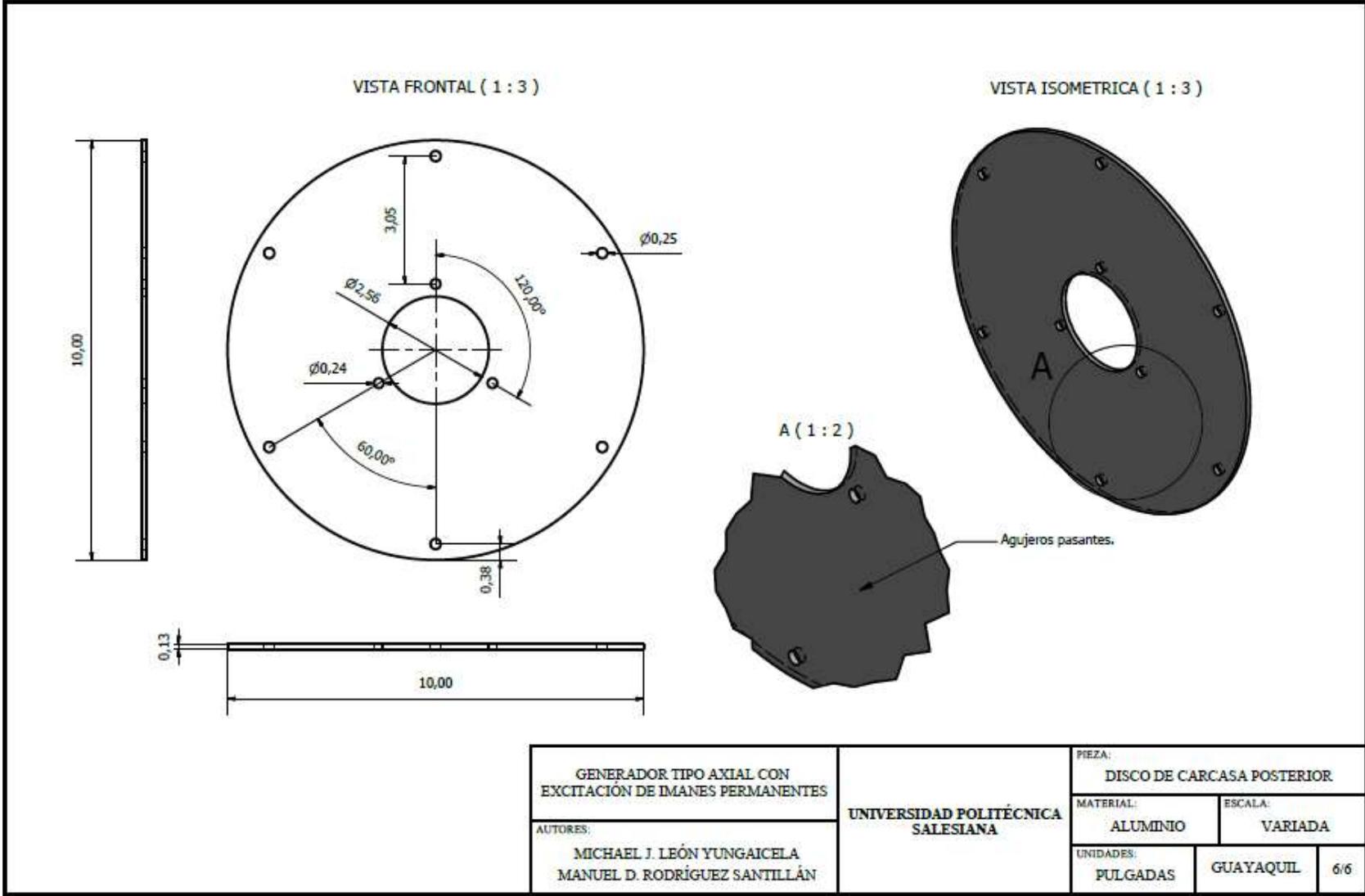
GENERADOR TIPO AXIAL CON EXCITACION DE IMANES PERMANENTES		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		PIEZA: CABEZA DE BOBINA	
AUTORES: MICHAEL J. LEÓN YUNGAICELA MANUEL D. RODRÍGUEZ SANTILLÁN				MATERIAL: ACRÍLICO	ESCALA: VARIADA
		UNIDADES: FULGADAS	GUAYAQUIL	3/3	

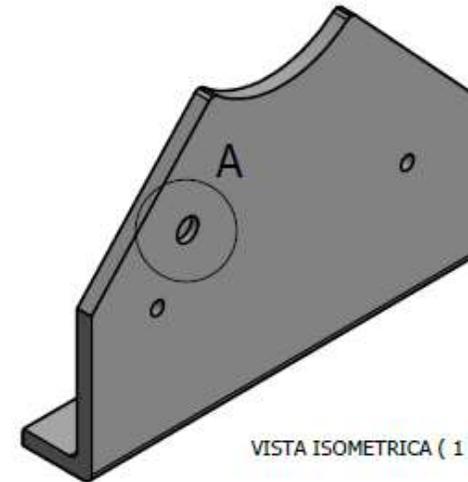
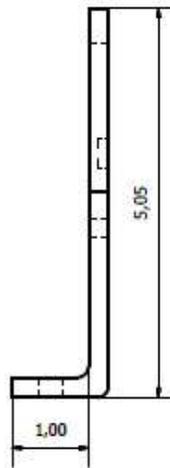
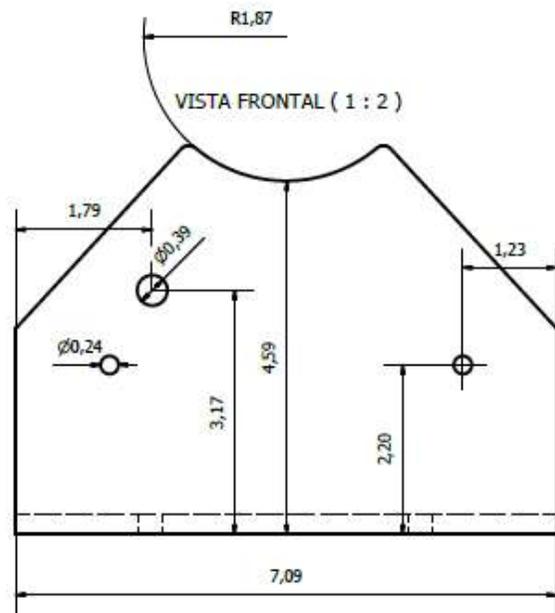
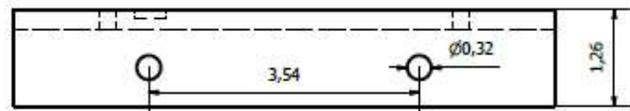


<p>GENERADOR TIPO AXIAL CON EXCITACIÓN DE IMANES PERMANENTES</p>	<p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</p>	<p>PIEZA: EJE DEL ROTOR INDUCTOR</p>	
		<p>MATERIAL: VARIADO</p>	<p>ESCALA: VARIADA</p>
<p>AUTORES: MICHAEL J. LEÓN YUNGAICELA MANUEL D. RODRÍGUEZ SANTILLÁN</p>		<p>UNIDADES: PULGADAS</p>	<p>GUAYAQUIL 4/4</p>

