



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Área De La Energía, Las Industrias Y Los Recursos Naturales No Renovables

## CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**Diseño y construcción de un generador eléctrico de desplazamiento lineal con imanes permanentes para acoplamiento a un aerogenerador de eje vertical.**

TESIS DE GRADO PREVIO  
A OPTAR POR EL TÍTULO  
DE INGENIERO  
ELECTROMECAÁNICO

**AUTOR:**

Juan Carlos Quichimbo Armijos

**DIRECTOR:**

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa. Mg. Sc.

LOJA-ECUADOR

2013

## CERTIFICACIÓN

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa. Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

### **CERTIFICA:**

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en “**Diseño y construcción de un generador eléctrico de desplazamiento lineal con imanes permanentes para acoplamiento a un aerogenerador de eje vertical.**”, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el señor egresado: **Juan Carlos Quichimbo Armijos**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 20 de diciembre de 2013



Ing. Jorge Luis Maldonado Correa. Mg. Sc.  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **AUTORÍA**

Yo, **Juan Carlos Quichimbo Armijos** declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.



**Autor:** Juan Carlos Quichimbo Armijos

**Cédula:** 1104372477

**Fecha:** 05 de febrero de 2014

## **CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA**

Yo, Juan Carlos Quichimbo Armijos declaro ser autor de la tesis titulada: “**Diseño y construcción de un generador eléctrico de desplazamiento lineal con imanes permanentes para acoplamiento a un aerogenerador de eje vertical**”, como requisito para optar por el grado de **Ingeniero Electromecánico**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los cinco días del mes de febrero del dos mil catorce, firma el autor.

**Firma:**



**Autor:** Juan Carlos Quichimbo Armijos  
**Cédula:** 1104372477  
**Dirección:** Loja, Sucre entre mercadillo y Azuay S/n  
**Email:** jcquichimboa@gmail.com  
**Teléfono:** 3027640      **Celular:** 0986523283

### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg. Sc.  
**Tribunal de Grado:** Ing. Norman Augusto Jiménez León  
Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg. Sc.  
Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mst.

## PENSAMIENTO

"El más imponte esfuerzo humano está en alcanzar moralidad en nuestras acciones. Nuestro balance interno e incluso nuestra misma existencia dependen de esto. Solo moralidad en nuestras acciones puede dar belleza y dignidad a la vida. Hacer de esto una fuerza vital y llevarlo a clara conciencia es quizás la más imponte tarea en la educación."

*Albert Einstein*

Lo que sabemos es una gota, lo que ignoramos un inmenso océano, la admirable disposición y armonía del universo, no ha podido si no salir del plan de un ser omnisciente y omnipotente.

Isaac Newton

## **DEDICATORIA**

*Con mucho cariño a mis padres Juan y Madamny, mis hermanos María José, Pricila Vanessa y Luis Alfredo, por estar presentes a cada momento del transcurso de mi formación profesional, no puedo dejar de dar gracias también a María Dolores, Soledad y mi motivación final mi hija Danna. Gracias por todo el apoyo.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Doy un imponente reconocimiento a los profesores Jorge Maldonado, Byron Solórzano, Darwin Tapia por su apoyo, colaboración y guía en la realización de este proyecto, gracias a su invaluable ayuda, apoyo y colaboración pudo ser posible el presente trabajo.*

## TABLA DE CONTENIDOS

PORTADA .....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA .....	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN .....	IV
PENSAMIENTO .....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
TABLA DE CONTENIDOS .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XIV
a. Tema.....	1
b. Resumen.....	2
Summary .....	3
c. Introducción.....	4
d. Revisión de Literatura.....	6
d.1. CAPÍTULO I: Estado del Arte de los generadores lineales con imanes permanentes.....	6
d.2. CAPÍTULO II. Descripción general de componentes del generador.....	16
d.2.1. Bobinas .....	16
d.2.1.1. Tipos de bobinas.....	16
d.2.1.2. Unidades de medida .....	17
d.2.1.3. Curvas de imantación.....	17
d.2.1.4. Ciclo de histéresis.....	19
d.2.2. Imanes.....	21
d.2.2.1. Imanes permanentes .....	21
d.2.2.2. Aplicación de imanes permanentes .....	23
d.2.3. Campo magnético .....	24
d.2.3.1. Flujo magnético.....	25

d.2.3.2.	Corriente eléctrica en un campo magnético. ....	25
d.2.3.3.	Fuerza electromotriz.....	26
d.2.3.3.1.	FEM inducida por variación de la intensidad del campo magnético	26
d.2.3.3.2.	FEM inducida por el movimiento. ....	26
d.2.3.4.	Corrientes de Foucault .....	27
d.2.3.4.1.	Reducción de las corrientes de Foucault .....	28
d.3.	CAPÍTULO III: Desarrollo prototipos.....	30
d.3.1.	Elementos de los prototipos.....	30
d.3.2.	Desarrollo de los prototipos.....	31
d.3.2.1.	Primer prototipo .....	31
d.3.2.2.	Segundo prototipo .....	33
d.3.2.3.	Tercer prototipo.....	34
d.3.2.4.	Cuarto prototipo .....	36
d.3.2.5.	Quinto prototipo. ....	38
d.3.2.6.	Sexto prototipo. ....	41
d.3.2.6.1.	Verificación prototipo seis. ....	43
d.4.	CAPÍTULO IV. Diseño y dimensionamiento del generador.....	48
d.4.1.	Movimiento .....	48
d.4.2.	Generación.....	48
d.4.2.1.	Campo magnético.....	49
d.4.2.2.	Bobina con núcleo laminado .....	51
d.4.2.3.	Valor medio y valor eficaz .....	57
d.4.2.4.	Determinación del $\cos \phi$ ( <b><i>cos φ</i></b> ) .....	62
d.4.2.5.	Cálculo de potencia (S) .....	63
d.4.2.6.	Fuerza de accionamiento .....	64
d.4.2.7.	Análisis del vástago.....	66
d.4.2.8.	Ciclo convertidor, banco de baterías e Inversor .....	67
d.4.2.9.	Rectificación.....	68
d.4.2.10.	Carga de Batería .....	69
d.4.2.11.	Inversor.....	70
d.5.	CAPÍTULO V. Construcción y pruebas .....	71

d.5.1.	Construcción bobinas .....	71
d.5.1.1.	Enrollado .....	71
d.5.1.2.	Núcleo laminado .....	72
d.5.2.	Carcasa y porta imanes .....	73
d.5.2.1.	Tapa lateral .....	73
d.5.2.2.	Placas porta imanes .....	74
d.5.2.3.	Tapa superior.....	75
d.5.2.4.	Tapa sujeta porta imanes .....	76
d.5.2.5.	Prototipo final.....	76
d.5.3.	Características del generador.....	77
d.5.3.1.	Curvas características del generador .....	77
d.5.3.2.	Pruebas del generador .....	81
d.5.3.3.	Mantenimiento del generador.....	85
d.5.3.4.	Valoración económica del generador.....	85
e.	Materiales y métodos.....	87
f.	Resultados .....	88
g.	Discusión .....	89
h.	Conclusiones .....	90
i.	Recomendaciones .....	91
j.	Bibliografía.....	92
k.	Anexos.....	96
k.1.	Anexo Fotográfico .....	96
k.2.	Anexo Planos .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Generador de imanes permanentes con bobinas en U.....	7
Figura 2.	Generador eléctrico tubular.....	8
Figura 3.	Generador lineal como parte de un convertidor de energía en vehículos eléctricos.....	8
Figura 4.	Generador lineal de imán mejorado, bobinas móviles.....	9

Figura 5. Generador lineal de imanes circulares, bobina de frente .....	10
Figura 6. Generadores lineales tubulares vs cuadrados .....	10
Figura 7. Generador lineal tubular con estator de núcleo de aire. ....	11
Figura 8. Curva de imantación de la bobina en el aire. ....	17
Figura 9. Curva de imantación. ....	18
Figura 10. Curvas de imantación de materiales magnéticos Permeabilidad .....	19
Figura 11. Ciclo de histéresis .....	20
Figura 12. Ciclo de histéresis de diferentes materiales .....	20
Figura 13. Limaduras de hierro en el campo de una barra imantada.....	24
Figura 14. Regla de la mano izquierda.....	25
Figura 15. Regla de la mano derecha para generadores .....	27
Figura 16. Núcleo laminado .....	28
Figura 17. Primer prototipo de accionamiento manual .....	32
Figura 18. Segundo prototipo accionado por motor. ....	33
Figura 19. Tercer prototipo, imanes móviles.....	35
Figura 20. Cuarto Prototipo doble campo, imanes móviles .....	37
Figura 21. Quinto prototipo, tres juegos de bobinas. ....	39
Figura 22. Conexión de las bobinas, en prototipos.....	40
Figura 23. Prototipo seis, núcleo laminado, movimiento con yugo escoces .....	41
Figura 24. Fotografía, Osciloscopio bk precisión del AEIRNNR de la UNL.....	43
Figura 25. Curva obtenida de osciloscopio. (Bobina uno, prueba 1) .....	44
Figura 26. Curva obtenida de osciloscopio. (Tres bobinas, prueba 1, prototipo 6).....	45
Figura 27. Curva obtenida de osciloscopio. (Bobina dos, prueba 5, prototipo 6) .....	46
Figura 28. Curva obtenida de osciloscopio. (Tres bobinas, prueba 5, prototipo 6).....	46
Figura 29. Ciclo del generador .....	48
Figura 30. Visualización del campo magnético, imán en espacio libre .....	50
Figura 31. Curva de desmagnetización imanes N52 .....	50
Figura 32. Dimensiones del núcleo, vista frontal y vista lateral.....	52
Figura 33. Áreas y longitudes del núcleo. Circuito magnético .....	54
Figura 34. Periodo de voltaje. Para estudio con método de T. Simpson.....	57
Figura 35. Forma de onda descompuesta en áreas rectangulares. ....	60
Figura 36. Triángulo de resistencias.....	62

Figura 37. Triángulo de potencias.....	63
Figura 38. Diagrama de fuerzas.....	64
Figura 39. Ciclo convertidor.....	67
Figura 40. Rectificador de onda .....	68
Figura 41. Fotografía, Construcción de bobinas.....	72
Figura 42. Fotografía, Bobina del generador.....	73
Figura 43. Fotografía, Tapa lateral, bobinas instaladas.....	74
Figura 44. Fotografía, Mecanizado placa porta imanes. ....	75
Figura 45. Fotografía, Mecanizado tapa superior.....	75
Figura 46. Fotografía, Placa sujeta porta imanes.....	76
Figura 47. Generador acoplado con ciclo convertidor y banco de baterías.....	77
Figura 48. Curva de voltaje una bobina.....	78
Figura 49. Conexión de Bobinas .....	78
Figura 50. Voltaje seis bobinas.....	79
Figura 51. Conexión Bobinado.....	79
Figura 52. Curva de Voltaje .....	80
Figura 53. Gráfica de Voltaje DC.....	80
Figura 54. Curva de voltaje del Generador.....	82
Figura 55. Curva, Intensidad de cortocircuito del Generador .....	84
Figura 56. Curva de Potencia del Generador.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características térmicas de Imanes de Neodimio.....	23
Tabla 2. Planchas magnéticas del mercado .....	29
Tabla 3. Pruebas primer prototipo .....	32
Tabla 4. Pruebas segundo prototipo .....	34
Tabla 5. Pruebas del tercer prototipo.....	36
Tabla 6. Pruebas del Cuarto prototipo.....	38
Tabla 7. Pruebas quinto prototipo. ....	40
Tabla 8. Pruebas sexto prototipo .....	42

Tabla 9. Hoja Técnica Imán .....	49
Tabla 10. Cálculo de variables teorema de T. Simpson .....	58
Tabla 11. Datos de la descomposición de curva de voltaje. Cálculo de valor eficaz. ....	60
Tabla 12. Resultados de pruebas circuito abierto .....	82
Tabla 13. Resultados de pruebas cortocircuito .....	83
Tabla 14. Datos de potencia del generador .....	84
Tabla 15. Valoración Económica .....	86

## SIMBOLOGÍA

$A_f$	Área de flujo horizontal
$A_c$	Área de flujo transversal
$A_w$	Área ventana
$C_{pm}$	Ciclos por minuto
$\mu_{al}$	Coefficiente de rozamiento aluminio-aluminio
$\mu_{br}$	Coefficiente de rozamiento bronce-acero
$\cos \varphi$	Cos $\varphi$
$J_i$	Densidad de corriente valor recomendado
$D_c$	Diámetro del conductor
$E$	Energía almacenada
$l_g$	Entrehierro
$f$	Frecuencia
$F_{cr}$	Fuerza crítica
$F_m$	Fuerza de campo magnético
$F_b$	Fuerza de rozamiento en bronce
$F_r$	Fuerza rozamiento en aluminio
$F$	Fuerza total
$Z$	Impedancia
$L$	Inductancia
$I$	Intensidad
$I_{rms}$	Intensidad Nominal del conductor
$l_h$	Longitud de flujo horizontal
$l_v$	Longitud de flujo vertical
$MLT$	Longitud de vuelta promedio
$l_c$	Longitud del conductor
$N_v$	Número de vueltas de la bobina
$P_{cu}$	Perdidas en el cobre
$\mu_o$	Permeabilidad del aire

$\mu_c$	Permeabilidad del núcleo
$\mu_r$	Permeabilidad relativa de núcleo laminado
S	Potencia
$\Delta Q$	Potencia aparente
$\Delta P$	Potencia útil
R	Resistencia de bobina
XL	Resistencia inductiva
$R_c$	Resistencia por unidad de longitud del conductor
$R_v$	Resistencia por vueltas
$\rho$	Resistividad del cobre
Rpm	Revoluciones por minuto
$S_c$	Sección del conductor
$V_{efi}$	Valor eficaz
$V_m$	Valor medio

## **a. Tema**

Diseño y construcción de un generador eléctrico de desplazamiento lineal con imanes permanentes para acoplamiento a un aerogenerador de eje vertical.

## **b. Resumen.**

El desarrollo de nuevos modelos de generación eléctrica ha sido enorme en los últimos años debido a la gran variedad de usos a los que son sometidos, como casas autosustentables, bombeos, vehículos, etc. En la actualidad, existe la tendencia a disminuir el costo y el tamaño de estos generadores eléctricos, como consecuencia del acelerado desarrollo de la tecnología para la fabricación de estas máquinas. Sin embargo, los generadores comúnmente usan el movimiento rotatorio, es por ello de nuestro esfuerzo en la investigación para aprovechar el movimiento alternativo para generación eléctrica.

En este trabajo se propone la ubicación de los imanes y del bobinado de acuerdo al mejor resultado de las pruebas en los distintos prototipos con los que se experimentó. Se propone el circuito rectificador de onda para convertir la tensión alterna en continua y poder almacenar la energía en una batería, luego con un inversor se transforma nuevamente a una onda sinusoidal y así poder instalar carga normal.

Se describe una propuesta para ubicar el bobinado con núcleo de hierro, la manera de ubicar los imanes permanentes de neodimio para generar el campo magnético, los imanes se ubican alternadamente para obtener la variación de voltaje, se realiza los ajustes necesarios para que sean los imanes quienes hagan el movimiento alternativo. Instaladas las doce bobinas con las que cuenta el generador se recomienda también la forma de conexión del conjunto con el que mejor resultados se obtiene.

## Summary

The development of new models of electrical generation has been enormous in the last years due to the great variety of uses to which vehicles are submitted, as auto sustainable houses, pumping, etc. At present, there exists the trend to diminish the cost and the size of these electrical generators, as consequence of the intensive development of the technology for the manufacture of these machines. Nevertheless, the generators commonly use the rotating movement, it he performs for it our effort in the investigation to take advantage of the alternative movement for electrical generation.

In this work, one proposes the location of the magnets and of the wound one of agreement to the best result of the tests in the different prototypes with which it was experienced. The circuit proposes wave rectifier itself to turn the alternate tension in constant and to be able to store the energy in a battery, then with an investor it the transforms again to a sinusoidal wave and to be able like that to install normal load.

An offer is described to locate the wound one with nucleus of iron, the way of locating the permanent magnets of neodymium to stop to generate the magnetic field, the magnets are located alternadamente to obtain the variation of voltage, and the necessary adjustments are realized in order that they are the magnets who do the alternative movement. Installed twelve bobbins with which it he counts the generator there is recommended also the form of connection of the set by the one that better proved is obtained

### **c. Introducción**

El presente proyecto investigativo que consiste en diseñar y construir un generador eléctrico de desplazamiento lineal con imanes permanentes para acoplamiento a un aerogenerador de eje vertical, además de convertirse en otra opción para aprovechar las diferentes formas de movimiento alternativo, como el movimiento de las olas, de amortiguación, etc.

El documento está dividido en cinco capítulos que comprenden, el primero en investigar el estado del arte de generadores lineales con imanes permanentes. En el segundo capítulo se hace referencia a estudios ya comprobados de imanes, bobinas y campo magnético fundamentales para el proceso de generación eléctrica. En el tercer capítulo explica el desarrollo y resultados de los diferentes prototipos que se realizan para obtener el mejor proceso de generación de energía eléctrica. El cuarto capítulo contempla el diseño y dimensionamiento del movimiento y partes del generador lineal. En el último capítulo se refiere a la construcción, características y pruebas de funcionamiento del generador lineal con imanes permanentes.

Sin duda, el estudio de un generador de desplazamiento lineal de imanes permanentes, ayudará a conocer en mayor medida el comportamiento de las variables como son el bobinado, inversores, imanes, además, el generador de desplazamiento lineal de imanes permanentes será un instrumento que nos ayudará a recolectar datos y analizarlos, para afianzar los conocimientos y ayudar en las investigaciones en el campo de energías renovables que realiza la Universidad Nacional de Loja.

El obtener resultados positivos en el diseño y construcción generador lineal con imanes permanentes, brinda una alternativa de generadores de energía eléctrica y es un aporte más a las nuevas formas de generación con diseños más económicos y de mejor rendimiento.

El resultado final del proyecto permite afirmar el cumplimiento de los objetivos que se planteó para el éxito de la investigación. Sin embargo, la poca información que hay

acerca de los generadores de movimiento lineal, fue una de las limitantes a las que se enfrentó durante el proceso investigativo.

El desarrollo de la investigación se centra plenamente en la metodología experimental, validando sus resultados en su primera fase teóricamente, la operatividad de las variables y la construcción usa la validación interna (diseño) y validez de construcción, la validez externa a través con las conclusiones define el éxito del diseño y construcción de un generador lineal con imanes permanentes.

## **d. Revisión de Literatura.**

### **d.1. CAPÍTULO I: Estado del Arte de los generadores lineales con imanes permanentes.**

Se hace una reseña de las investigaciones que existen acerca de generadores lineales con imanes permanentes en las publicaciones online, de los estudios publicados en el país y en el Área de Energía las Industrias y los recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

Haciendo referencia a los documentos, revistas, artículos, publicaciones en la red (Internet) donde se publican estudios anteriores, investigaciones realizadas acerca de generadores lineales con imanes permanentes. En las siguientes líneas se menciona algunos estudios que hacen referencia al tema o se asemejan a la idea de generación que se desarrolla en el presente documento.

De los documentos y publicaciones consultadas, se mencionan las siguientes:

Patente Investigación registrada en España en 1987. PARTES JOVE FELIPE. Generador de movimiento alternativo con imanes permanentes, este aparato generador de energía eléctrica de desplazamiento lineal que comprende un vástago solidario de una pluralidad de cuerpos magnéticos cuyos polos norte y sur se disponen alternadamente a lo largo del mismo y un cuerpo ferromagnético exterior dispuesto rodeando al vástago, en cuyos lados y distancias entre si están montadas bobinas en U, circulando por el citado cuerpo el flujo magnético producido por los cuerpos magnéticos solidarios del vástago y produciéndose tensión eléctrica en las bobinas al desplazarse linealmente el vástago respecto al cuerpo ferromagnético exterior. En la Figura 1, se muestra el generador de imanes permanentes con bobinas en U. (PRATS JOVE, 1989)



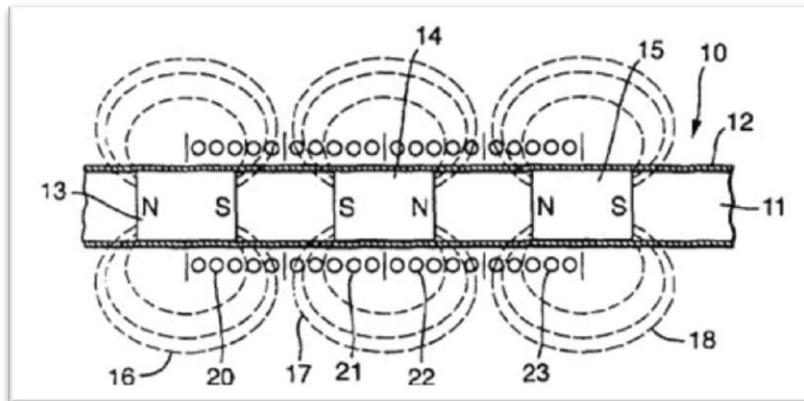


Figura 2. Generador eléctrico tubular.

Fuente: (TRIDENT ENERGY LIMITED., 2009)

El generador lineal como parte integrante de un convertidor de energía para vehículos eléctricos. Es un generador lineal que aprovecha el movimiento lineal dado por dos pistones mediante la combustión de combustible fósil. El generador es de tipo tubular teniendo en el centro el grupo de imanes circulares permanentes que son los que se encuentran en movimiento, el estator es la parte fija que induce el campo magnético producido. El bobinado se encuentra concéntricamente alrededor de la carcasa que rodea a los imanes. Este generador se encuentra en estudio para utilizarlo para la carga de baterías de vehículos híbridos. La Figura 3 muestra el generador lineal que obtiene su movimiento con la ayuda de los dos pistones ubicados a los extremos. (Institute of Behicle Concepts.)

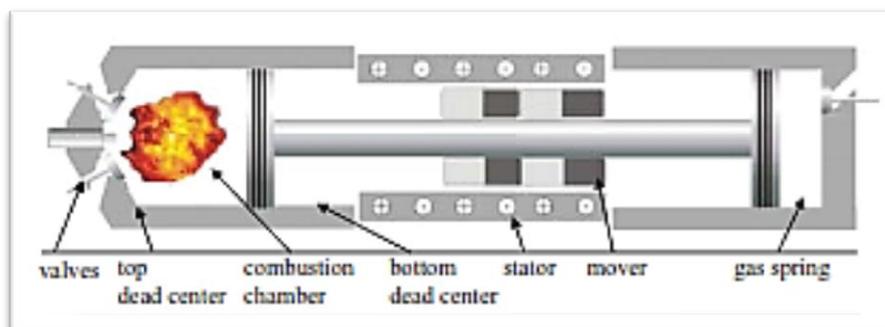


Figura 3. Generador lineal como parte de un convertidor de energía en vehículos eléctricos.

Fuente: (Institute of Behicle Concepts.)

Generador eléctrico lineal que tiene un imán mejorado y estructura de la bobina y método de fabricación. Este Generador eléctrico lineal incluye devanados del inducido y los imanes estacionarios dispuestos para reciprocarse con respecto a los devanados, o estructuras de imán estacionario y devanados móviles dispuestos para corresponder con relación a las estructuras de imán estacionarios. Los imanes del inducido o estructuras de imán estacionarios son en forma de múltiples polos magnéticos constituidos por una pluralidad de estructuras de polos individuales, cada estructura de polo que incluye un par de imanes se unió cada uno frente a otro con polos de igual polaridad. Además, los devanados pueden estar en la forma de una estructura de devanado doble que incluye al menos un primer devanado de las agujas del reloj y al menos un segundo bobinado en sentido anti-horario dispuestos en una disposición apilada de múltiples capas. La Figura 4 muestra el generador lineal con el de devanado móvil, en este caso se desplaza de izquierda a derecha. (Yu-Ta Tu, y otros, 2005)

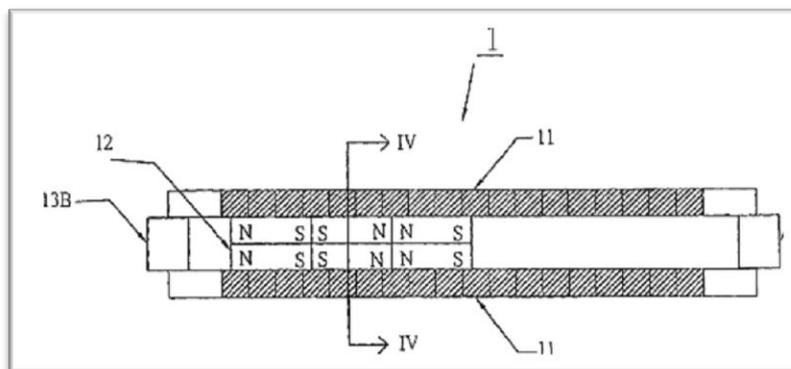


Figura 4. Generador lineal de imán mejorado, bobinas móviles

Fuente: (Yu-Ta Tu, y otros, 2005)

Diseño de un generador de imanes permanentes. El generador tiene un largo trasladador y un grupo de imanes permanente como fuente de campo magnético. Lo genera una corriente eléctrica trifásica. El generador es propuesto para ser operado utilizando una cámara de doble pistón interno libre motor de combustión lineal. El producto terminado se va a colocar en una vehículo eléctrico híbrido para generar electricidad para hacer funcionar los motores y para cargar las baterías. Utiliza imanes circulares y el conjunto de bobinas ubicadas frente al campo magnético. La Figura 5, muestra la ubicación de los imanes y bobinas. (Hew Wooi Ping, 2006)

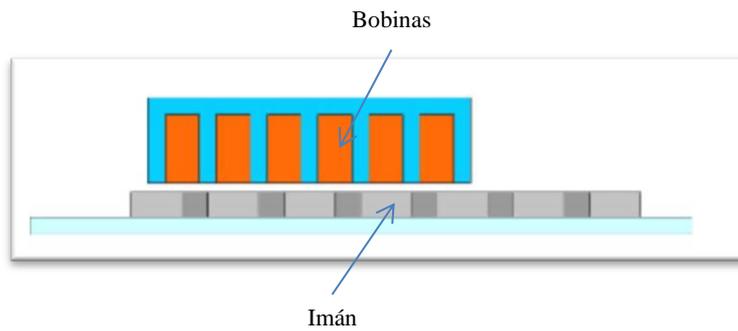


Figura 5. Generador lineal de imanes circulares, bobina de frente

Fuente: (Hew Wooi Ping, 2006)

Generador lineal de imanes permanentes para aplicaciones de energías renovables: tubular vs estructuras de cuatro lados. Estudio de las características magnéticas y de construcción de los generadores lineales tubulares versus generadores lineales cuadrados. Los generadores de cuatro caras tienen el campo magnético en el vástago con el inducido alrededor de sus 4 caras, se muestra en la Figura 6. Además en este documento se hace un estudio y comparación del uso del movimiento de las olas del mar. (C. A. Oprea, 2011)

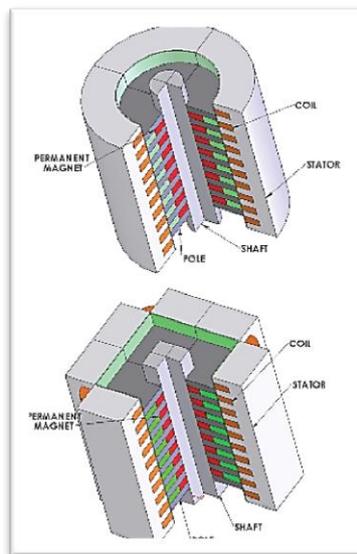


Figura 6. Generadores lineales tubulares vs cuadrados.

Fuente: (C. A. Oprea, 2011)

Generador para convertir energía marina, lineal tubular de imanes permanentes con estator de núcleo de aire. Este artículo los autores describen el rendimiento y la modelización de un prototipo lineal de imán permanente tubular máquina con un estator núcleo de aire. La principal aplicación de la máquina se encuentra en los sistemas de conversión de energía marina de transmisión directa, donde las velocidades son típicamente en la región de 0,5 m/s. Un simple método analítico se deriva de proporcionar un diseño inicial de una máquina prototipo con movimiento lineal aprovechando el movimiento de las olas del mar. La Figura 7 muestra como está compuesto el generador lineal tubular. (N. J. Baker (1), 2004)

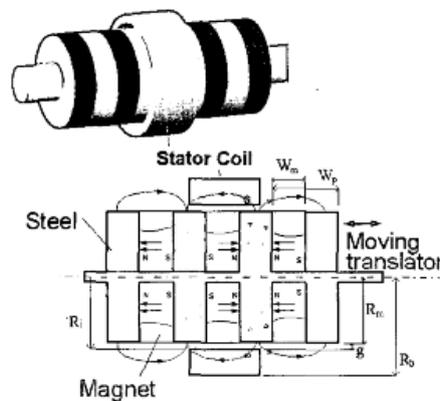


Figura 7. Generador lineal tubular con estator de núcleo de aire.