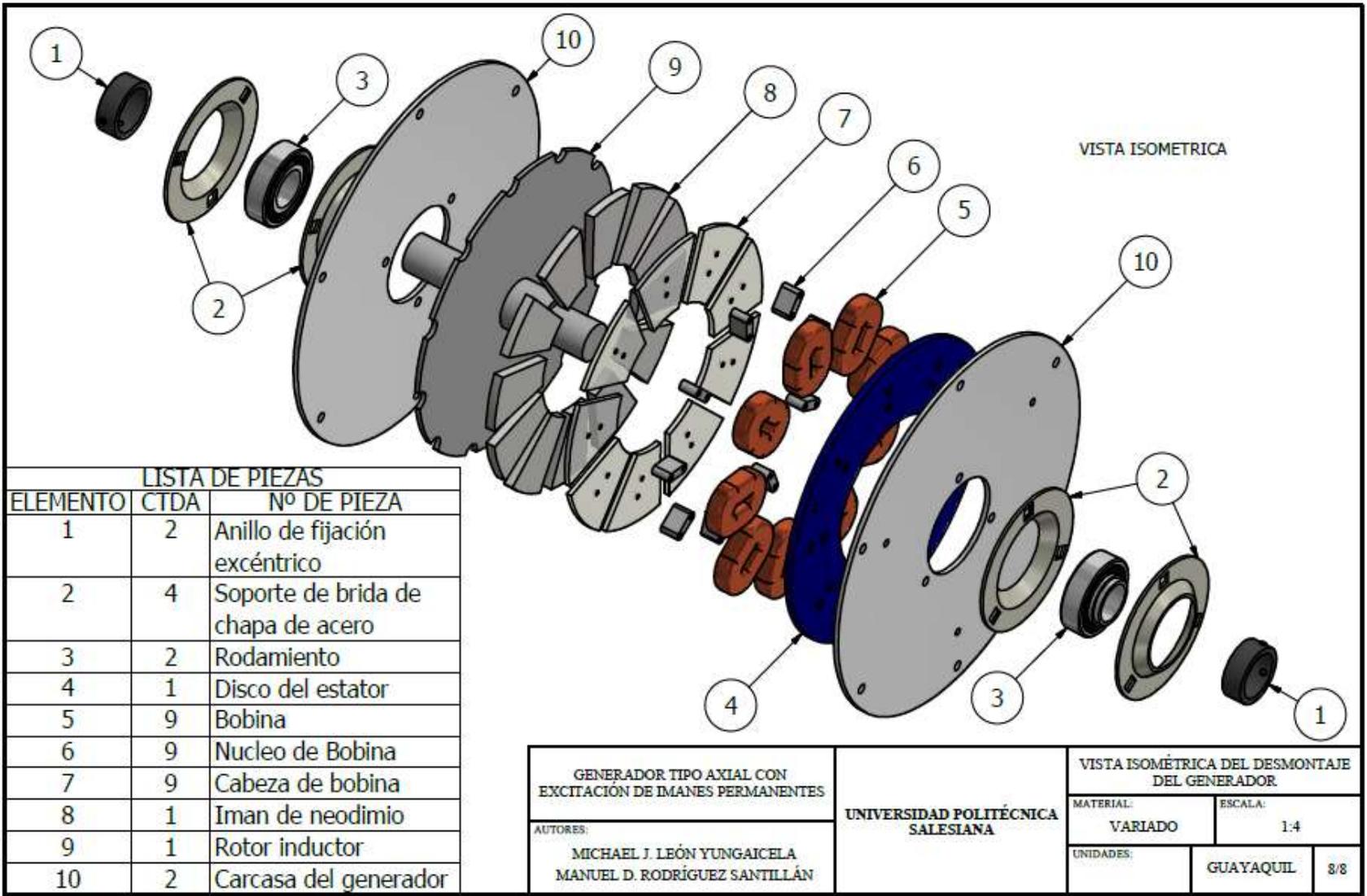


GENERADOR TIPO AXIAL CON EXCITACIÓN DE IMANES PERMANENTES		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		PIEZA: DISCO DE CARCASA FRONTAL	
AUTORES: MICHAEL J. LEÓN YUNGAICELA MANUEL D. RODRÍGUEZ SANTILLÁN				MATERIAL: ALUMINIO	ESCALA: VARIADA
				UNIDADES: PULGADAS	GUAYAQUIL 5/5





GENERADOR TIPO AXIAL CON EXCITACIÓN DE IMANES PERMANENTES		PIEZA: SOPORTE DEL GENERADOR	
AUTORES: MICHAEL J. LEÓN YUNGAICELA MANUEL D. RODRÍGUEZ SANTILLÁN		MATERIAL: HIERRO	ESCALA: VARIADA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		UNIDADES: PULGADAS	GUAYAQUIL 7/7



ANEXO D.

CONEXIÓN DEL GENERADOR PARA REALIZAR PRUEBAS A VACÍO.

Para realizar estas pruebas se utilizaron los siguientes equipos:

- Motor Hampden DYN – 400 con balanza de torque.
- Multímetro Fluke 117.
- Analizador de redes Fluke 435.
- Tacómetro digital Neiko.

Se realizaron los siguientes pasos:

1. Acoplar el Generador al Motor.
2. Realizar las conexiones correspondientes en el motor, para energizarlo y realice su trabajo, como se muestra en la siguiente figura:

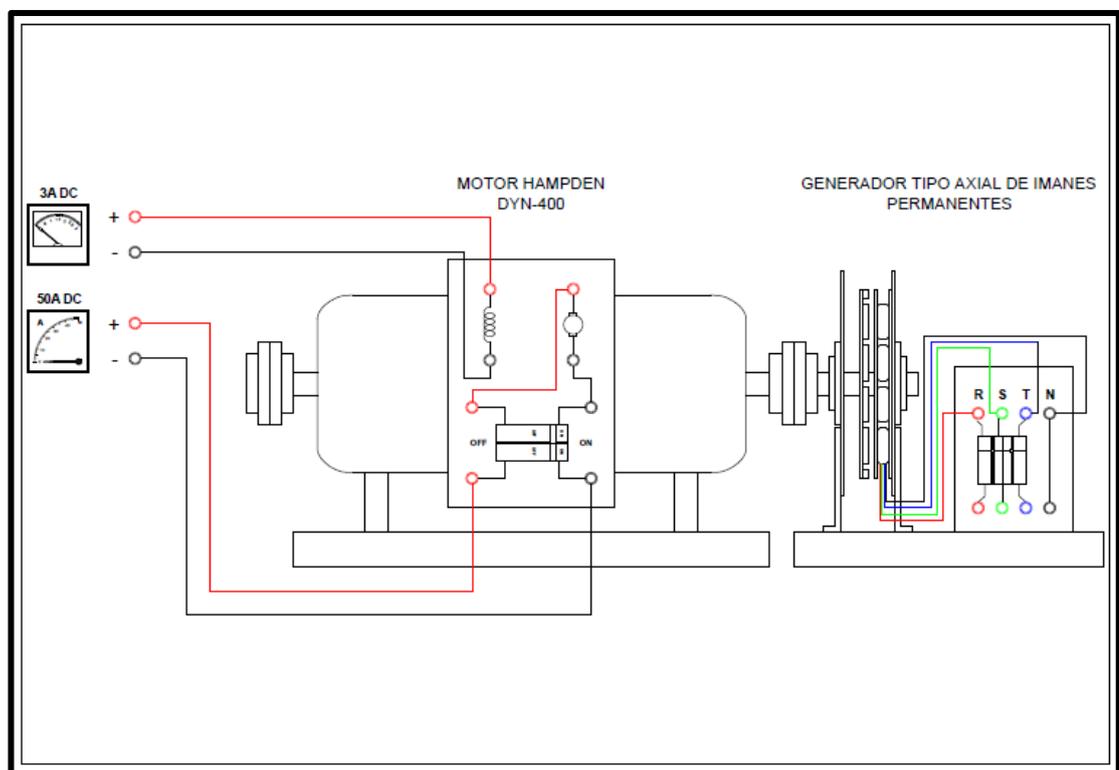


Figura 65. Conexión del motor Hampden DYN - 400

Fuente: Los Autores

Para que empiece a trabajar el motor primero hay que alimentar el campo del motor Hampden DYN-400 hasta 0,6 (A).

Segundo alimentar la armadura e ir controlando la velocidad del motor Hampden DYN-400.

3. Realizar las conexiones correspondientes en el generador, para tener lecturas en los equipos, tanto el multímetro, como el analizador de redes como se muestra en la siguiente figura:

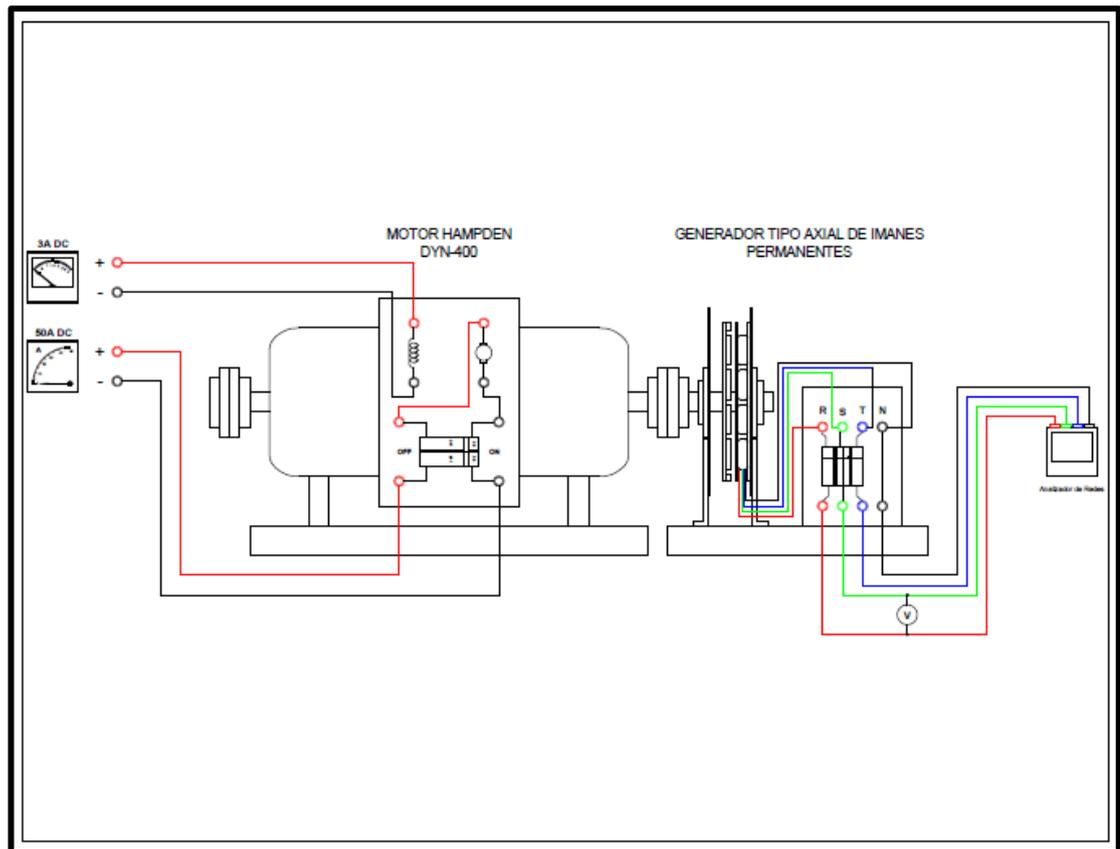


Figura 66. Conexión del Generador a los equipos de medición

Fuente: Los Autores

4. Variar la velocidad del motor Hampden DYN-400 desde la corriente de la armadura, verificando la velocidad con el tacómetro Neiko, de 50 rpm hasta 600 r.p.m. en escala ascendente de 50 rpm.
5. Tomar apuntes de los datos obtenidos cada 50 rpm. Del tacómetro digital Neiko, la balanza del motor Hampden DYN-400, el multímetro Fluke 117 y el analizador de redes Fluke 435.

ANEXO E.

CONEXIÓN DEL GENERADOR PARA REALIZAR PRUEBAS CON CARGA.

Para realizar estas pruebas se utilizaron los siguientes equipos:

- Motor Hampden DYN – 400 con balanza de torque.
- Banco de resistencias variables (0-100) Ω PSY – LANGLOIS ECOTRI - 100
- Multímetro Fluke 117.
- Analizador de redes Fluke 435.
- Tacómetro digital Neiko.

Se realizaron los siguientes pasos:

1. Acoplar el Generador al Motor.
2. Realizar las conexiones correspondientes en el motor, para energizarlo y realice su trabajo, como se muestra en la siguiente figura:

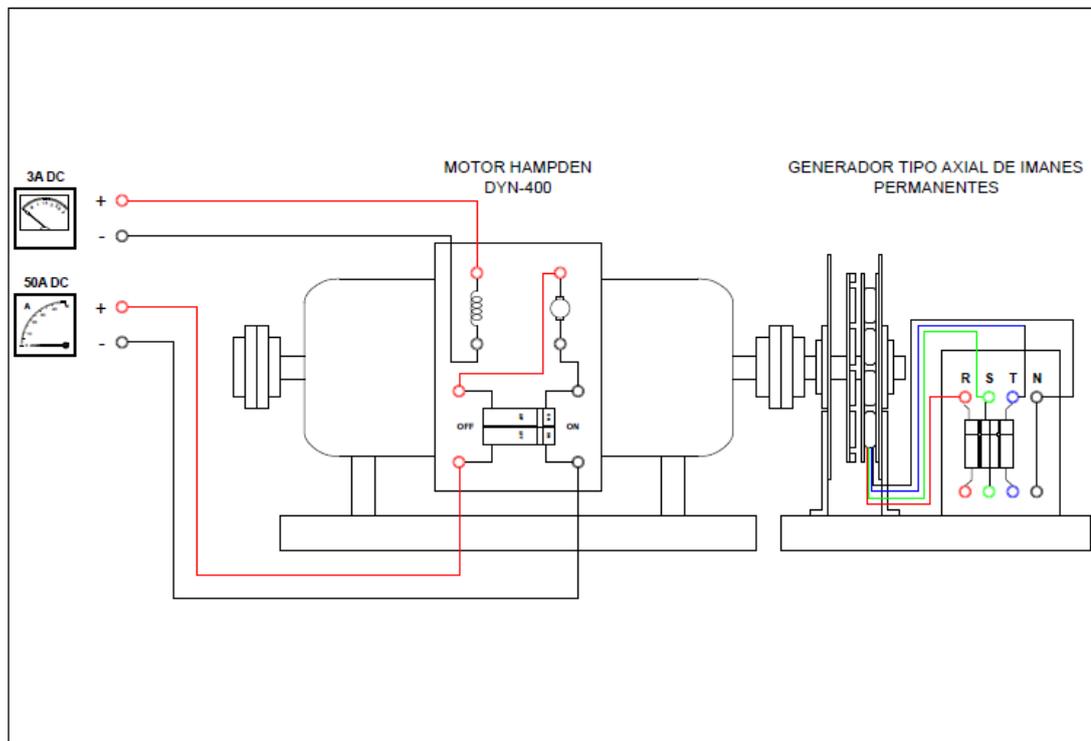


Figura 67. Conexión del motor Hampden DYN - 400

Fuente: Los Autores

Para que empiece a trabajar el motor primero hay que alimentar el campo del motor Hampden DYN-400 hasta 0,6 (A).

Segundo alimentar la armadura e ir controlando la velocidad del motor Hampden DYN-400 hasta que la velocidad angular en el eje sea de 600 rpm.

3. Conectar el banco de resistencias al generador, conexión tipo estrella. (Y)

Y realizar las conexiones del multímetro y analizador de red, para tener lecturas de datos del generador como se muestra en la siguiente figura:

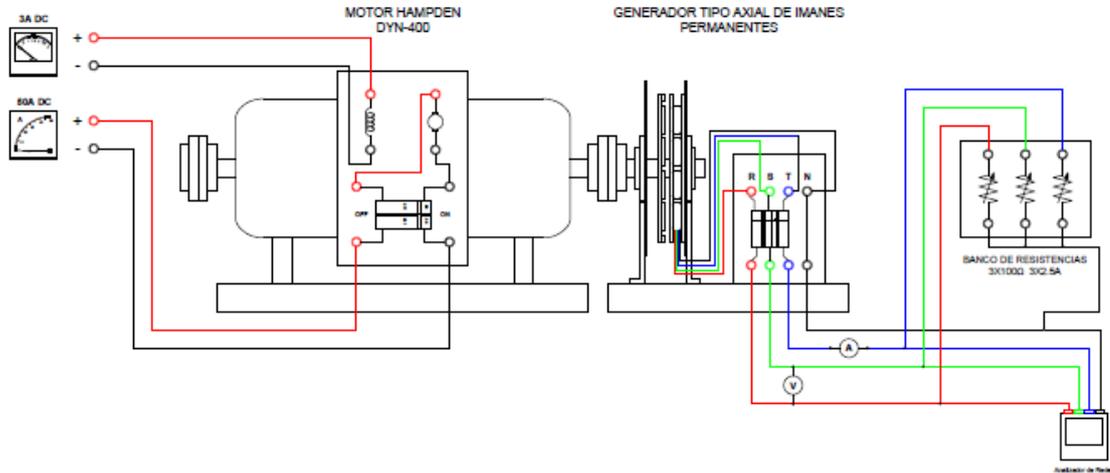


Figura 68. Conexión del Generador a los equipos de medición

Fuente: Los Autores

4. Variar la velocidad del motor Hampden DYN-400 desde la corriente de la armadura, verificando la velocidad con el tacómetro Neiko, según la necesidad requerida en este caso 600 rpm.
5. Variar el banco de resistencias desde 100Ω en forma descendente, controlando que la corriente como máximo no pase de 5 A. Capacidad máxima del conductor de las bobinas del generador.
6. Tomar apuntes de los datos obtenidos en cada variación de carga, revoluciones por minuto en el tacómetro digital Neiko, torque de la balanza del motor Hampden DYN-400, voltaje, corriente y frecuencia en los multímetros Fluke 117, voltaje en el analizador de redes Fluke 435.