Fuente: (N. J. Baker (1), 2004)

*Los estudios mencionados describen los avances respecto a los generadores de movimiento lineal, se destaca que ninguna de estas investigaciones publica la metodología de estudio de la estructura, campo magnético, núcleos, bobinas, con las que se desarrolla nuestra investigación.*

En las investigaciones en cuanto a tesis se refiere, se buscó información los repositorios de las mejores universidades con clasificación A según el Senescyt hasta mayo del 2013. Se muestra a continuación un resumen los estudios que hacen referencia a generadores eléctricos con imanes permanentes de desplazamiento lineal con imanes permanentes.

Repositorio digital de la Escuela Politécnica Nacional, se encuentra estudios de generadores, diseño de los mismos, análisis de eficiencia, generación de energía limpia aprovechando varias formas de energía como eólica, de gas, biocombustión etc. Existe un documento que hace referencia a “Diseño y construcción de un prototipo de generador eólico para una potencia de 200 W”, sin embargo este es de eje rotatorio. En el repositorio de esta universidad no se hace referencia en ningún tema a generadores lineales con imanes permanentes. (Escuela Politecnica Nacional)

Repositorio digital de la Escuela Politécnica del Ejercito (ESPE), en lo que se refiere a generadores eléctricos de movimiento lineal no hacen referencia a investigaciones de este tipo, únicamente encontramos documentos con respecto a energías alternativas, generadores eólicos de eje rotatorio, energías limpias y estudios de transformación de energía del viento en mecánica. Y no se encuentran documentos de generadores de movimiento alternativo. (Escuela Politecnica del Ejercito)

Repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Los documentos consultados hacen referencia a energías limpias como la fotovoltaica, y estudios para mejoramiento de generadores eólicos de movimiento rotatorio, destacamos la tesis “Modelado de una Turbina Eólica de Velocidad Variable con Control de Ángulo de Calaje” que hace referencia a la generación eléctrica con imanes permanentes, sin embargo esta generación es también en movimiento rotatorio. De generadores con movimiento alternativo no encontramos estudio alguno. (Escuela Politecnica del Litoral)

Repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. La documentación revisada hace más referencia a energías alternativas y generación eléctrica proveniente del sol, en energía producida por el viento hay una investigación para una aereobomba. En lo referente a nuestro interés de generadores lineales y con imanes permanentes no hay un documento que haga referencia a este tema. (Escuela Superior Politécnica del Chimborazo)

Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, no se encontró estudios que se refieran a generación eléctrica mediante movimiento alternativo, los documentos

de investigación en general hacen referencia a estudios de eficiencia energética, sustentabilidad del cambio de energía térmica a energía eólica, energía fotovoltaica entre otros. (Pontificia Universidad Católica del Ecuador)

Repositorio de la Universidad de Cuenca. La bibliografía consultada en de los documentos publicados por esta institución, se destaca “Análisis energético de centrales eólicas” que hace referencia a los tipos de generadores eléctricos con imanes permanentes, sin embargo estos son de movimiento rotatorio. En su mayoría las investigaciones son dirigidas a la generación fotovoltaica. (Universidad de Cuenca, 2012)

Biblioteca virtual Universidad del Azuay. De los documentos subidos a este sitio, se encuentran estudios de aprovechamiento de energía renovables, energía fotovoltaica, energía eólica, se menciona un documento que estudia la generación de energía eléctrica a través de generadores de imanes permanentes, pero igual que los casos anteriores es de movimiento rotatorio. De generadores lineales no hay estudio alguno. (Universidad del Azuay)

Repositorio Universidad San Francisco de Quito. Sus estudios están enfocados a estudios de eficiencia energética, parques eólicos con rotor tripala, cambio de motores de combustión a eléctricos. Pero no se encontró estudios que se dirijan a nuevas formas de generadores eléctricos. (Universidad San Francisco de Quito)

En los repositorios de la Universidad Técnica de Ambato y Universidad Técnica particular de Loja, no encontramos algún tipo de documento que haga referencia a los generadores lineales con imanes permanentes. Los estudios que se encontró se basan a energías fotovoltaicas y eólica con rotores giratorios.

En las investigaciones de las universidades del Ecuador no hacen estudio alguno de generadores de movimiento lineal con imanes permanentes.

La Universidad Nacional de Loja, en los últimos años a través del Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, ha enfocado sus estudios e investigaciones en la obtención de nuevas formas de aprovechar la energía que nos brinda la naturaleza.

A continuación se presenta una lista de Tesis de grado del AEIRNNR de la UNL que hacen referencia a generadores eléctricos:

Diseño y simulación de los componentes de un aerogenerador modelo para la provincial de Loja. El diseño y estudio de este aerogenerador es de eje horizontal y de movimiento rotatorio, utiliza la energía cinética del viento, la transforma en energía mecánica y luego a energía eléctrica. Para la generación de energía en este proyecto seleccionan un motor trifásico siemens de 5,5 KW. Este un aerogenerador tripala con veleta de dirección y multiplicador de velocidad. (Serrano Jaramillo, 2004-2005)

Diseño y construcción de un aerogenerador experimental y modular para aplicación rural. Es un aerogenerador tripala de eje horizontal, diseñado para obtener 250 W, con generador Bosch de 300 W, 25 A, 12 V, 1400 rpm. Obteniendo en el mejor de los casos 150w. Cuenta con veleta de dirección y multiplicador de velocidad. Este generador es de movimiento rotatorio. (Cabrera Gonzalez, y otros, 2008)

Diseño y simulación de un aerogenerador de eje vertical con rotor tripala para el laboratorio de energías alternativas de AEIRNNR. Este generador menciona a los generadores de imanes permanentes, como una alternativa relativamente más económica, y que permite experimentar con pequeñas potencias en turbinas eólicas de menor escala. En este proyecto de tesis no especifica la potencia de generación debido a que basan el estudio en Aero turbinas de eje vertical. Este generador de imanes permanentes es de movimiento rotatorio. (Carrion Pazmiño , y otros, 2010)

Diseño y construcción de un sistema de iluminación autosustentable alimentado por un aerogenerador accionado por vientos de baja velocidad. Aerogenerador de eje vertical, utiliza un generador de imanes permanentes EXMORK de 500 W, 12 V, 300 rpm, para

producir energía eléctrica, Esta investigación es basada para mantener iluminación nocturna con tecnología led, en los exteriores del área. Este generador produce energía eléctrica en todas las revoluciones a las que es sometido, vale la pena aclarar que también es de movimiento rotatorio. (Valarezo Arellano, 2011)

Construcción y parametrización funcional de un prototipo de aerogenerador de eje vertical. Este Aerogenerador utiliza un alternador de campo giratorio de 1,5 kW de potencia nominal de dos polos. Este aerogenerador centra más su estudio en el diseño y construcción de la estructura que aprovecha la energía del viento. (Quezada Sarango, 2012)

Diseño y construcción de un aerogenerador vertical con rotor espiral tipo veleta para la obtención de energía eléctrica a implementarse en el laboratorio de energías alternativas de AEIRNNR de la UNL. Este aerogenerador utiliza un generador de imanes permanentes para producir energía eléctrica, sin embargo es también un generador de movimiento rotatorio. (Flores Calderon, y otros, 2012)

De estos estudios realizados por la Universidad Nacional de Loja, a través del AEIRNNR, no se encontró antecedentes de estudio o construcción de generadores con movimiento alternativo con imanes permanentes. Existen dos tesis que tienen que ver con generación de energía eléctrica a través de imanes permanentes, sin embargo estos estudios son de movimiento rotativo.

Son muy pocas las investigaciones realizadas, documentos publicados e información técnica en este tipo de generador lineal con imanes permanentes para la producción de energía eléctrica. Para nuestra investigación se utilizarán los conceptos básicos en bobinas, núcleo, campo magnético.

## **d.2. CAPÍTULO II. Descripción general de componentes del generador.**

El desarrollo de la investigación la centramos en conceptos básicos, para seleccionar y diseñar las partes principales involucradas en el proceso de generación de energía eléctrica.

Conociendo el principio básico de generación de energía, que se da cuando una espira atraviesa las líneas de campo magnético y se induce la tensión, con este principio se describe las partes principales que intervienen en el proceso de generación de energía eléctrica.

Entre los principales componentes de generadores lineales se describen: bobinas, imanes y campo magnético.

### **d.2.1. Bobinas**

Una bobina es un componente formado por varias vueltas o espiras de alambre de cobre (esmaltado o aislado con barniz dieléctrico), enrolladas sobre un núcleo que puede ser de aire, o algún material magnético como el hierro o la ferrita.

#### ***d.2.1.1. Tipos de bobinas***

*Bobinas con núcleo de aire:* Tienen baja inductancia y se utilizan para señales de alta frecuencia en radios, televisores, transmisores, etc.

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

*Bobinas de núcleo de ferrita:* Se utilizan en circuitos de alta frecuencia y se logran buenos valores de inductancia en tamaños reducidos. La ferrita es un compuesto formado con polvo de óxido de hierro, mezclado con otros materiales y revestido de

aislante, el cual se comprime y aglutina hasta quedar en forma sólida. Este tipo de bobinas son utilizados en:

- Fuentes conmutadas para computador
- Antenas de radio AM y SW
- Transformadores de frecuencia de radios FM y AM, etc.

#### ***d.2.1.2. Unidades de medida***

La unidad de medida de la inductancia es el henrio (H).

Se define inductancia como la propiedad de una bobina de presentar una diferencia o caída de voltaje de un voltio, cuando el cambio en la corriente a través de ella, es de un amperio por segundo (A/s).

#### ***d.2.1.3. Curvas de imantación.***

El aumento de intensidad en la bobina de un electroimán de núcleo no magnético (madera, cobre, aire) hace aumentar la inducción magnética proporcionalmente a la intensidad. La Figura 8 se muestra la curva de imantación de una bobina con núcleo de aire.

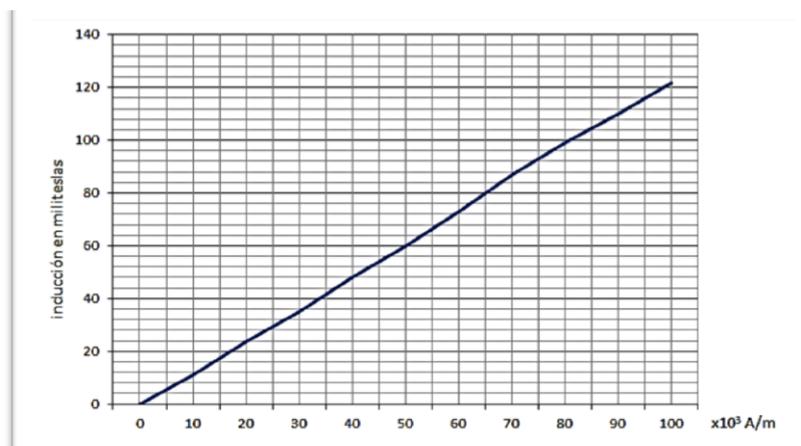


Figura 8. Curva de imantación de la bobina en el aire.

Fuente: (Dols Aznar)

Al aumentar la intensidad en la bobina con núcleo magnético, ante todo constatamos que la inducción magnética crece proporcionalmente con la intensidad, pero que luego un gran aumento de intensidad solo produce un pequeño incremento de inducción y, finalmente, la inducción aumenta más aunque la intensidad se haga muy grande. La Figura 9 muestra que el hierro ya no acepta más líneas de fuerza: se dice que está saturado.

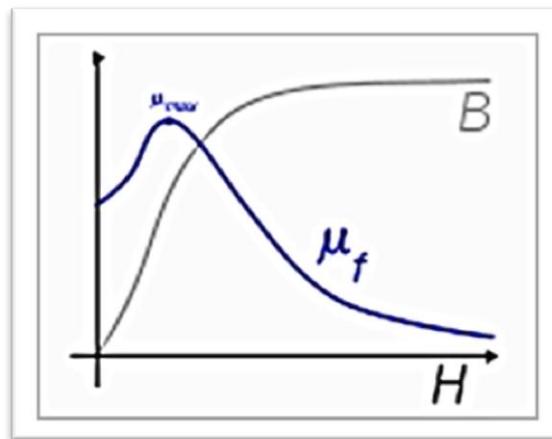


Figura 9. Curva de imantación.

Fuente: (Dols Aznar)

Debido al efecto de saturación, la permeabilidad magnética  $\mu_f$  de una sustancia ferromagnética alcanza su máximo y luego declina.

La curva de imantación de los distintos metales y aleaciones no es la misma, pues depende de su permeabilidad relativa. Para un metal poco permeable a las líneas de fuerza, serán necesarios más amperios por metro (intensidad de campo magnético) para obtener la misma inducción que con un metal de mayor permeabilidad.

Actualmente, las aleaciones de mejor calidad magnética se saturan alrededor de dos teslas.

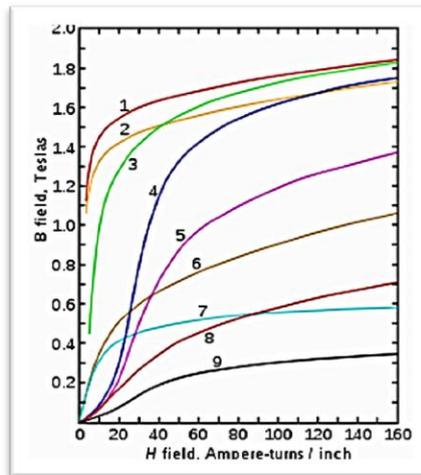


Figura 10. Curvas de imantación de materiales magnéticos Permeabilidad

Fuente: (Dols Aznar)

En la Figura 10 muestra las Curvas de imantación de nueve materiales ferromagnéticos diferentes, mostrando el efecto de saturación. 1. Hoja de acero, 2. Acero al silicio, 3. Acero crucible (de crisol), 4. Acero al tungsteno, 5. Acero magnético, 6. Hierro crucible (de crisol), 7. Niquel, 8. Cobalto, 9. Magnetita.

#### ***d.2.1.4. Ciclo de histéresis***

Se ha obtenido la curva de imantación de un núcleo aumentado hasta su saturación la intensidad de la corriente de alimentación de la bobina. Pero si entonces volvemos la intensidad a 0, constatamos que la inducción no se hace nula. El metal permanece imantado aún después de desaparecer la corriente inductora, a esto le llama *inducción remanente*.