ANEXO F.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MULTÍMETROS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS.

FLUKE

Fluke 114, 115, 116 and 117 Digital Multimeters Extended specifications

Technical Data

General specifications (all models)

Accuracy is specified for 1 year after calibration, at operating temperatures of 18 °C to 28 °C, with relative humidity of 0 % to 90 %.	
Maximum voltage between any terminal and earth ground	600 V
Surge protection	6 kV peak per IEC 61010-1 600V CAT III, Pollution Degree 2
Fuse for A input	11 A, 1000 V FAST 17 kA Fuse (Fluke PN 803283)
Display	Digital: 6,000 counts, updates 4/sec; Bar Graph: 33 segments, updates 32/sec
Temperature	Operating: -10 °C to +60 °C; Storage: -40 °C to +60 °C
Humidity	0 % to 90 % to 35 °C; 75 % to 40 °C; 45 % to 50 °C
Temperature coefficient	0.1 x [specified accuracy/%] (< 18 °C or > 28 °C)
Operating altitude	2,000 meters
Battery	9 Volt Alkaline, NEDA 1604A/IEC 6LR61
Battery life	Alkaline: 400 hours typical, without backlight
Safety compliances	ANSI/ISA 82.02.01 (IEC 1010-1) 2004, CAN/CSA C22.2 No 6100-1-04, UL 601B (2003) and IEC/EN 61010-1 2 nd Edition for measurement Category III, 600 V, Pollution Degree 2, EMC EN61326-1
Certifications	UL, CSA, TUV, N D140, VDE
IP rating (dust and water protection)	IP42

Accuracy specifications (all models)

Function	Range	Resolution	Accuracy ± ([% of Reading] + [50 units])		Model
DC millivolts	600.0 mV	0.1 mV	0.5 % + 2		114, 115, 116, 117
DC volts	6,000 V	0.001 V	0.5 % + 2		114, 115, 116, 117
	60.00 V	0.01 V			
	600.0 V	0.1 V			
Auto-V LoZ true-rms	600.0 V	0.1 V	DC, 45 Hz to 500 Hz	500 Hz to 1 kHz	114, 116, 117
			2.0 % + 3	4.0 % + 3	
AC millivolts ¹ true-rms	600.0 mV	0.1 mV	45 Hz to 300 Hz	300 Hz to 1 kHz	114, 115, 116, 117
			1.0 % + 3	2.0 % + 3	
AC volts ¹ true-rms	6,000 V	0.001 V	1.0 % + 3		114, 115, 116, 117
			0.01 V		
			0.1 V		
Continuity	600 Ω	1 Ω	Beeper on < 20 Ω, off > 250 Ω; detects opens or shorts of 500 μs or longer		114, 115, 116, 117
Ohms	600.0 Ω	0.1 Ω	0.9 % + 2		114, 115, 116, 117
	6,000 kΩ	0.001 kΩ	0.9 % + 1		
	60.00 kΩ	0.01 kΩ	0.9 % + 1		
	600.0 kΩ	0.1 kΩ	0.9 % + 1		
	6,000 MΩ	0.001 MΩ	0.9 % + 1		
40.00 MΩ	0.01 MΩ	1.5 % + 2			
Diode test	2,000 V	0.001 V	0.9 % + 2		115, 116, 117
Capacitance	1000 nF	1 nF	1.9 % + 2		115, 116, 117
	10.00 μF	0.01 μF	1.9 % + 2		
	100.0 μF	0.1 μF	1.9 % + 2		
	9999 μF	1 μF	100 μF to 1000 μF: 1.9 % + 2 > 1000 μF: 5 % + 20		
LoZ capacitance (power-up option)	1 nF to 500 μF		10 % + 2 typical		115, 116, 117

¹ All ac ranges except Auto-V LoZ are specified from 1 % to 100 % of range. Auto-V LoZ is specified from 0.0 V. Because inputs below 1 % of range are not specified, it is normal for this and other true-rms testers to display non-zero readings when the test leads are disconnected from a circuit or are shorted together. For volts, crest factor of ≤ 3 at 4000 counts, decreasing linearity to 1.5 at full scale. For amps, crest factor of ≤ 3. AC volts is ac-coupled. Auto-V LoZ, ac mV, and ac amps are dc-coupled.

Accuracy specifications (all models) cont.

Function	Range	Resolution	Accuracy ± [(% of Reading) + (Counts)]	Model
Temperature (K-Type thermocouple)	-40 °C to 400 °C -40 °F to 752 °F	0.1 °C 0.2 °F	1% + 10 ³ 1% + 18 ³	118
AC amps true-rms ¹ (48 Hz to 500 Hz)	6,000 A 10,00 A 20 A overload for 30 seconds maximum	0.001 A 0.01 A	1.5% + 3	115, 117
AC µAmps true-rms ¹ (48 Hz to 1 kHz)	600.0 µA	0.1 µA	1.5% + 3 (2.5% + 3 > 500 Hz)	116
DC amps	6,000 A 10,00 A 20 A overload for 30 seconds maximum	0.001 A 0.01 A	1.0% + 3	115, 117
DC µAmps true-rms	600.0 µA	0.1 µA	1.0% + 2	116
Hz (V or A input) ²	99.99 Hz 999.9 Hz 9,999 kHz 90.00 kHz	0.01 Hz 0.1 Hz 0.001 kHz 0.01 kHz	0.1% + 2	115, 117
Hz (V input) ³	99.99 Hz 999.9 Hz 9,999 kHz 90.00 kHz	0.01 Hz 0.1 Hz 0.001 kHz 0.01 kHz	0.1% + 2	118

¹ All ac ranges except Auto-V LoZ are specified from 1% to 100% of range. Auto-V LoZ is specified from 0.0 V. Because inputs below 1% of range are not specified, it is normal for this and other true-rms meters to display non-zero readings when the test leads are disconnected from a circuit or are shorted together. For volts, crest factor of ≤ 3 at 4000 counts, decreasing linearly to 1.5 at full scale. For amps, crest factor of ≤ 3. AC volts is ac-coupled. Auto-V LoZ, ac mV, and ac amps are dc-coupled.
² AC Volts Hz is ac-coupled and specified from 5 Hz to 50 kHz. AC Amps Hz is dc-coupled and specified from 45 Hz to 5 kHz. Amps input burden voltage (typical): 6 A input 2 mV/A, 10 A input 37 mV/A.
³ Frequency is ac-coupled, 45 Hz to 50 kHz.

Frequency counter sensitivity (models 115, 116, 117)

Input range		Typical sensitivity (run also wire)			
		5 Hz to 40 Hz	45 Hz to 5 kHz	5 kHz to 10 kHz	10 kHz to 50 kHz
Volts AC	6 V	0.2 V	0.2 V to 0.3 V	0.3 V to 0.4 V	0.4 V to 1.0 V
	60V	2 V	2 V to 3 V	3 V to 4 V	4 V to 10 V
	600 V	20 V	20 V to 30 V	30 V to 40 V	40 V to 100 V
AC Amps (115, 117 only)	6 A	N/A	0.4 A	N/A	N/A
	10 A	N/A	0.5 A	N/A	N/A

Input characteristics (all models)

Function	Input impedance (nominal)	Common mode rejection ratio (1 kΩ unbalanced)	Normal mode rejection
Volts AC	> 5 MΩ < 100 pF	> 60 dB at dc, 50 or 60 Hz	
Volts DC	> 10 MΩ < 100 pF	> 100 dB at dc, 50 or 60 Hz	> 60 dB at 50 or 60 Hz
Auto-V LoZ	> 3 kΩ < 800 pF	> 60 dB at dc, 50 or 60 Hz	
	Open circuit test voltage	Full scale voltage	
Ohms	< 2.7 V dc	20 MΩ	< 380 µA
		40 MΩ	
Diode Test	< 2.7 V dc	2,000 V dc	< 1.2 mA

Fluke. Keeping your world up and running™

Fluke Corporation
 PO Box 9090, Everett, WA USA 98206
Fluke Europe B.V.
 PO Box 1186, 3800 BD
 Eindhoven, The Netherlands

For more information call:
 In the U.S.A. (800) 443-5883 or
 Fax (425) 446-5116
 In Europe/M-East/Africa +31 (0) 40 2678 200 or
 Fax +31 (0) 40 2678 222
 In Canada (800)-36-FLUKE or
 Fax (905) 890-6896
 From other countries +1 (425) 446-5800 or
 Fax +1 (425) 446-5116
 Web access: <http://www.fluke.com>

© 2006 Fluke Corporation. All rights reserved.
 Printed in U.S.A. 11/2006 2793260 D-EN-N Rev A

ANEXO G.