Cuando invertimos el sentido de la corriente la inducción desaparece y se anula para un valor negativo de intensidad de campo magnético. Este valor se denomina *campo coercitivo*. Expresa la resistencia del metal a ser desimantado.

A partir de este valor la inducción cambia de sentido y alcanza el valor negativo de inducción magnética asimétrico al valor positivo.

Las medidas de la inducción magnética para los valores que van desde el negativo al positivo de la intensidad de campo magnético permiten trazar una curva simétrica de la precedente. El conjunto constituye una figura denominada *ciclo de histéresis*. Como se muestra en la Figura 11.

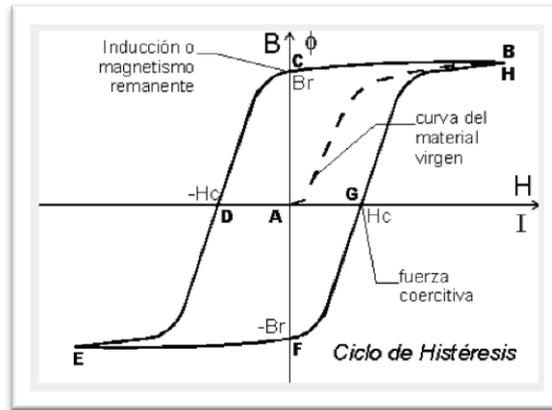


Figura 11. Ciclo de histéresis

Fuente: (Carrillo Dias, 2004)

El ciclo de histéresis no es igual en todos los metales y alcaloides, en la Figura 12 se muestra las curvas del ciclo de histéresis de diferentes materiales.

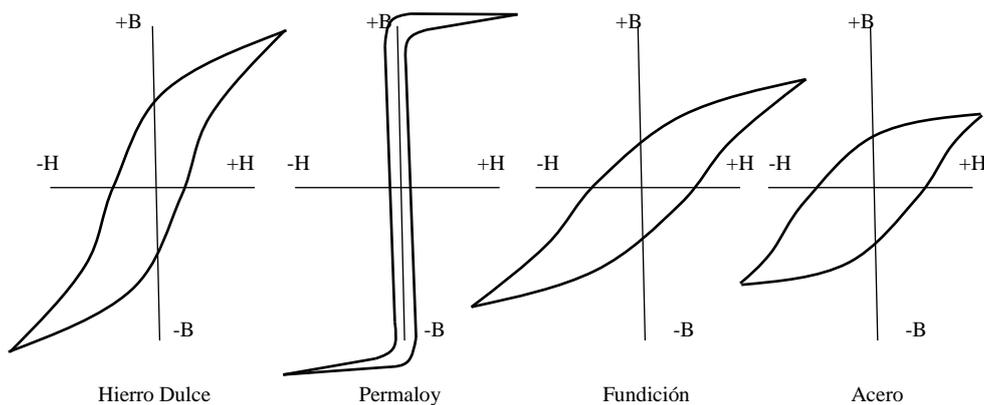


Figura 12. Ciclo de histéresis de diferentes materiales

Fuente: (Dols Aznar)

### **d.2.2. Imanes**

Los imanes son piezas metálicas que tienen la propiedad de atraer a otras piezas metálicas. Pueden ser naturales, o sea, que se encuentran en la naturaleza con esa propiedad, o artificiales cuando se la hacemos adquirir.

La mayoría de los imanes que usamos son artificiales, los imanamos por fricción con otros imanes o sometiéndolos a grandes campos magnéticos; en este último caso se emplea una aleación de aluminio-níquel, cobalto, neodimio y samario.

Todo imán tiene dos polos en sus extremos, que se denominan norte uno de ellos y sur el otro. El polo norte se representa con una N y el sur con una S. Al colocar dos imanes frente a frente, aparecen unas fuerzas de atracción y repulsión, según los polos que se encaren. Polos de distinto nombre se atraen y polos del mismo nombre se repelen.

#### ***d.2.2.1. Imanes permanentes***

Los imanes de Neodimio y Samario representan la última generación de los materiales magnéticos. Dichos imanes poseen propiedades muy superiores a las tradicionales. Su alta coercitividad y su elevada remanencia permiten nuevos diseños. La utilización de estos imanes está condicionada, sobre todo, por el factor temperatura.

Cabe destacar la importancia del factor corrosión, sobre todo en los materiales de calidad Neodimio. Para evitar problemas de oxidación, la solución que se aplica es recubrir los imanes; dicho recubrimiento puede variar según las necesidades del trabajo a desempeñar. Los imanes de Samario no presentan ningún problema de oxidación.

El proceso de fabricación de estos tipos de imanes magnéticos basados en tierras raras, resulta bastante complejo. La materia prima necesaria para su aleación tiene que ser minuciosamente mezclada en vacío. Es entonces cuando las partículas de esta materia se mezclan según las tolerancias definidas. Finalmente se sinterizan en unos hornos especiales, obteniendo así un producto final extremadamente duro que, únicamente, se

puede trabajar con maquinaria de electroerosión o bien, con maquinaria especial provista de herramientas de diamante. Igualmente se utilizan procesos de enfriamientos para su tratamiento. Los materiales magnéticos compuestos de tierras raras son Samario-Cobalto y Neodimio. (IMA, Ingeniería Magnética Aplicada)

Los imanes de neodimio son una composición de la mayoría de neodimio, hierro y boro. Si se deja expuesto a los elementos, el hierro en el imán se oxida. Para proteger el imán de la corrosión y para reforzar el material de imán frágil, por lo general es preferible que el imán se recubra. Hay una variedad de opciones para recubrimientos, pero el níquel es el más común y generalmente preferido. Los imanes niquelados pueden tener tres capas de níquel, de cobre, de níquel. Este triple recubrimiento hace a los imanes mucho más duraderos que los de níquel de una sola capa más comunes. Algunas otras opciones para el revestimiento son de zinc, estaño, cobre, epoxi, plata y oro. Los imanes chapados en oro son en realidad cuádruple chapados con níquel, cobre, níquel y una capa superior de oro. (k&J Magnetics, 2012)

Los imanes de neodimio son más de 10 veces más fuertes que los imanes de cerámica más fuertes. Si se están usando imanes de cerámica en el proyecto, que probablemente podría utilizar un imán de neodimio mucho más pequeño y una mayor fuerza de sujeción.

*Los imanes de neodimio recubiertos de níquel triple capa, resisten a una temperatura máxima de 80°C, estos imanes son imantados axialmente. Ideales para el generador lineal con imanes permanentes.*

El imán de Neodimio y Samario-Cobalto puede ser utilizado en temperaturas bajo 0° C.

#### ***d.2.2.1.1. Grados de neodimio***

N35, N38, N42, N38SH... ¿Qué significa todo esto? Los imanes de neodimio son todos calificados por el material del que están hechos. Como regla general, cuanto más alto es el grado (el número después de la "N"), es más fuerte el imán. El grado más alto de

imán de neodimio actualmente disponible es N52. Cualquier letra que sigue la nota se refiere a la clasificación de temperatura del imán. Si no hay letras que siguen al grado, a continuación, el imán es neodimio temperatura estándar.

Los valores de temperatura son estándar (sin designación) - M - H - SH - UH - EH. La Tabla 1 muestra los valores de temperatura.

Tabla 1. Características térmicas de Imanes de Neodimio

Neodimio Tipo de material	Coefficiente de expansión térmica.	Temperatura de trabajo máxima	Temperatura de Curie	Conductividad térmica
	% / ° C	° C (° F)	° C (° F)	kcal/mh- ° C
<b>N</b>	-0.12	176 ° F (80 ° C)	590 ° F (310 ° C)	7.7
<b>NM</b>	-0.12	212 ° F (100 ° C)	644 ° F (340 ° C)	7.7
<b>NH</b>	-0.11	248 ° F (120 ° C)	644 ° F (340 ° C)	7.7
<b>NSH</b>	-0.10	302 ° F (150 ° C)	644 ° F (340 ° C)	7.7
<b>NUH</b>	-0.10	356 ° F (180 ° C)	662 ° F (350 ° C)	7.7
<b>NEH</b>	-0.10	392 ° F (200 ° C)	662 ° F (350 ° C)	7.7

Fuente: <http://www.kjmagnetics.com/specs.asp>

Las características térmicas mencionadas anteriormente son valores comúnmente asociados con cada imán de grado o material. El rendimiento real de la aplicación puede variar con otros factores, como la forma del imán, el Coeficiente de Permeabilidad o línea de carga y cómo se utiliza en un circuito.

#### ***d.2.2.2. Aplicación de imanes permanentes***

Las aplicaciones de los imanes permanentes son numerosas y variadas: pequeños motores de corriente continua, generadores de pequeña potencia, aparatos de medida, altavoces, auriculares, micrófono, relojes, timbres, relés polarizados, ajustes de velocidad en contadores y giradiscos, taquímetros, brújula, cerraduras magnéticas, platos magnéticos, discos duros, etc.

*Los usos potenciales de fuertes imanes de neodimio son ilimitados.*

### d.2.3. Campo magnético

Ya que un imán puede producir efectos a distancia, su presencia modifica el espacio que lo rodea. La porción del espacio modificada por el imán se denomina *campo magnético*.

Las líneas de fuerza componen el campo magnético, estas líneas de fuerza que se forman en el espacio se lo denomina *espectro magnético*. La Figura 13 muestra las limaduras de hierro en una barra imantada, donde se puede identificar claramente las líneas de fuerza. (Dols Aznar)

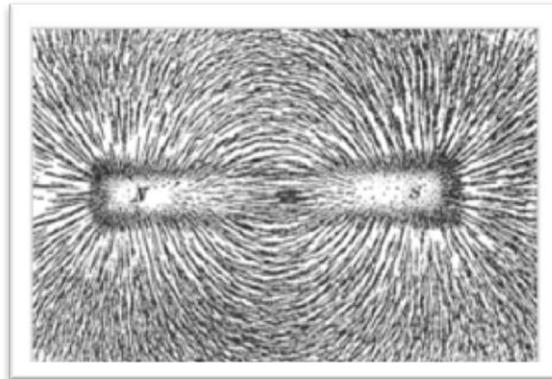


Figura 13. Limaduras de hierro en el campo de una barra imantada

Fuente: (Dols Aznar)

Las limaduras que sufren la atracción del imán de modo que se acumulan en gran cantidad en los lugares en que el campo magnético es más intenso, por lo que el espectro, al mismo tiempo que delinea las líneas de fuerza, da simultáneamente una imagen de la intensidad relativa del campo a lo largo de estas líneas. Se ha escogido un sentido convencional para las líneas de fuerza:

Las líneas de fuerza que salen del polo norte recorren el camino por el aire, y deben entrar en el imán por el polo sur volviendo al polo norte por el interior de este

### ***d.2.3.1. Flujo magnético***

El conjunto de las líneas de fuerza que salen del polo norte de un imán se denomina *flujo magnético*, este flujo se lo expresa en Webers (*Wb*)

El Weber es la unidad que permite determinar la cantidad de líneas de fuerza que componen un flujo. Cuanto más concentradas están, más imponente resulte el efecto magnético. Su densidad se denomina con la expresión *inducción magnética*. La *inducción magnética* se la expresa en Webers por  $m^2$  o teslas (*T*). (<http://www.sapiensman.com/>)

### ***d.2.3.2. Corriente eléctrica en un campo magnético.***

Cuando se coloca un conductor recorrido por una corriente en un campo magnético de un imán, se produce un efecto dinámico mutuo entre las dos fuentes de campo magnético. Si admitimos que el imán está fijo, el sentido de fuerza ejercida sobre el conductor está determinado por la regla de la mano izquierda, como se muestra en la Figura 14.

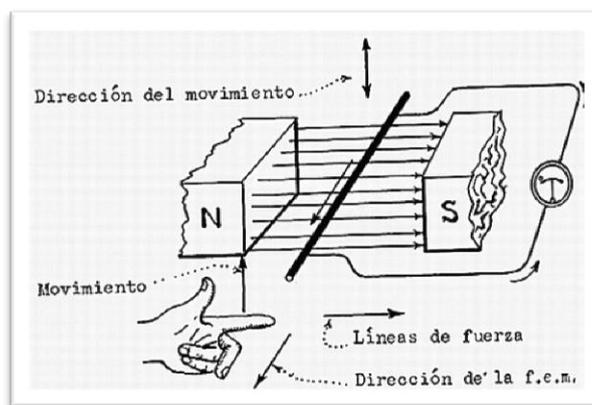


Figura 14. Regla de la mano izquierda

Fuente: (Dols Aznar)

### ***d.2.3.3. Fuerza electromotriz***

La fuerza (FEM) es proporcional a la inducción media perpendicular al conductor, a la intensidad que circula por el conductor y a la longitud útil del conductor.

#### ***d.2.3.3.1. FEM inducida por variación de la intensidad del campo magnético***

La causa de la FEM inducida es: una bobina o un conductor situados en un campo magnético variable muestran la aparición de una fuerza electromotriz inducida.

La fuerza electromotriz inducida es mayor cuando:

- Es más rápida la variación del campo magnético.
- Es más grande la variación del campo magnético
- Es mayor la cantidad de espiras de la bobina.

#### ***d.2.3.3.2. FEM inducida por el movimiento.***

Se induce una tensión en un conductor cuando éste corta las líneas de fuerza o es cortado por líneas de fuerza.

La fuerza electromotriz inducida es mayor cuando:

- El momento del conductor es más rápido.
- La densidad de líneas de fuerza es mayor.
- La longitud activa del conductor es mayor.

La corriente inducida es de tal sentido que se opone al movimiento que produce. Para los generadores, el sentido de la corriente inducida está determinado por la regla de la mano derecha, como se muestra en la Figura 15. (Dols Aznar)

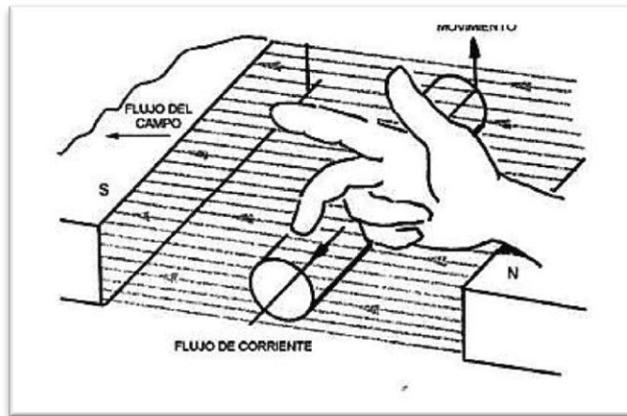


Figura 15. Regla de la mano derecha para generadores

Fuente: (Dols Aznar)

Esta regla puede aplicarse para encontrar el sentido de la FEM o de la corriente inducida en un conductor móvil (inducido) que corta las líneas de fuerza de un campo magnético fijo (inductor).