CARACTERÍSTICAS DEL ANALIZADOR DE RED UTILIZADO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS.

FLUKE®

Fluke 430 serie II

Analizadores trifásicos de calidad eléctrica y energía 430 Serie II

Capacidad de análisis de la calidad eléctrica más detallada y una nueva función patentada por Fluke para cuantificar la pérdida a nivel económico

Los nuevos analizadores de energía y calidad de potencia trifásica 430 Serie II ofrecen el mejor análisis de la calidad eléctrica y presentan, por primera vez, la habilidad de cuantificar las pérdidas de energía en términos monetarios.

Los nuevos modelos Fluke 434, 435 y 437 Serie II ayudan a localizar, predecir, prevenir e identificar problemas de calidad de la energía en sistemas de distribución trifásicos y monofásicos. Además, el algoritmo de pérdida de energía patentado por Fluke, UPM (Unified Power Measurement, medida de energía unificada) mide y cuantifica las pérdidas de energía causadas por armónicos y problemas de desequilibrio, permitiendo al usuario localizar con exactitud el origen de la pérdida de energía en un sistema.



Datos técnicos

- **Calculadora de pérdida de energía:** Mediciones de energía activa y reactiva clásica, desequilibrio y potencia de armónicos son cuantificados para localizar pérdidas reales de energía en el sistema en dólares (otras divisas locales disponibles).
- **Eficiencia de inversores de potencia:** Mide simultáneamente la potencia de salida CA y la potencia de entrada CC para sistemas electrónicos de potencia usando la pinza CC opcional.
- **Captura de datos PowerWave:** Los analizadores 435 y 437 de la Serie II capturan rápidamente datos RMS, muestran mediciones de ciclo y formas de onda para caracterizar las dinámicas de los sistemas eléctricos (arranques de generadores, conmutación de UPS, etc.).
- **Captura de forma de onda:** Los modelos 435 y 437 de la Serie II capturan 100/120 ciclos (50/60 Hz) de cada evento que se detecta en todos los modos, sin configuración.
- **Modo automático de transitorios:** Los analizadores 435 y 437 de la Serie II capturan datos de formas de onda de 200 kHz en todas las fases simultáneamente hasta 6 kV.
- **Completamente compatible con la clase A:** Los analizadores 435 y 437 de la Serie II realizan pruebas conforme a la exigente norma internacional IEC 61000-4-30 Clase A.
- **Señalización de la red eléctrica:** Los analizadores 435 y 437 de la Serie II miden interferencias causadas por señales de control de cargas a frecuencias específicas.
- **Medición de 400 Hz:** El analizador 437 de la Serie II captura mediciones de la calidad de potencia eléctrica en sistemas de energía militares o los utilizados en aviones.
- **Identificación de problemas en tiempo real:** Analice las tendencias utilizando cursores y la función zoom.
- **La clasificación de seguridad más alta de la industria:** 600 V CAT IV / 1000 V CAT III Clasificado para uso en la entrada del servicio.
- **Mida las tres fases y el neutro:** Con cuatro puntas de prueba de corriente flexibles incluidas con un mejorado diseño delgado para adaptarse a los lugares más estrechos.
- **Tendencia automática:** Cada medición se registra siempre automáticamente, sin necesidad de configuración alguna.
- **Monitor del sistema:** Diez parámetros de calidad de potencia en una sola pantalla, de acuerdo con la norma de calidad de potencia eléctrica EN50160.
- **Función de registrador:** Configurado para cualquier condición de prueba con memoria de hasta 600 parámetros a intervalos definidos por el usuario.
- **Visualización de gráficos y generación de informes:** Con el software de análisis incluido.
- **Vida útil de la batería:** Siete horas de tiempo de funcionamiento por carga en un pack de baterías de ión litio.

El analizador de la calidad de energía y potencia eléctrica trifásica 437 Serie II estará disponible a principios del 2012.

Medición de Potencia Eléctrica Unificada

El sistema de Medición de Potencia Eléctrica Unificada (UPM) patentado por Fluke proporciona la visión más completa de potencia eléctrica disponible, midiendo:

- Parámetros de Potencia Eléctrica Clásicos (Steinmetz 1897) y Potencia Eléctrica IEEE 1459-2000
- Análisis detallado de la pérdida
- Análisis de desequilibrio

Estos cálculos UPM se utilizan para cuantificar el costo fiscal de la pérdida de energía causados por problemas de la calidad eléctrica. Los cálculos se realizan utilizando información específica de la instalación, utilizando la calculadora de pérdida de energía y ésta determina cuánto dinero se pierde en una empresa debido al derroche de energía.

Ahorro de energía

Tradicionalmente los ahorros de energía se consiguan controlando y fijando objetivos o, en otras palabras, localizando las mayores cargas en una instalación y optimizando su funcionamiento. El costo de la calidad eléctrica sólo puede cuantificarse en términos de tiempo de inactividad causado por la pérdida de la producción y el daño del equipo eléctrico. El método de Medición de Potencia Eléctrica Unificada (UPM) va más allá para lograr conseguir ahorro de energía mediante la detección del derroche de energía causado por problemas de la calidad eléctrica. Utilizando la Medición de Potencia Eléctrica Unificada, la Calculadora de Pérdida de Energía de Fluke (consulte la captura de pantalla siguiente) determinará cuánto dinero pierde una instalación debido al derroche de energía.

Desequilibrio

La tecnología UPM proporciona un desglose más completo de la energía consumida en la planta. Además de medir la potencia reactiva (causada por un factor de potencia insuficiente), UPM también mide el derroche de energía causado por desequilibrio; el efecto de cargar cada fase de manera desigual en sistemas trifásicos. El desequilibrio puede corregirse a menudo volviendo a conectar cargas en diferentes fases para asegurar que la corriente consumida en cada fase sea lo más uniforme posible. El desequilibrio también puede corregirse con la instalación de un dispositivo de reactancia de desequilibrio (o filtro) que minimizará los efectos. La corrección del desequilibrio debe considerarse una tarea básica del mantenimiento de la instalación, ya que los problemas de desequilibrio pueden causar fallas en el motor o reducir la vida útil del equipo. El desequilibrio también derrocha energía. El uso de UPM puede minimizar o eliminar dicho derroche de energía y proporcionar un ahorro económico.

Armónicos

UPM proporciona también detalles de la energía derrochada en la instalación debido a la presencia de armónicos. Los armónicos en su red eléctrica, pueden generarse debido a cargas internas o a cargas de empresas adyacentes. La presencia de armónicos en su instalación puede producir lo siguiente:

- sobrecalentamiento de transformadores y conductores
- disparo inesperado de los interruptores automáticos
- fallas prematuras del equipo eléctrico

La cuantificación del costo de la energía derrochada debido a la presencia de armónicos, simplifica el cálculo del retorno de la inversión necesario para justificar la adquisición de filtros de armónicos. Con la instalación de un filtro de armónicos, pueden reducirse los efectos nocivos de los armónicos y eliminarse el derroche de energía, obteniendo costos operativos inferiores y un funcionamiento más confiable.

Calculadora de pérdida de energía		Energy Loss Calculator	
Kilovatos (potencia) útiles disponibles	Effective kU	35.9	W 488 \$ 48.83 /hr
Reactiva (no util) potencia	Reactive kvar	21.5	W 175 \$ 17.49 /hr
Kilovatos inutilizados por armónicos	Unbalance kVA	2.52	W 1.5 \$ 0.15 /hr
Kilovatos inutilizados por problemas de desequilibrio	Distortion kVA	7.17	W 57.2 \$ 5.72 /hr
Horas totales de kilovatos derrochadas facturables	Neutral A	29.3	W 57.7 \$ 5.77 /hr
Costo total de horas de kilovatos derrochadas	Total		k \$ 683 /yr

11/10/11	10:49:30	230V	50Hz 3Ø UVE	EN50180
LENGTH	DIAMETER	METER	RATE	HOLD
100 ft	25 mm ²		0.10 /kWh	RUN

Tabla de selección del Analizador de calidad eléctrica 430 Serie II

Modelo	Fluke 434-II	Fluke 435-II	Fluke 437-II
Cumplimiento de norma estándar	IEC 61000-4-30 Clase S	IEC 61000-4-30 Clase A	IEC 61000-4-30 Clase A
Voltios Amperios Hz	*	*	*
Caídas de tensión y sobretensiones	*	*	*
Armónicos	*	*	*
Potencia y energía	*	*	*
Calculadora de pérdida de energía	*	*	*
Desequilibrio	*	*	*
Monitor	*	*	*
Corrientes de arranque	*	*	*
Captura de forma de onda de evento		*	*
Flicker		*	*
Transitorios		*	*
Señalización de la red		*	*
Onda de potencia		*	*
Eficacia del inversor de potencia	*	*	*
400 Hz			*
Estuche blando, modelo C1740	*	*	
Maletín rígido con ruedas, modelo C437-II			*
Tarjeta SD (máx. 32 GB)	8 GB	8 GB	8 GB

Todos los modelos incluyen los siguientes accesorios: juego de puntas de prueba, modelo TIA32; 4 puntas de prueba de corriente flexibles delgadas, modelo i430; batería, modelo BP300; adaptador de corriente, modelo EC430 con juego de adaptadores de potencia internacional, cable USB-A-B mini y CD PowerLog.