Los generadores eléctricos rotativos, dinamos y alternadores, son una aplicación de este sistema de producción de tensión eléctrica; transforma la energía mecánica que reciben en energía eléctrica. El generador bajo carga necesita una fuerza motriz.

#### ***d.2.3.4. Corrientes de Foucault***

En la sección 2.3.3, se ha mencionado que un conductor sometido a un flujo magnético variable producía una tensión inducida. No obstante, esta tensión no está solamente inducida en la bobina, sino también en todas las masas conductoras sometidas a la variación de flujo.

*Las corrientes inducidas en masas metálicas sometidas a variaciones de flujo se denominan corrientes de Foucault.*

Las corrientes de Foucault son nocivas en todas las máquinas, pues representan una inútil disipación de energía en forma de calor por el efecto Joule.

#### *d.2.3.4.1. Reducción de las corrientes de Foucault*

Para disminuir considerablemente el desarrollo de las corrientes Foucault se emplea el sistema de construir los núcleos de hierro con planchas de un espesor de 0,2 a 0,6mm aislando las unas de las otras por hojas de papel o barniz. Además estas planchas se hacen con un acero al silicio de alta resistividad; la intensidad de la corriente inducida disminuye y las pérdidas alcanzan así un valor admisible. Esta construcción no disminuye el paso del flujo magnético, pues se dispone siempre según el plano que recorren las líneas de fuerza, como se muestra en la Figura 16. Las planchas aisladas no perturban el paso del flujo de inducción, pues están dispuestas en el plano de las líneas de inducción.

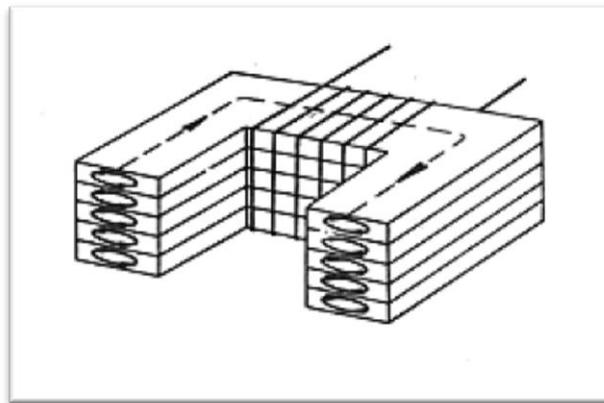


Figura 16. Núcleo laminado

Fuente: (Dols Aznar)

La calidad de estas láminas en cuanto a las pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault está caracterizada por la potencia en vatios disipada por kilo de plancha sometido a una inducción alternativa de un tesla, a razón de cincuenta ciclos de imantación por segundo.

La Tabla 2 muestra los valores de las pérdidas específicas en W/kg para diversas calidades de planchas magnéticas que existen en el mercado:

Tabla 2. Planchas magnéticas del mercado

Potencia específica [ $\frac{W}{kg}$ ]	Espesor [ $mm$ ]	Potencia específica [ $\frac{W}{kg}$ ]	Espesor [ $mm$ ]
3.0	0.5	1.3	0.35
2.6	0.5	1.1	0.35
2.3	0.5	1.0	0.35
2.0	0.5	0.9	0.35
1.7	0.5	0.5	0.35
1.5	0.5		

FUENTE: Electrotecnia, Efectos magnéticos de la corriente eléctrica. Pág. 119

### **d.3. CAPÍTULO III: Desarrollo prototipos.**

Como se mencionó en los capítulos anteriores, no hay información disponible acerca de los generadores de movimiento alternativo con imanes permanentes, por tal razón desarrollamos nuestra tesis usando el método experimental.

De la información técnica consultada, de los conceptos básicos y concretos que estudiamos en el capítulo dos, se definen los elementos con los que se experimentó en los prototipos para la construcción final del generador lineal con imanes permanentes.

#### **d.3.1. Elementos de los prototipos**

A continuación se describen los elementos y sus características con los que se realizó las pruebas en los diferentes prototipos:

*El campo magnético:* en la sección 2.2.1. Se hace referencia a los imanes permanentes, estos son los ideales para generadores de baja potencia, además tienen el mejor campo magnético, y pueden trabajar sin problema a temperaturas de 0 - 80°C. La dimensión y forma se la definirá en capítulos posteriores.

*Carrera:* en las investigaciones de la Universidad Nacional de Loja, existe un proyecto de tesis de un aerogenerador de eje vertical con movimiento alternativo, la carrera del movimiento es de 80mm, este dato se lo utiliza para el diseño y construcción del generador de imanes permanentes.

*El núcleo:* para los prototipos se utiliza 3 tipos de núcleo, núcleo de aire, núcleo de hierro y núcleo de laminado, en las diferentes pruebas.

*El cable:* el cable será de cobre esmaltado, la dimensión se la definirá en el desarrollo de la investigación, cuando se obtengan los mejores resultados tanto de corriente como de voltaje.

*Número de ciclos:* se entiende por ciclo a una subida y bajada de movimiento (cpm). Se la define con el modelo o prototipo con el que mejor resultado se obtenga, considerando que el número promedio de revoluciones en aerogeneradores de eje vertical oscila entre 100 y 500 rpm.

### **d.3.2. Desarrollo de los prototipos.**

Los prototipos se construyen de tal manera que la bobina se mueva frente al imán y pueda inducir el flujo magnético, obteniendo en los bornes de la bobina la tensión.

Para desarrollar la investigación es necesario simular el movimiento alternativo, para realizar las distintas pruebas con los elementos del generador mencionados. Con cada prototipo se realiza la cantidad de pruebas necesarias, a diferentes condiciones, y así poder escoger el mejor resultado para la construcción del prototipo final.

#### ***d.3.2.1. Primer prototipo***

Para el desarrollo del primer prototipo se construyó una estructura que permita sostener la bobina y el imán, además, se de simular el movimiento alternativo, con una carrera de 80 mm, accionado por una manivela manual, tiene la capacidad de ajustar la distancia entre los imanes y las bobinas.

La estructura para simular el movimiento alternativo, la ubicación de la bobina y el imán se muestra en la Figura 17.

Se coloca mecanismo biela manivela para convertir las rpm en ciclos por minuto.

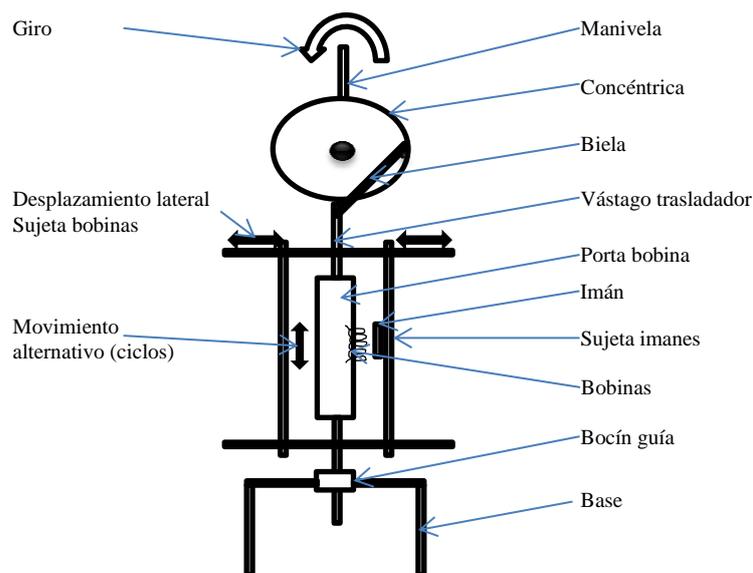


Figura 17. Primer prototipo de accionamiento manual

FUENTE: El autor

Las pruebas se realizan con una bobina tipo toroide y un imán.

Se experimenta con:

- Bobina de 60 espiras, sección de conductor #26, con núcleo de aire y hierro.
- Bobina de 50 espiras, sección de conductor #24, con núcleo de aire y hierro.
- 60 ciclos por minuto

El número de espiras de la bobina se determina por el tamaño del imán con que se experimenta, teniendo la bobina del mismo tamaño que el imán. En la parte móvil se coloca la bobina. La Tabla 3 muestra los resultados de las pruebas que se realiza en el prototipo uno.

Tabla 3. Pruebas primer prototipo

Ítem	Nro. Vueltas	Nro. Cable	Nro. Cpm	Voltaje (v)	Observación
<b>Prueba 1</b>	60	26	60	0	Núcleo de aire
<b>Prueba 2</b>	60	26	60	0	Núcleo de hierro
<b>Prueba 3</b>	50	24	60	0	Núcleo de aire
<b>Prueba 4</b>	50	24	60	0	Núcleo de hierro

FUENTE: El autor

Las pruebas del primer prototipo no resultaron exitosas, debido a que el número de ciclos por minuto es muy bajo. Además que manualmente no se pudo alcanzar el número mínimo de revoluciones entre los que funcionan los aerogeneradores, tampoco se puede mantener constante el número de ciclos por minuto para que funcione el generador.

#### *d.3.2.2. Segundo prototipo*

Para el segundo prototipo se adicionó un motor de 180 rpm para simular el movimiento alternativo y mantener constante el número de ciclos por minuto, además, las revoluciones del motor están dentro del rango de revoluciones de los aerogeneradores de eje vertical.

En este prototipo se mantienen las bobinas del prototipo uno, se aumenta un par de imanes para que la bobina este rodeada en todo momento de campo magnético. Las mejoras del prototipo se muestran en la Figura 18.

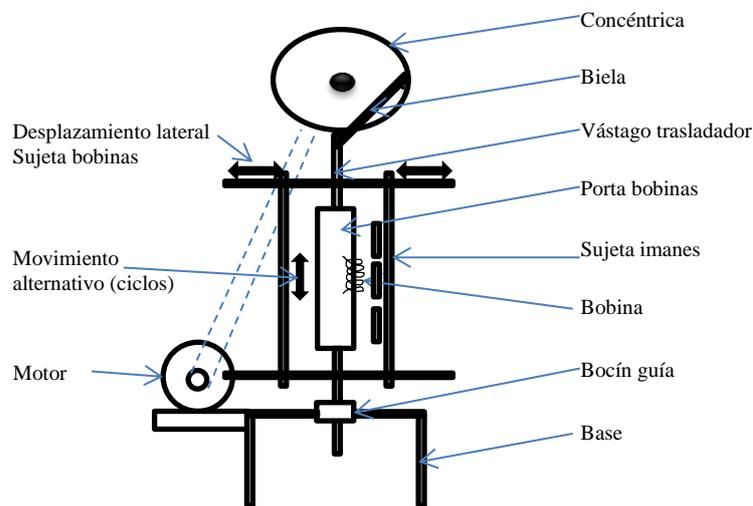


Figura 18. Segundo prototipo accionado por motor.

FUENTE: El autor

Las pruebas se realizan con una bobina tipo toroide y tres imanes

Se experimenta con:

- Bobina de 60 espiras, sección de conductor #26, con núcleo de aire y hierro.
- Bobina de 50 espiras, sección de conductor #24, con núcleo de aire y hierro.
- 180 ciclos por minuto
- 2 mm de separación entre imanes y bobina.
- Los imanes se ubican alternando su polaridad magnética (N-S-N),

Alternado la polaridad de los imanes se logra que las bobinas estén rodeadas de más campo magnético, se mantienen también las bobinas móviles y el campo magnético fijo.

En la Tabla 4 se muestra los resultados de las pruebas realizadas con el prototipo dos.

Tabla 4. Pruebas segundo prototipo

Ítem	Nro. Vueltas	Nro. Cable	Nro. Cpm	Voltaje (v)	Observación
<b>Prueba 1</b>	60	26	180	0	Núcleo de aire
<b>Prueba 2</b>	60	26	180	0	Núcleo de hierro
<b>Prueba 3</b>	45	24	180	0	Núcleo de aire
<b>Prueba 4</b>	45	24	180	0	Núcleo de hierro

FUENTE: El autor.

Las pruebas del segundo prototipo no resultaron exitosas, debido a que la sección del conductor es muy grande, una deficiencia de este prototipo es el cable de conexión externa de la bobina queda en movimiento, sin embargo sí se logra mejorar significativamente la simulación del movimiento alternativo con el sistema biela manivela.

#### ***d.3.2.3. Tercer prototipo***

En este prototipo a diferencia del segundo se colocó la bobina fija y se dejan los imanes en la parte móvil, solucionando así el inconveniente de los cables en movimiento del

devanado, se mantiene también el número de ciclos por minuto del prototipo anterior y se mejora además la precisión del movimiento alternativo. Las mejoras del prototipo tres se muestran en la Figura 19.

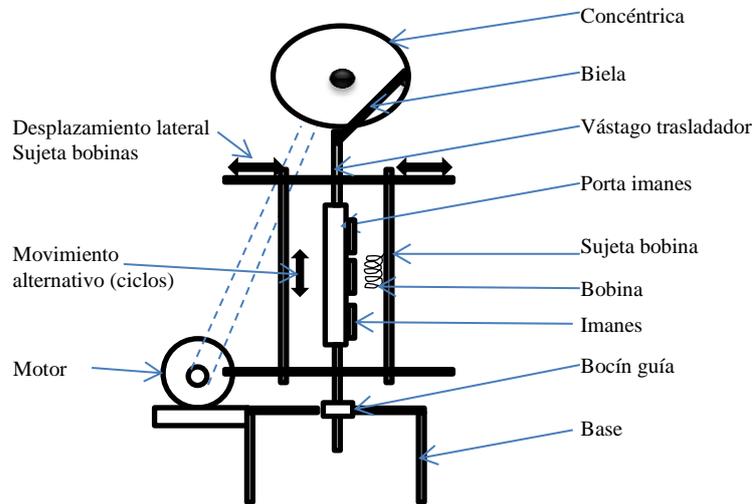


Figura 19. Tercer prototipo, imanes móviles.

FUENTE: El autor

Las pruebas se realizan con una bobina tipo toroide y tres imanes

Se experimenta con:

- Bobina de 225 espiras, sección de conductor #26, con núcleo de aire, hierro y laminado.
- Bobina de 225 espiras, sección de conductor #24, con núcleo de aire, hierro y laminado.
- 180 ciclos por minuto
- 2 mm de separación entre imanes y bobina.
- Los imanes se ubican alternando su polaridad magnética (N-S-N).

Se utiliza una bobina con más número de vueltas, para disminuir la resistencia interna de la bobina. La Tabla 5 muestra los resultados de las pruebas obtenidas con los cambios realizados en este prototipo.

Tabla 5. Pruebas del tercer prototipo.

Ítem	Nro. Vueltas	Nro. Cable	Nro. Cpm	Voltaje (v)	Observación
<b>Prueba 1</b>	225	24	180	0	Núcleo de aire
<b>Prueba 2</b>	225	24	180	0	Núcleo de hierro
<b>Prueba 3</b>	225	24	180	0	Núcleo laminado
<b>Prueba 4</b>	225	26	180	0.1	Núcleo de aire
<b>Prueba 5</b>	225	26	180	0.15	Núcleo de hierro
<b>Prueba 6</b>	225	26	180	0.15	Núcleo laminado

FUENTE: El autor.

Con las pruebas de este prototipo se logra generar voltaje, en las pruebas 4, 5 y 6, con el cable de menor sección del conductor.

#### *d.3.2.4. Cuarto prototipo*

Una vez que se ha generado voltaje en el prototipo anterior, en el cuarto prototipo se aumenta el campo magnético para la bobina, no variando el tamaño del imán sino ubicando el mismo juego de imanes en ambos lados de las bobinas. También se aumenta el número de ciclos por minuto a 300 cpm, utilizando el promedio entre 100 y 500 rpm a los que funcionan los aerogeneradores de eje vertical.

Se construye el prototipo de tal manera que los imanes se ubiquen en ambos lados de las bobinas y estas queden en movimiento. La Figura 20 muestra la mejora del prototipo cuatro.

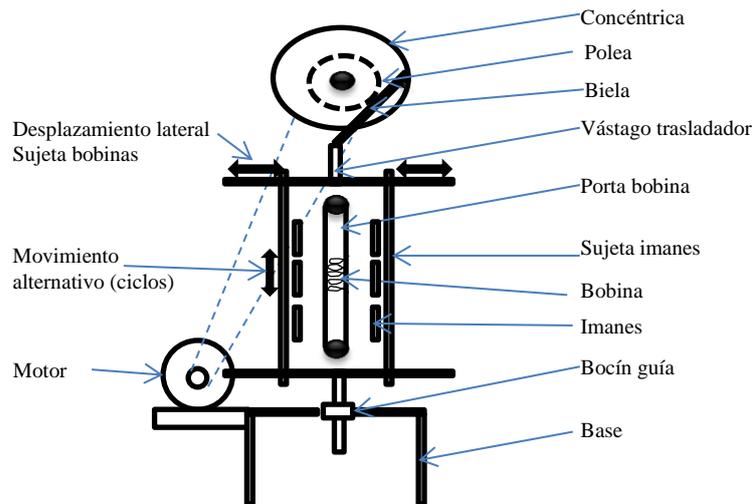


Figura 20. Cuarto Prototipo doble campo, imanes móviles

FUENTE: El autor

Las pruebas se realizan con una bobina tipo toroide y tres pares de imanes

Se experimenta con:

- Bobina de 225 espiras, sección de conductor #26, con núcleo de aire, hierro y laminado.
- 310 ciclos por minuto
- 2 mm de separación entre imanes y bobina.
- Los imanes se ubican alternando su polaridad magnética (N-S-N) frente a (S-N-S) y (S-S-S) frente a (N-N-N)

Se utilizan las bobinas con las que se obtuvo resultados de voltaje en el prototipo anterior, en estas pruebas se combina el campo magnético que se adicionó.

La Tabla 6 muestra los resultados que se obtienen con las pruebas realizadas en el prototipo cuatro.

Tabla 6. Pruebas del Cuarto prototipo.

Ítem	Nro. Vueltas	Nro. Cable	Nro. Cpm	Voltaje (v)	Observación
<b>Prueba 1</b>	225	26	310	0.33	Núcleo de aire, imanes (N-S-N) (S-N-S)
<b>Prueba 2</b>	225	26	310	0.49	Núcleo de hierro, imanes (N-S-N) (S-N-S)
<b>Prueba 3</b>	225	26	310	0.51	Núcleo laminado, imanes (N-S-N) (S-N-S)
<b>Prueba 4</b>	225	26	310	0.17	Núcleo de aire, imanes (S-S-S) (N-N-N)
<b>Prueba 5</b>	225	26	310	0.25	Núcleo de hierro, imanes (S-S-S) (N-N-N)
<b>Prueba 6</b>	225	26	310	0.27	Núcleo laminado, imanes (S-S-S) (N-N-N)

FUENTE: El autor.

Con este prototipo se obtienen mejores resultados respecto a los prototipos anteriores, las tres primeras pruebas de este prototipo son las más exitosas con los imanes colocados de forma alternada (N-S-N) frente a (S-N-S), al ubicar los imanes de esta manera se aumenta el campo magnético. El aumento de ciclos por minuto también influye para obtener mejores valores de tensión. Se destaca la bobina con núcleo laminado en la prueba tres, donde se obtiene 0.51 V, siendo el mejor resultado de las pruebas realizadas.

#### *d.3.2.5. Quinto prototipo.*

Con el fin de aumentar el valor de la tensión, aprovechando el mismo movimiento, se añade dos bobinas de las mismas características. En las pruebas se varía el tipo de conexión para definir con cuál se obtiene el mejor resultado de Voltaje.

Se mantienen los imanes y el número de revoluciones del prototipo anterior. La Figura 21 muestra las modificaciones del prototipo cinco.

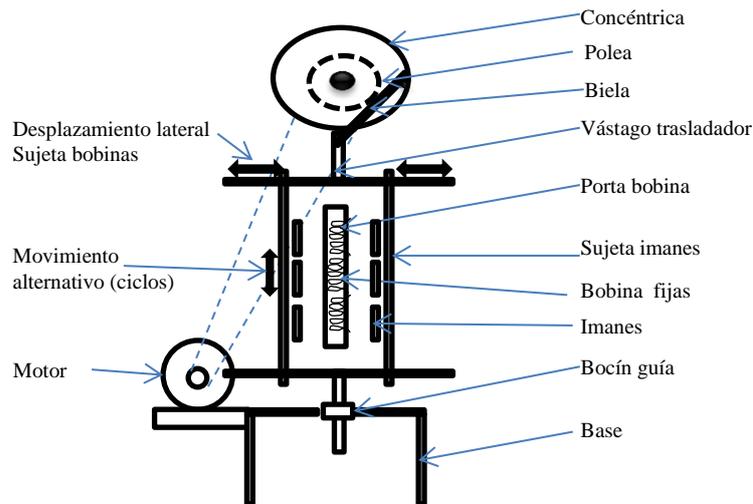


Figura 21. Quinto prototipo, tres juegos de bobinas.

FUENTE: El autor

Las pruebas se realizan con tres bobinas tipo toroide y tres pares de imanes

Se experimenta con:

- Bobina de 225 espiras, sección de conductor #28, con núcleo de aire, hierro y laminado.
- 310 ciclos por minuto
- 2 mm de separación entre imanes y bobina.
- Los imanes se ubican alternando su polaridad magnética (N-S-N) frente a (S-N-S) y (S-S-S) frente a (N-N-N)

Las conexiones de las bobinas se las realizan en serie y paralelo, además de variar las conexiones de cada bobina, fin (F) con principio (P), principio (P) con fin (F), para cambiar la dirección del enrollado del cable. En la Figura 22 se muestra las combinaciones de conexión de las bobinas con las que se experimenta.

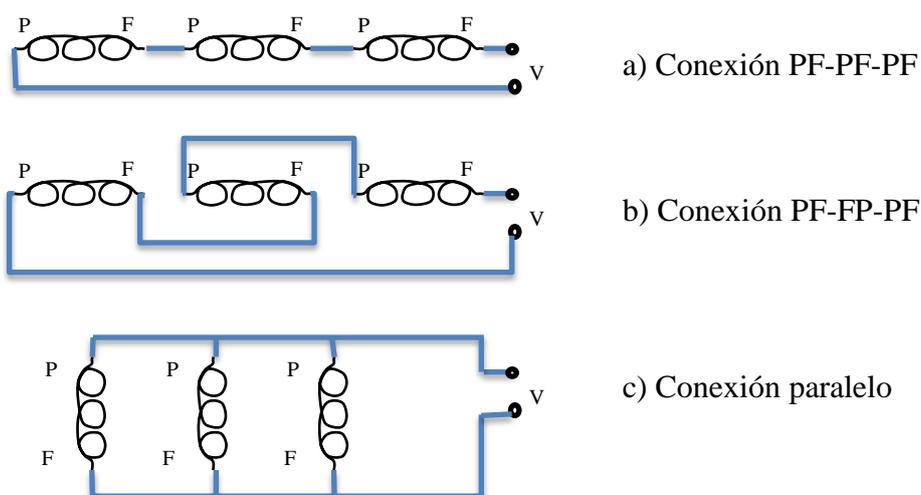


Figura 22. Conexión de las bobinas, en prototipos

Fuente: El autor

El campo magnético permanece de forma alternada (N-S-N) frente a (S-N-S), que fue el mejor resultado obtenido en el prototipo anterior. La Tabla 7 muestra los resultados de las pruebas realizadas del prototipo cinco.

Tabla 7. Pruebas quinto prototipo.

Ítem	Nro. Vueltas	Nro. Cable	Nro. Cpm	Voltaje (v)	Observación
<b>Prueba 1</b>	225	28	310	1.1	Núcleo de hierro, bobinas en serie (PF-FP-PF)
<b>Prueba 2</b>	225	28	310	0.35	Núcleo de hierro, bobinas en serie (PF-PF-PF)
<b>Prueba 3</b>	225	28	310	1.24	Núcleo laminado, bobinas en serie (PF-FP-PF)
<b>Prueba 4</b>	225	28	310	0.41	Núcleo laminado, bobinas en serie (PF-PF-PF)
<b>Prueba 5</b>	225	28	310	0.33	Núcleo de hierro, bobinas en paralelo
<b>Prueba 6</b>	225	28	310	0.38	Núcleo laminado, bobinas en paralelo

FUENTE: El autor.

La instalación de tres bobinas mejora la generación de voltaje utilizando la misma carrera y el mismo juego de imanes, la mejor conexión es en serie (PF-FP-PF) y con bobinas de núcleo laminado. En estas combinaciones en la prueba 3, el voltaje de las bobinas individualmente es: bobina 1 y 3 (0.39v) bobina 2 (0.43v) se nota claramente que la bobina del centro es la que más voltaje produce, esto se debe que en todo momento está rodeada por campo magnético a diferencia de las dos bobinas de los extremos, que hay un instante en el que se quedan sin campo magnético.

**d.3.2.6. Sexto prototipo.**

En esta prototipo se cambia el bobinado y se aumenta el número de vueltas, se mejora el núcleo magnético, se utiliza la conexión en serie (PF-FP-PF) y (PF-PF-PF) que fue el mejor resultado de las pruebas de los prototipos anteriores, se mantiene constante las combinaciones de los imanes del prototipo cinco.

Además se cambia la simulación del movimiento alternativo de biela manivela a yugo escoces para no tener pandeo ni vibración. La Figura 23 muestra las mejoras del prototipo seis.

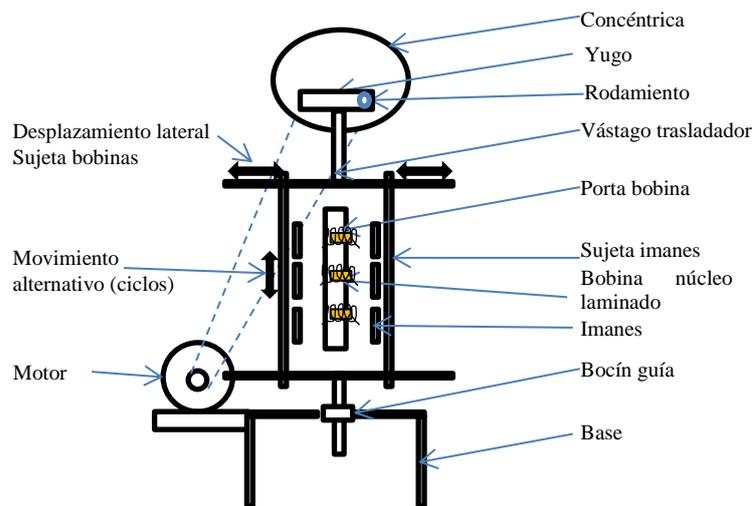


Figura 23. Prototipo seis, núcleo laminado, movimiento con yugo escoces

FUENTE: El autor

Las pruebas se realizan con tres bobinas tipo toroide de núcleo laminado y tres pares de imanes

Se experimenta con:

- Bobina de 1160 espiras, sección de conductor #34, con núcleo laminado.
- Bobina de 1000 espiras, sección de conductor #30, con núcleo laminado.
- 310 ciclos por minuto
- 2 mm de separación entre imanes y bobina.
- Los imanes se ubican alternando su polaridad magnética (N-S-N) frente (S-N-S)

Para las pruebas en este prototipo se aumenta el número de vueltas, se reduce el calibre del conductor y se instala el núcleo laminado. El núcleo es de tipo E construido de manera artesanal, y el calibre del conductor se coloca uno más fino con el fin aumentar el voltaje. Se prueba también con la ubicación de las bobinas con respecto al imán, se las ubica de manera que las vueltas queden perpendiculares o paralelas al campo magnético. La Tabla 8 muestra los resultados de las pruebas del prototipo seis.

Tabla 8. Pruebas sexto prototipo

Ítem	Nro. Vueltas	Nro. Cable	Nro. Cpm	Voltaje (v)	Observación
<b>Prueba 1</b>	1160	34	310	5.1	Núcleo de laminado, bobinas en serie (PF-FP-PF) frente al imán
<b>Prueba 2</b>	1160	34	310	2	Núcleo de laminado, bobinas en serie (PF-PF-PF) frente al imán
<b>Prueba 3</b>	1160	34	310	1.22	Núcleo de laminado, bobinas en serie (PF-FP-PF) lateral al imán
<b>Prueba 4</b>	1160	34	310	0.4	Núcleo de laminado, bobinas en serie (PF-PF-PF) lateral al imán
<b>Prueba 5</b>	1000	30	310	3.6	Núcleo de laminado, bobinas en serie (PF-FP-PF) frente al imán
<b>Prueba 6</b>	1000	30	310	1.3	Núcleo de laminado, bobinas en serie (PF-PF-PF) frente al imán
<b>Prueba 7</b>	1000	30	310	0.97	Núcleo de laminado, bobinas en serie (PF-FP-PF) lateral al imán
<b>Prueba 8</b>	1000	30	310	0.41	Núcleo de laminado, bobinas en serie (PF-PF-PF) lateral al imán

FUENTE: El autor.