Especificaciones técnicas

Las especificaciones son válidas para los modelos Fluke 434-II, Fluke 435-II y Fluke 437-II a menos que se especifique de otro modo.

Las especificaciones de amperios y vatios se basan en la sonda de corriente modelo i430-Flexi-TP a menos que se especifique de otro modo.

Características de entrada

Entradas de tensión	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas a CC
Máximo tensión de entrada	1.000 Vrms
Rango de tensión nominal	1 V a 1000 V seleccionable
Máximo tensión de medición pico	6 kV (modo de transitorios sólo)
Impedancia de entrada	4 MΩ/5 pF
Ancho de banda	> 10 kHz, hasta 100 kHz para modo de transitorios
Escala	1:1, 10:1, 100:1, 1.000:1, 10.000:1 y variable
Entradas de corriente	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas a CC o CA
Tipo	Pinza o transformador de corriente con salida mV o sonda modelo i430Flex-TP
Rango	0,5 Arms a 600 Arms con punta de prueba, modelo i430Flex-TP incluida (con sensibilidad 10x) 5 Arms a 6000 Arms con punta de prueba, modelo i430Flex-TP incluida (con sensibilidad 1x) 0,1 mV/A a 1 V/A y personalizado para utilizar con pinzas CA o CC opcionales
Impedancia de entrada	1 MΩ
Ancho de banda	> 10 kHz
Escala	1:1, 10:1, 100:1, 1.000:1, 10.000:1 y variable

Características de entrada, continuación

Sistema de muestreo	
Resolución	Convertidor analógico a digital de 16 bits en 8 canales
Máxima velocidad de muestreo	200 kS/s en cada canal simultáneamente
Muestreo RMS	8000 muestras en 1Q/12 ciclos conforme a IEC61000-4-30
Sincronización PLL	4096 muestras en 1Q/12 ciclos conforme a la norma IEC61000-4-7
Frecuencia nominal	434-II y 435-II: 50 Hz y 60 Hz 437-II: 50 Hz, 60 Hz y 400 Hz

Modos de visualización

Visualización de formas de onda	Disponible en todos los modos con la tecla SCOPE 435-II y 437-II: Modo de visualización por defecto para función de transitorios Velocidad de actualización de 6x por segundo Presenta 4 ciclos de datos de forma de onda en pantalla, hasta 4 formas de onda simultáneamente
Diagrama fasorial	Disponible en todos los modos mediante la función SCOPE Vista predeterminada para modo de desequilibrio
Lecturas del medidor	Disponible en todos los modos excepto Monitor y Transitorios, proporciona una vista tabular de todas las lecturas disponibles Completamente personalizable hasta 150 lecturas para el modo de registrador
Gráfico de tendencia	Disponible en todos los modos excepto Transitorios Cursor vertical simple con lectura min, máx y media en la posición del cursor
Gráfico de barras	Disponible en los modos de Monitor y Armónicos
Lista de eventos	Disponible en todos los modos Proporciona información de ciclos 80/60** de forma de onda y valores rms de 172 ciclo asociados para voltios y amperios

Modos de medición

Modo osciloscopio (SCOPE)	4 formas de onda de tensión, 4 formas de onda de corriente, Vrms, Vfund, Arms, A fund, V @ cursor, A @ cursor, ángulos de fase
Voltios/amperios/hercios	Vrms fase a fase, Vrms fase a neutro, Vpico, factor de cresta en V, Arms Apico, factor de cresta en A, Hz
Caidas de tensión y sobretensiones	Vrms%, Arms%, Pinst con niveles de umbral programables para detección de eventos
Armónicos CC, 1 a 50, (hasta 9º armónico para 400 Hz)	Voltios de armónicos, THD, amperios de armónicos, amperios de factor K, vatios de armónicos, vatios de umbral, vatios de factor K, voltios de interarmónicos, amperios de interarmónicos, Vrms, Arms (relativo a rms total o fundamental)
Potencia y energía	Vrms, Arms, Wfull, Wfund, VAfull, VAFund, VAarmónicos, VAdesequilibrio, var, PF, DPF, CosQ, factor de Eficiencia, Wforward, Wreverse
Calculadora de pérdida de energía	Wfund, VAarmónicos, VAdesequilibrio, var, A, Pérdida Activa, Pérdida Reactiva, Pérdida de Armónicos, Pérdida de Desequilibrio, Pérdida de Neutro, Costo de Pérdida (basado en costo definido por el usuario / kWh)
Eficiencia del inversor (requiere pinta amperimétrica CC opcional)	Wfull, Wfund, Wdq, Eficiencia, Vdc, Adc, Vrms, Arms, Hz
Desequilibrio	Vneg%, Vzero%, Aneg%, Acex%, Vfund, Afund, ángulos de fase V, ángulos de fase A
Corriente de arranque	Corriente de arranque, duración de la corriente de arranque, Arms ½, Vrms ½
Monitor	Vrms, Arms, voltios de armónicos, voltios de THD, PLT, Vrms%, Arms%, Hz, caídas de tensión, sobretensiones, interrupciones, cambios rápidos de tensión, desequilibrio y señalización de la red Todos los parámetros se miden simultáneamente de acuerdo con la norma EN60160 La marcación se aplica según la norma IEC61000-4-30 para indicar lecturas poco confiables causadas por caídas de tensión o sobretensiones
Flicker (Fluctuaciones rápidas de tensión) (435-II y 437-II solamente)	Pat(l min), Pat, Plt, Pin st, Vrms ½, Arms ½, Hz
Transitorios (435-II y 437-II sólo)	Formas de onda de transitorias, tensión 4x, amperios 4x, disparadores: Vrms ½, Arms ½, Pinst
Señalización de la red (435-II y 437-II sólo)	Voltaje de señalización relativa y absoluta, promediado a lo largo de tres segundos hasta para dos frecuencias seleccionables
Onda de potencia eléctrica (435-II y 437-II sólo)	Vrms ½, Arms ½ W, Hz y formas de onda de osciloscopio para amperios de tensión y vatios
Registrador	Selección personalizada de hasta 150 parámetros PQ medidos simultáneamente en 4 fases

Especificaciones del producto

	Modelo	Rango de medida	Resolución	Precisión
Voltios				
Vrms (ca+cc)	434-II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 0,5 % del tensión nominal****
	435-II y 437-II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,01 V	± 0,1 % del tensión nominal****
Vpico		1 Vpico a 1400 Vpico	1 V	5 % del tensión nominal
Factor de cresta (CF) de tensión		1,0 > 2β	0,01	± 5 %
Vrms %	434-II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 1 % del tensión nominal
	434-II y 435-II		0,1 V	± 0,2 % del tensión nominal
Vfund	434-II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 0,5 % del tensión nominal
	435-II y 437-II		0,1 V	± 0,1 % del tensión nominal
Amperios (precisión sin incluir precisión de pinza)				
Amperios (CA+CC)	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1 mV/A 1x	5 A a 2000 A	1A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1 mV/A 10x	0,5 A a 200 A (CA sólo)	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
Apico	i430-Flex	8400 Apico	1 Amms	± 5 %
	1 mV/A	5800 Apico	1 Amms	± 5 %
Factor de cresta (CF) de corriente		1 a 10	0,01	± 5 %
Ampa%	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 1 % ± 10 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 1 % ± 10 cuentas
	1 mV/A 1x	5 A a 2000 A	1A	± 1 % ± 10 cuentas
	1 mV/A 10x	0,5 A a 200 A (CA sólo)	0,1 A	± 1 % ± 10 cuentas
Afund	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1 mV/A 1x	5 A a 2000 A	1A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1 mV/A 10x	0,5 A a 200 A (CA sólo)	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
Hz				
Hz	Fluke 434 a 50 Hz nominal	42,50 Hz a 57,50 Hz	0,01 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 434 a 60 Hz nominal	51,00 Hz a 69,00 Hz	0,01 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 435/7 a 50 Hz nominal	42,500 Hz a 57,500 Hz	0,001 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 435/7 a 60 Hz nominal	51,000 Hz a 69,000 Hz	0,001 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 437 a 400 Hz nominal	340,0 Hz a 460,0 Hz	0,1 Hz	± 0,1 Hz
Alimentación				
Varios (VA, var)	i430-Flex	máx. 6000 MW	0,1 W a 1 MW	± 1 % ± 10 cuentas
	1 mV/A	máx. 2000 MW	0,1 W a 1 MW	± 1 % ± 10 cuentas
Factor de potencia (Cosφ/ DPF)		0 a 1	0,001	± 0,1 % con condiciones de carga nominal
Energía				
MWh (kVAh, kWh)	i430-Flex 10x	Según escala de la pinza de corriente y V nominal		± 1 % ± 10 cuentas
Pérdidas de energía	i430-Flex 10x	Según escala de la pinza de corriente y V nominal		± 1 % ± 10 cuentas Excluyendo precisión de resistencia de línea
Armónicos				
Orden de armónicos (n)		CC, agrupamiento de 1 a 50: Grupos de armónicos de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7		
Orden de interarmónicos (n)		Desactivado, agrupamiento de 1 a 50: Subgrupos de armónicos e interarmónicos de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7		
Voltios	%f	0,0% a 100%	0,1%	± 0,1 % ± n x 0,1 %
	%r	0,0% a 100%	0,1%	± 0,1 % ± n x 0,4 %
	Absoluto	0,0 a 1000 V	0,1 V	± 5 % *
	THD (Distorsión armónica total)	0,0% a 100%	0,1%	± 2,5 %
Amperios	%f	0,0% a 100%	0,1%	± 0,1 % ± n x 0,1 %
	%r	0,0% a 100%	0,1%	± 0,1 % ± n x 0,4 %
	Absoluto	0,0 a 600 A	0,1 A	± 5 % ± 5 cuentas
	THD (Distorsión armónica total)	0,0% a 100%	0,1%	± 2,5 %
Varios	%f o %r	0,0% a 100%	0,1%	± n x 2 %
	Absoluto	Según escala de la pinza de corriente y V nominal	-	± 5 % ± n x 2 % ± 10 cuentas
	THD (Distorsión armónica total)	0,0% a 100%	0,1%	± 5 %
Ángulo de fase		-360° a +0°	1°	± n x 1°

Especificaciones del producto, continuación

Flicker (Fluctuaciones rápidas de tensión)				
P _{lt} , P _{st} , P _{st(lmin)} , P _{inst}		0,00 a 20,00	0,01	± 5 %
Desequilibrio				
Voltaje	%	0,0% a 20,0 %	0,1%	± 0,1 %
Amperios	%	0,0% a 20,0 %	0,1%	± 1 %
Señalización de la red				
Niveles de umbral		Los umbrales, límites y duración de la señalización son programables para dos frecuencias de señalización	—	—
Frecuencia de señalización		60 Hz a 3000 Hz	0,1 Hz	
% relativo		0 % a 100 %	0,10%	± 0,4 %
V _s absoluto (promedio de 3 segundos)		0,0V a 1000 V	0,1 V	± 5 % del tensión nominal

Registro de tendencias

Método	Registra automáticamente los valores mínimo, máximo y medio a lo largo del tiempo para todas las lecturas que se estén mostrando simultáneamente para las tres fases y el neutro
Muestreo	Muestreo continuo de 5 lecturas/s por canal, 1 00/12 0 th lecturas/s para valores de 1/2 ciclo y P _{inst}
Tiempo de grabación	1 h a 1 año, seleccionable por el usuario (configuración predeterminada 7 días)
Tiempo de promedio	0,25 s a 2 h, seleccionable por el usuario (valor predeterminado 1 s), 10 minutos al utilizar el modo Monitor
Memoria	Los datos se almacenan en una tarjeta SDcard (8 GB incluida, 32 GB máx.)
Sucesos	434-II: Tabulados en la lista de eventos 435-II y 437-II: Tabulados en la lista de eventos, incluidos ciclos de 80/60 th de forma de onda y tendencia de tensión y amperios rms de 1/2 ciclo y 7,5 s

Método de medición

V _{rms} , A _{rms}	Intervalos de 10/12 ciclo no superpuestos y contiguos usan de 500/416 th muestras por ciclo de acuerdo con la norma IEC 61000-4-30
V _{pico} , A _{pico}	Muestra de valor máximo dentro del intervalo de 10/12 ciclos con una resolución de la muestra de 40 μs
Factor de cresta en V	Mide la relación entre el valor de V _{pico} y V _{rms}
Factor de cresta en A	Mide la relación entre el valor de A _{pico} y A _{rms}
Hz	Medido cada 10 s de acuerdo con la norma IEC6 1000-4-30. Los valores de V _{rms} %, A _{rms} %, se miden a lo largo de 1 ciclo, comenzando en un cruce de cero de la fundamental, y se actualiza cada medio ciclo. Esta técnica es independiente para cada canal de acuerdo con la norma IEC 61000-4-30.
Armónicos	Calculados a partir de mediciones de grupos de armónicos sin separación de 10/12 ciclos, en tensión y amperios, de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7
Watts	Pantalla de visualización de la potencia real de la fundamental y total. Calcula el valor medio de la potencia instantánea a lo largo de periodos de 10/12 ciclos para cada fase. Potencia activa total PT = P1 + P2 + P3.
VA	Pantalla de visualización de la potencia aparente y total de la fundamental. Calcula la potencia aparente utilizando el valor de V _{rms} x A _{rms} a lo largo de un periodo de 10/12 ciclos.
var	Pantalla de visualización de la potencia reactiva de la fundamental. Calcula la potencia reactiva en componentes de secuencia positiva de la fundamental. La carga capacitiva e inductiva se indica con los iconos del condensador y bobina.
Armónicos VA	Potencia total de perturbación debido a los armónicos. Calculada para cada fase y para el sistema total basada en la potencia aparente total y la potencia real de la fundamental.
Desequilibrio VA	Potencia de desequilibrio para el sistema total. Calculada usando el método de componentes simétricos para potencia aparente de la fundamental y potencia aparente total.
Factor de potencia (PF)	Variación/VA totales calculados
cos φ	Coseno del ángulo entre el tensión y la corriente de la fundamental
DPF	Variación/VA fundamentales calculados
Energía/coste de energía	Los valores de potencia se acumulan a lo largo del tiempo para valores de kWh. El costo de la energía se calcula con la variable de costo /kWh, definida por el usuario
Desequilibrio	El desequilibrio del tensión de suministro se evalúa utilizando el método de componentes simétricos de acuerdo con la norma IEC6 1000-4-30
Flicker (Fluctuaciones rápidas de tensión)	De acuerdo con la norma IEC 61000-4-15 de medición de flicker—especificación funcional y de diseño Incluye modelos de lámpara de 230 V 50 Hz y de lámpara de 120 V 60 Hz
Captura de transiciones	Captura la forma de onda activada en la envoltura de la señal. Además, se activa con caídas de tensión, sobretensiones, interrupciones y nivel de amperios
Corriente de arranque	La corriente de arranque comienza cuando el medio ciclo de A _{rms} aumenta por encima del umbral de arranque y finaliza cuando el valor de rms del medio ciclo de A _{rms} es igual, o menor que, el umbral de arranque menos un valor de histéresis seleccionado por el usuario. La medición es la raíz cuadrada de la media de los valores de medio ciclo de A _{rms} al cuadrado medidos durante el período de arranque. Cada intervalo de medio ciclo es contiguo y no superpuesto según las recomendaciones de la norma IEC 61000-4-30. Los marcadores indican la duración de la corriente de arranque. Los cursores permiten la medición del medio ciclo de A _{rms} pico.
Señalización de la red	Las mediciones se basan en el valor eficaz de 10/12 ciclos del interarmónico correspondiente, o el verdadero valor eficaz de los cuatro valores rms de 10/12 ciclos del interarmónico correspondiente, según la norma IEC 61000-4-30. La configuración de los límites para el modo de Monitor sigue los límites de la norma EN50160.
Sincronización del tiempo	El módulo opcional de sincronización del tiempo GPS430-II proporciona una incertidumbre temporal de ≤ 20 ms o ≤ 16,7 ms en función del tiempo marcado de eventos y en función del tiempo de mediciones agregadas. Cuando no está disponible la sincronización, la tolerancia temporal es de ≤ 1-s/24h