En este prototipo se obtienen los mejores resultados en las diferentes pruebas de los seis prototipos. Se resalta los resultados de las pruebas uno (1160 vueltas) y cinco (1000 vueltas) que son los valores de voltaje más altos, ambos están con sus bobinas conectadas en serie con la combinación (PF-FP-PF).

Los valores de voltaje fueron medidos con un multímetro de precisión, por esta razón a los dos mejores resultados se los verifica en el osciloscopio para constatar los datos y ver las curvas de forma de onda del voltaje.

#### ***d.3.2.6.1. Verificación prototipo seis.***

Se lleva al osciloscopio a los dos mejores resultados de las pruebas realizadas en los seis prototipos. La verificación se la realizó en el osciloscopio BK PRECISION 2542, del laboratorio de electrónica del AEIRNNR de la Universidad Nacional de Loja. La Figura 24 muestra el osciloscopio con el que se realizó las pruebas.



Figura 24. Fotografía, Osciloscopio bk precisión del AEIRNNR de la UNL

Fuente: El autor.

Los resultados obtenidos en el osciloscopio se presentan a continuación:

### ***Prueba 1 de prototipo 6***

Tiene un bobinado de 1160 vueltas, calibre de conductor # 34, las bobinas conectadas en serie (PF-FP-PF), núcleo laminado tipo E, tres pares de imanes colocados alternadamente (N-S-N) (S-N-S) y una carrera de 80 mm.

La Figura 25 muestra la curva de voltaje con respecto al tiempo de la bobina uno del prototipo 6, muestra que hay perturbaciones cuando el ciclo termina y comienza el otro, en este instante la bobina se queda con campo magnético mínimo por el cambio de sentido del movimiento.

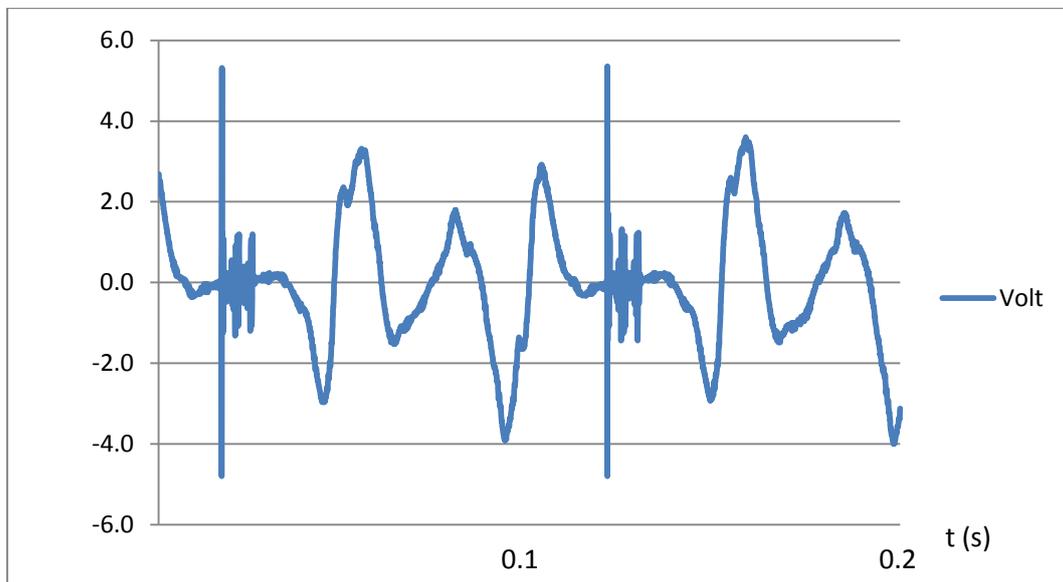


Figura 25. Curva obtenida de osciloscopio. (Bobina uno, prueba 1)

Fuente: El autor.

La Figura 26, muestra la curva de voltaje respecto del tiempo de las tres bobinas conectadas en serie (PF-FP-PF), con un voltaje pico a pico de 7 V, la curva ya da una idea del circuito rectificador que se usará para la carga de las baterías.

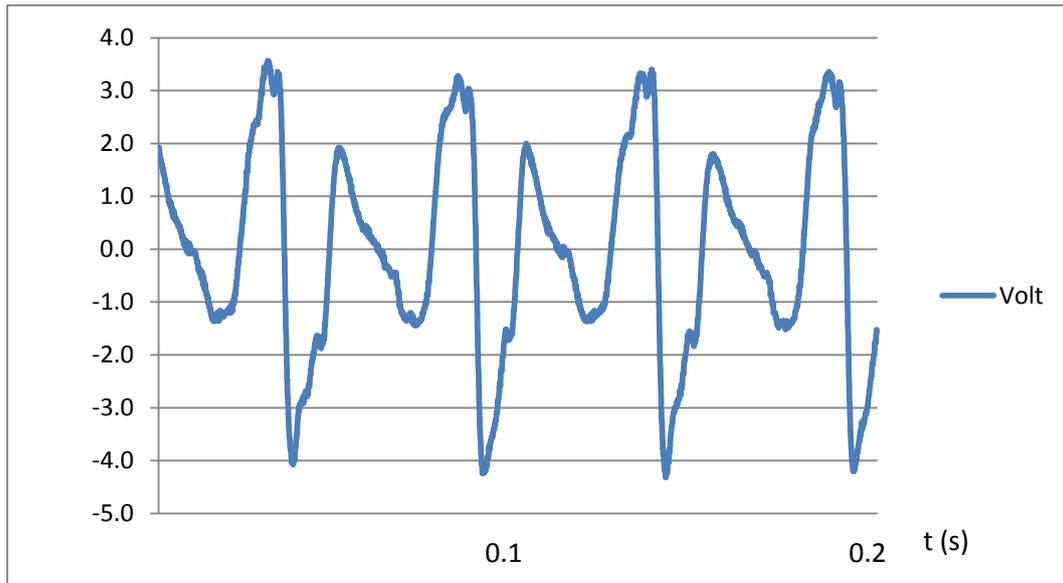


Figura 26. Curva obtenida de osciloscopio. (Tres bobinas, prueba 1, prototipo 6)

Fuente: El autor.

#### *Prueba 5 de prototipo 6*

Tiene un bobinado de 1000 vueltas, calibre de conductor # 30, las bobinas conectadas en serie (PF-FP-PF), núcleo laminado tipo E, tres pares de imanes colocados alternadamente (N-S-N) (S-N-S) y una carrera de 80 mm.

La Figura 27 muestra la curva de voltaje con respecto al tiempo de la bobina 2, de la prueba 5. El voltaje pico a pico obtenido es de 7 voltios.

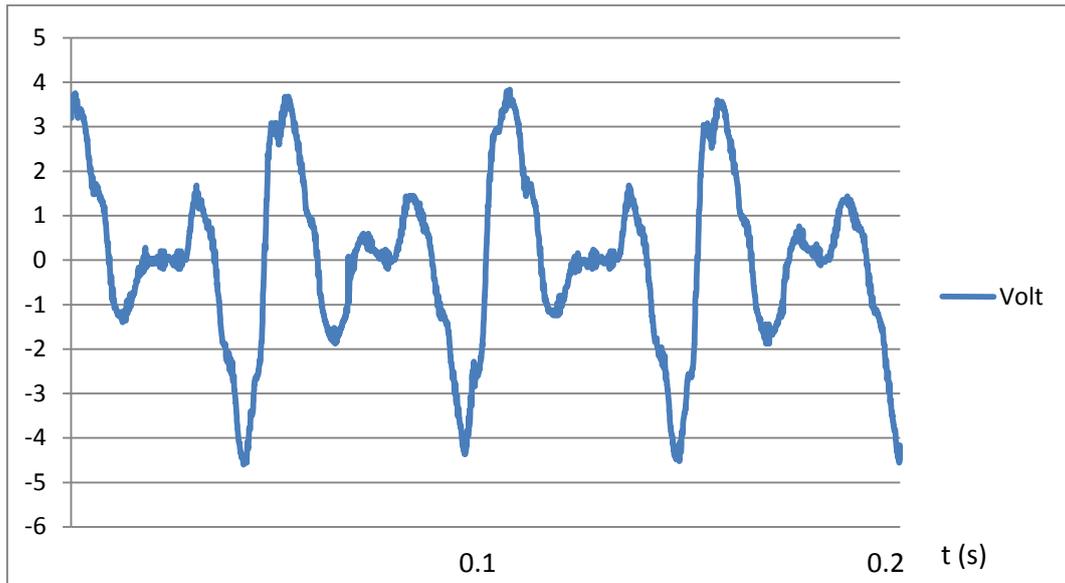


Figura 27. Curva obtenida de osciloscopio. (Bobina dos, prueba 5, prototipo 6)

Fuente: El autor.

La Figura 28 muestra la curva de cada una de las tres bobinas más la curva de la sumatoria del voltaje de las tres bobinas conectadas en serie, la curva de voltaje total tiene una semejanza a una sinusoide normal.

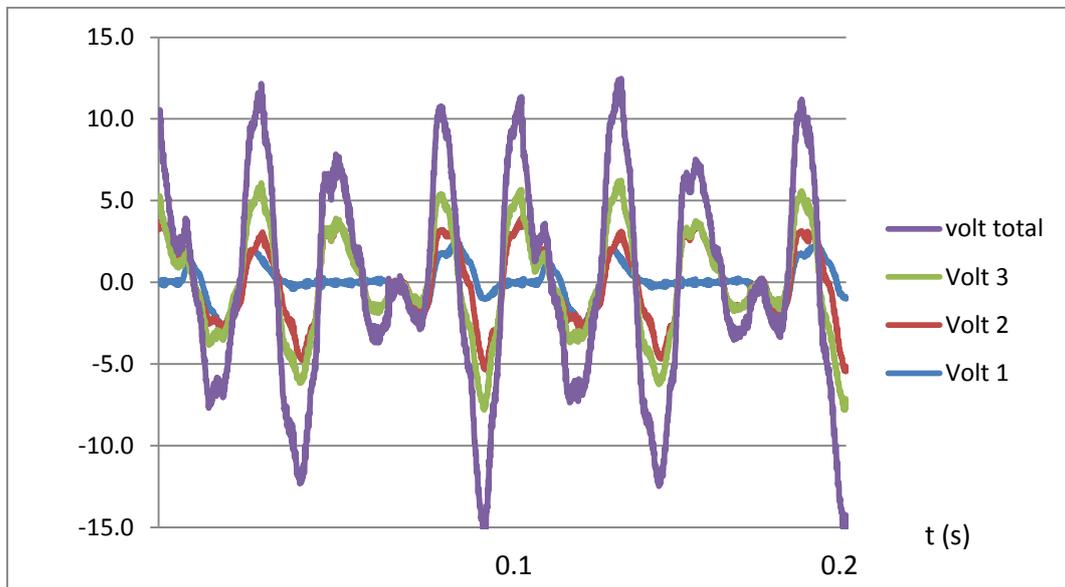


Figura 28. Curva obtenida de osciloscopio. (Tres bobinas, prueba 5, prototipo 6)

Fuente: El autor.

Con estos resultados de voltaje obtenidos en la prueba 5 del prototipo 6, son un punto de partida para diseñar el prototipo final del generador de imanes permanentes con movimiento alternativo.

En el capítulo siguiente contrastaremos la información experimental de las variables con elementos teóricos para definir el funcionamiento del generador lineal con imanes permanentes.

#### d.4. CAPÍTULO IV. Diseño y dimensionamiento del generador.

A partir de los dos mejores resultados de las pruebas realizadas en los seis prototipos, se realiza la construcción final de generador.

Para el diseño final se define una carrera de 80 mm, bobina con núcleo laminado, conductor de la bobina #30 AWG, 1000 espiras en cada bobina y campo magnético producido por imanes permanentes.

##### d.4.1. Movimiento

Se considera para nuestro proyecto en ciclos, entendiéndose como ciclo una subida y bajada completa del vástago. La Figura 29 muestra un ciclo completo del vástago, se fija el recorrido que realiza el vástago al bajar completamente y luego regresa a su posición inicial.

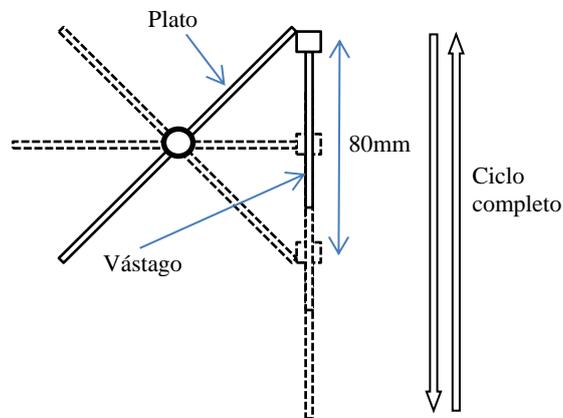


Figura 29. Ciclo del generador

Fuente: El autor.

##### d.4.2. Generación.

Para la generación de voltaje se considera el campo magnético, el bobinado, el núcleo de las bobinas,

#### *d.4.2.1. Campo magnético*

El campo magnético que se va aplicar en el generador lineal está dado por los imanes permanentes. Se seleccionan los de mejores características de acuerdo a las necesidades que presenta el generador lineal.

El imán se selecciona de tal manera que sus dimensiones cubran en lo posible el tamaño de la bobina de núcleo laminado, las características y dimensiones del imán seleccionado se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Hoja Técnica Imán

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>
Dimensiones:	30 mmx 20mm x 10mm de espesor
Tolerancias:	$\pm 0.1\text{mmx} \pm 0,1\text{mmx} \pm 0.1\text{mm}$
Materiales:	Nd Fe B, grado N52
Revestimiento / Revestimiento:	Ni-Cu-Ni (níquel)
Magnetización Dirección:	A través del Espesor
Peso:	1,63 oz (46,1 g)
Tire de la fuerza, en el Caso 1:	52.78 lb
Tire de la fuerza, el Caso 2:	72.16 lb
Campo Superficie	5336 Gauss
Max Temperatura de funcionamiento	176 ° F (80 ° C)
<b>Br Max:</b>	14800 Gauss

Fuente: <http://www.kjmagnetics.com/specs.asp>

El tire de la fuerza en el caso 1, está considerado si el imán esta adherido a una placa de acero y el caso 2 considera al imán entre dos placas de acero. Según el proveedor de los imanes se entiende a tire como la fuerza con la que se adhiere el imán a las placas.