Configuraciones de cableado

1Ø + NEUTRO	Monofásico con neutro
1Ø FASE DIVIDIDA	Fase dividida
1Ø IT SIN NEUTRO	Sistema monofásico con tensiones bifásicas sin neutro
3Ø EN ESTRELLA	ESTRELLA del sistema trifásico de cuatro hilos
3Ø EN TRIÁNGULO	Triángulo del sistema trifásico de tres hilos
3Ø IT	Sistema trifásico sin ESTRELLA para el neutro
3Ø DERIVACIÓN ALTA	Sistema en triángulo trifásico de cuatro hilos, con derivación alta central
3Ø DERIVACIÓN ABIERTA	Sistema en triángulo abierto de tres hilos, con 2 bobinados de transformador
3 ELEMENTOS	Sistema trifásico de tres hilos sin sensor de corriente en la fase L3/B (método de medidor de 3 vatios)
3½ ELEMENTOS	Sistema trifásico de cuatro hilos sin sensor de tensión en la fase L2/B
EFICACIA DEL INVERSOR	Entrada de corriente y tensión CC con potencia de salida CA (se muestra y selecciona automáticamente en el modo de Eficiencia del inversor)

Especificaciones generales

Carcasa	Diseño reformado y a prueba de choques con funda protectora integrada A prueba de salpicaduras y polvo, modelo IP51 de acuerdo con la norma IEC 60529 cuando se utiliza en la posición de soporte inclinado Golpes y vibración: Golpes: 30 g, vibración: 3 g sinusoidal, aleatorio 0,03 g ² /Hz de acuerdo con MIL-PRF-28800F Clase 2
Pantalla	Brillo: 200 cd/m ² típ. utilizando adaptador de potencia eléctrica, 90 cd/m ² típico utilizando energía de la batería Tamaño: LCD de 127 mm x 88 mm (5.0 pulg. diagonal) Resolución: 320 x 240 píxeles Contraste y brillo: ajustable por el usuario, compensado por temperatura
Memoria	Tarjeta SD de 8 GB (compatible con SDHC, formato FAT32) estándar, hasta 32 GB opcionales Almacena pantallas y varias memorias de datos para almacenar incluso registros (en función del tamaño de la memoria)
Reloj de tiempo real	Indicación de fecha y hora para modo de Tendencia, pantalla de visualización de Transitorios, monitor del sistema y captura de eventos

Medioambiental

Temperatura de trabajo	0 °C ~ +40 °C; +40 °C ~ +80 °C sin incluir batería
Temperatura de almacenamiento	-20 °C ~ +60 °C
Humedad	+10 °C ~ +30 °C: 95% de humedad relativa sin condensación +30 °C ~ +40 °C: 75% de humedad relativa sin condensación +40 °C ~ +80 °C: 45% de humedad relativa sin condensación
Altitud máxima de operación	Hasta 3.000 m (9866 pies) para CAT IV 600 V, CAT III 1000 V Hasta 3.000 m (10.000 pies) para CAT III 600 V, CAT II 1000 V Altitud de almacenamiento máxima: 12 km (40.000 pies)
Compatibilidad electromagnética (CEM), según la norma	EN 61326 (2006-12) para emisión e inmunidad
Interfaz	mini-USB-B puerto USB aislado para conectividad a PC Ranura para tarjeta SD accesible detrás de la batería del instrumento
Garantía	3 años (piezas y mano de obra) para el instrumento principal, 1 año para los accesorios

Accesorios incluidos

Opciones de potencia eléctrica	Adaptador eléctrico, modelo BC430 Juego de adaptadores de enchufe internacional BP290 (batería de ion litio de capacidad normal) 28 Wh (7 horas o más)
Puntas	Juego de puntas de prueba y pinzas cocodrilo, modelo TLA30
Códigos de color	Pinzas con códigos de color y adhesivos regionales, modelo WCI00
Sondas de corriente flexibles	Modelo i430flex-IT, 61 cm (24 pulg.) de longitud, 4 pinzas amperimétricas
Memoria, software y conexión a PC	Tarjeta SD de 8 GB PowerLog en CD (incluye manuales de instrucciones en formato PDF) Cable USB A-B mini
Maletín de transporte	Estuche blando C1740 para 434-II y 438-II Maletín rígido C437 con ruedas para el 437-II

* ± 5 % en > 1 % de tensión nominal ± 0,05 % de tensión nominal si < 1 % de tensión nominal
 ** 50 Hz/60 Hz de frecuencia nominal de acuerdo con la norma IEC 61000-4-30
 *** No se admiten voltajes de 400 Hz para motor Fluke, Señalización rot y Monitor.
 **** para tensión nominal de 50 V a 500 V

Especificación de la sonda de corriente flexible, modelo i430 Flexi-TF

Especificaciones generales	
Material de la sonda y del cable	Alcryn 2070MC, aislamiento reforzado, UL94V0, Color: ROJO
Material de los acoplamientos	Lati Latamid 6H-V0 rilsón
Longitud del cable de la sonda	610 mm
Diámetro del cable de la sonda	13,4 mm (D49 pulg.)
Radio de curvatura del cable de la sonda	28,1 mm
Longitud del cable de salida	2,5 metros cable RG58
Conector de salida	Conector BNC de seguridad
Rango de funcionamiento	-20 °C a +90 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 °C a +105 °C
Humedad de operación	15 % a 95 % (sin condensación)
Grado de protección (Probet)	IP41
Especificaciones	
Rango de corriente	6000 A CA RMS
Salida de tensión (a 1000 ARMS, 50 Hz)	96,6 mV
Precisión	± 1% de lectura (a 25 °C, 50 Hz)
Linealidad (del 10 % al 100% del rango)	± 0,2% de la lectura
Ruido (10 Hz - 7 kHz)	1,0 mV CA RMS
Impedancia de salida	62 Ω mín.
Impedancia de carga	50 MΩ
Resistencia interna por cada 100 mm de longitud de punta de prueba	10,80 ± 5 %
Ancho de banda (-3 dB)	10 Hz a 7 kHz
Error de fase (45 Hz - 65 Hz)	± 1°
Sensibilidad de la posición	± 2 % de lectura máx.
Coefficiente de temperaturas	± 0,08 % máx. de lectura por °C
Tensión de servicio	1000 V CA RMS o CC (cabesa)
consulte el apartado de normas de seguridad)	30 V máx. (salida)

Información para pedidos

Fluke-434-II	Analizador trifásico de energía
Fluke-435-II	Analizador trifásico de calidad eléctrica y energía.
Fluke-437-II	Analizador trifásico de calidad eléctrica y energía de 400 Hz

Accesorios opcionales de reemplazo

I430-FLEXI-TF-4PK	Juego de 4 sondas flexibles finas Fluke 430 de 3000 A, 61 cm (24 pulg.)
C437-II	Maletín rígido 430 serie II con ruedas
C1740	Estuche flexible para analizadores PQ 174X y 43X-II
i5sPQ3	Pinzas amperimétricas CA i5sPQ3 de 5 A, 3 unidades
i400s	Pinza amperimétrica CA i400s
WC100	Juego de identificadores de cables de colores
GPS430-II	Módulo de sincronización horaria GPS430
BP291	Batería de ion litio de doble capacidad (hasta 16 h)
HH290	Gancho para utilizar en puertas de armarios

Fluke. Manteniendo su mundo en funcionamiento continuo®

Fluke Corporation
 Everett, WA 98203 EE.UU.
 Fluke Ibérica, S.L.
 Pol. Ind. Valpoetillo
 C/ Valgmn de, 8
 Ed. Thimworth II- Nave B1A
 28108 Alcobendas
 Madrid

Tel.: 91 4140 100
 Fax: 91 4140 101
 E-mail: info.es@fluke.com
 Web: www.fluke.com

© Copyright 2011 Fluke Corporation. Reservados todos los derechos. Impreso en los Países Bajos 10/2011. Información sujeta a modificación sin previo aviso. 412461AD D-ES-N
 Pub_ID : 11858-01a

No está permitida la modificación del presente documento sin una autorización escrita de Fluke Corporation.