La Figura 30 muestra el campo magnético producido por el imán seleccionado, según los datos del fabricante. (k&J Magnetics, 2012)

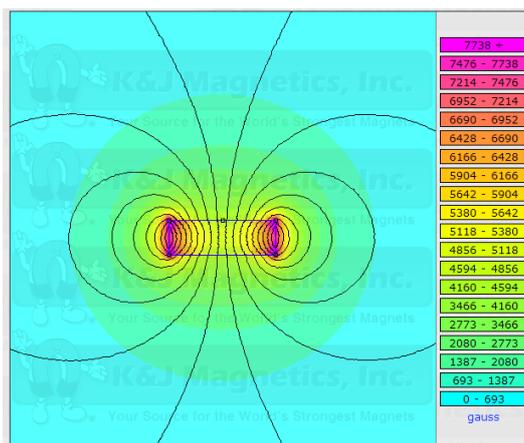


Figura 30. Visualización del campo magnético, imán en espacio libre

Fuente: (k&J Magnetics, 2012)

En (k&J Magnetics, 2012) se expresa que los imanes de neodimio también sufren desmagnetización cuando son sometidos a altas temperaturas y no pueden regresar a su capacidad original.

La Curva de desmagnetización de los imanes de neodimio N52 se muestra en la Figura 31.

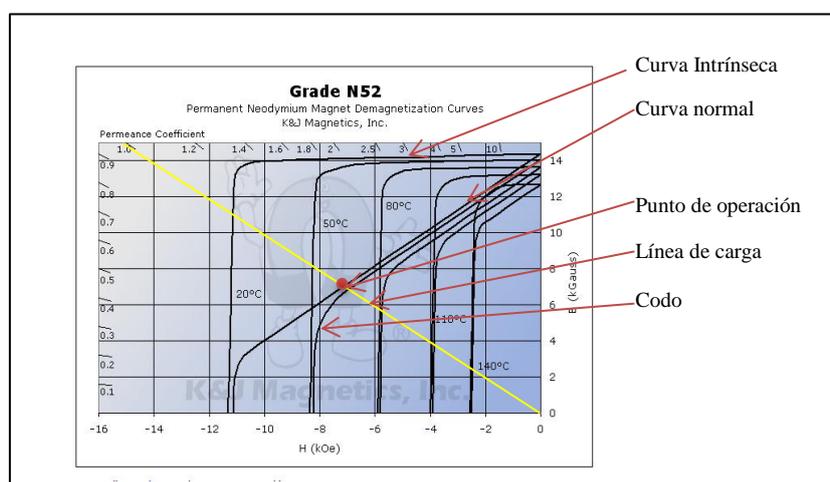


Figura 31. Curva de desmagnetización imanes N52

Fuente: (k&J Magnetics, 2012)

El coeficiente de permeabilidad del imán seleccionado es 0,98, con este dato trazamos una línea desde el origen al punto de permeabilidad, esta es la línea de carga. Con la

línea de carga podemos encontrar el punto de funcionamiento normal del imán a 20°C, que es el punto rojo en la línea de carga que cruza la curva normal. A 80 °C, el punto de funcionamiento sería correcto en el codo de la curva normal. Por lo tanto, 80 °C es la máxima temperatura de operación, este procedimiento se muestra en la Figura 31.

#### ***d.4.2.2. Bobina con núcleo laminado***

Una vez seleccionado el núcleo, los datos físicos obtenidos, área de ventana  $A_w$ , área transversal  $A_c$  y longitud por vuelta promedio ( $MLT$ ) permiten resolver las ecuaciones para determinar el número de vueltas y energía almacenada en caso de un inductor. (Carrillo Dias, 2004)

En (Carrillo Dias, 2004) se establece las relaciones que existe del producto de áreas (área de ventana por área efectiva del núcleo) con diferentes variables del diseño en particular. Esto permite escoger un núcleo en base a las propiedades de los materiales, las características de potencia requeridas y las especificaciones del diseño; utilizando la información otorgada por los fabricantes del núcleo.

Restricciones de diseño

- a) Definimos la dimensión del núcleo Figura 32, que es núcleo fabricado en acero al silicio de alta resistividad, además por el costo y la dificultad de la manufactura para realizar las láminas.
- b) El número de vueltas de la bobina lo determinamos del mejor resultado del prototipo seis, quedando 1000vueltas, cable AWG # 30 de cobre esmaltado.

En (Carrillo Dias, 2004) se propone el cálculo de la bobina partiendo de las dimensiones del núcleo y datos de las espiras, este proceso de cálculo se lo expresa a continuación:

En la Figura 32 se muestra las características del núcleo de la bobina seleccionado.

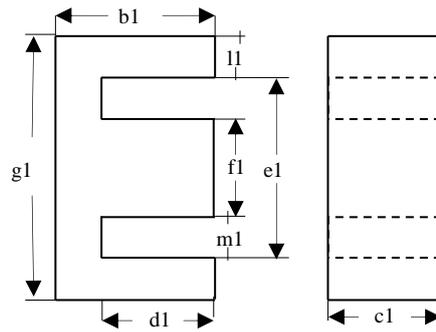


Figura 32. Dimensiones del núcleo, vista frontal y vista lateral

Fuente: El autor.

*Datos del núcleo. Figura 32*

$$f_1 = 13 \text{ mm}$$

$$c_1 = 15 \text{ mm}$$

$$d_1 = 15 \text{ mm}$$

$$e_1 = 24 \text{ mm}$$

$$b_1 = 21 \text{ mm}$$

$$g_1 = 35 \text{ mm}$$

$$m_1 = 5.5 \text{ mm}$$

$$l_1 = 5.5 \text{ mm}$$

*Datos*

$$Nv = 1000$$

Número de vueltas de la bobina

$$\rho = 0.0171 \frac{\Omega m^2}{m}$$

Resistividad del cobre

$$lc = 65.5 \text{ m}$$

Longitud del conductor

$$J_i = 4.5 \frac{A}{mm^2}$$

Densidad de corriente valor recomendado

$$\mu_r = 7000$$

Permeabilidad relativa de Núcleo laminado

$$\mu_o = 1.16 * 10^{-6} \frac{Tm}{A}$$

Permeabilidad del aire

El valor de  $J_i$  densidad de corriente, es un valor recomendado por el autor. (Carrillo Dias, 2004 pág. 64)

*Datos de conductor AWG nro. 30*

$D_c = 0.253 \text{ mm}$	Diámetro del conductor
$S_c = 0.04 \text{ mm}^2$	Sección del conductor
$R_c = 3.3 * 10^{-3} \frac{\Omega}{\text{cm}}$	Resistencia por unidad de longitud
$I_{rms} = 0.15 \text{ A}$	Intensidad Nominal del conductor

Calculamos las distintas áreas que forman parte del núcleo.

*d.4.2.2.1. Cálculo del área de flujo transversal ( $A_c$ )*

$$A_c = f_1 * c_1 \tag{Ec. 1}$$
$$A_c = 1.95 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

*d.4.2.2.2. Cálculo de Área Ventana ( $A_w$ )*

$$A_w = d_1 * (e_1 - f_1) \tag{Ec. 2}$$
$$A_w = 1.65 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

*d.4.2.2.3. Cálculo de Área de flujo horizontal ( $A_f$ )*

$$A_f = c_1 * (b_1 - d_1) \tag{Ec. 3}$$
$$A_w = 9 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

*d.4.2.2.4. Cálculo de longitud de flujo vertical ( $l_v$ )*

$$l_v = 2b_1 - (b_1 - d_1) \tag{Ec. 4}$$
$$l_v = 0.036 \text{ m}$$

d.4.2.2.5. Cálculo de longitud de flujo horizontal ( $lh$ )

$$lh = \frac{(g1-l1)}{2} \quad (\text{Ec. 5})$$
$$lh = 0.015 \text{ m}$$

d.4.2.2.6. Cálculo de longitud de vuelta promedio ( $MLT$ )

$$MLT = \frac{lc}{Nv} \quad (\text{Ec. 6})$$
$$MLT = 0.066 \text{ m}$$

La Figura 33, muestra las longitudes y áreas donde incie el flujo magnético. Circuito magnético en el núcleo.

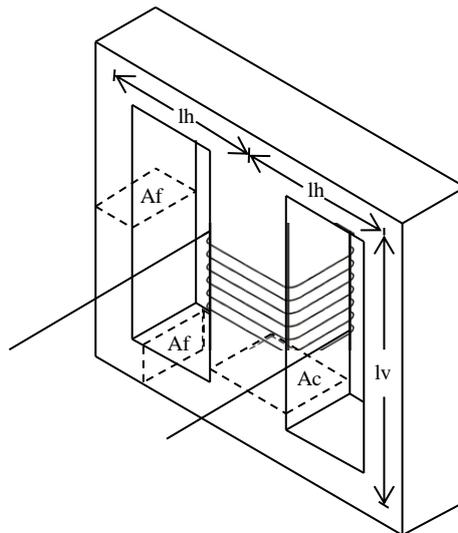


Figura 33. Áreas y longitudes del núcleo. Circuito magnético

Fuente: El autor.

d.4.2.2.7. Cálculo de la permeabilidad del núcleo ( $\mu_c$ )

$$\mu_c = \mu_r * \mu_o \quad (\text{Ec. 7})$$
$$\mu_c = 8.12 * 10^{-3} \frac{\text{m.kg}}{\text{A}^2 \text{s}^2}$$

#### d.4.2.2.8. Obtención de la frecuencia ( $f$ )

Para obtener la frecuencia se utiliza el osciloscopio, se obtiene los valores de nro.div (número de divisiones de la curva de voltaje), time.div (divisiones de tiempo que se da la curva) y T el periodo.

*Datos:*

$$nro.div = 6$$

$$time.div = 0.2ms$$

$$T = 0.2s$$

$$f = \frac{nro.div * time.div}{T} \quad (Ec. 8)$$
$$f = 64.24 \text{ Hz}$$

(Carrillo Dias, 2004 pág. 20) Establece que a partir del circuito magnético, resulta posible obtener la inductancia de una bobina realizada a partir de un determinado núcleo, como el que muestra la Figura 33.

#### d.4.2.2.9. Cálculo de la inductancia ( $L$ )

$$L = \frac{2 * A_c * A_f * \mu_c * N^2}{2 * A_f * l_v + A_c (l_v + 2l_b)} \quad (Ec. 9)$$
$$L = 14.804 \text{ mH}$$

#### d.4.2.2.10. Cálculo de la resistencia inductiva ( $X_L$ )

$$X_L = 2 * \pi * f * L \quad (Ec. 10)$$
$$X_L = 5.973 \Omega$$

*d.4.2.2.11. Cálculo del entrehierro ( $l_g$ )*

$$l_g = \frac{0.4 * \pi * N v^2 * A_c * 10^{-8}}{L} \quad (\text{Ec. 11})$$
$$l_g = 1.655 * 10^{-7} \text{ m}$$

*d.4.2.2.12. Cálculo del Flujo magnético ( $B_m$ )*

$$B_m = \frac{0.4 * \pi * I_{rms} * 10^{-4}}{l_g} \quad (\text{Ec. 12})$$
$$B_m = 113.876 \text{ T}$$

*d.4.2.2.13. Cálculo de Resistencia por vueltas ( $R_v$ )*

$$R_v = MLT * R_c \quad (\text{Ec. 13})$$
$$R_v = 0.022 \Omega$$

*d.4.2.2.14. Cálculo de Resistencia de Bobina ( $R$ )*

$$R = \rho \frac{l_c}{S_c} \quad (\text{Ec. 14})$$
$$R = 28.001 \Omega$$

*d.4.2.2.15. Cálculo de Pérdidas en el cobre ( $P_{cu}$ )*

$$P_{cu} = I_{rms}^2 * R_v \quad (\text{Ec. 15})$$
$$P_{cv} = 4.863 * 10^{-4} \text{ W}$$

*d.4.2.2.16. Cálculo de Energía almacenada en inductor ( $E$ )*

Según la ecuación de Maxwell.

$$E = \frac{I_{rms}^2 * L}{2} \quad (\text{Ec. 16})$$

$$E = 0.167 J$$

#### d.4.2.3. Valor medio y valor eficaz

De la forma de onda de voltaje se calcula el valor medio y valor eficaz, para definir el valor real de voltaje a rectificar y la cantidad de bobinas necesarias para poder cargar una batería.

##### d.4.2.3.1. Valor medio (Vm)

Se define el valor medio de una forma de onda o señal como la media de todos los valores que define dicha onda. La suma de todos los valores de onda es el área encerrada bajo la curva entre dos puntos. (Hernandez, 2007)

Para el cálculo del valor medio de tensión de la forma onda se toma un periodo de 0.2s. Tomando en cuenta la complejidad de la onda de voltaje del generador lineal se resuelve el valor medio con el método de Thomas Simpson. (Álvarez, y otros, 2004)

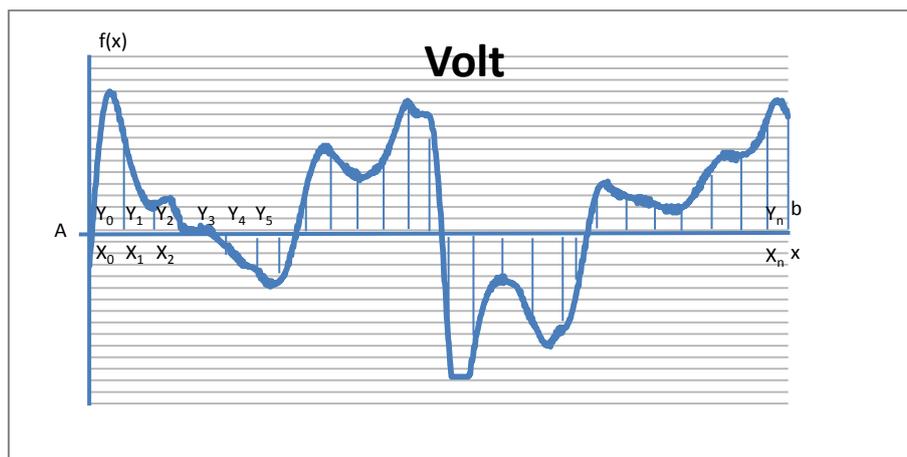


Figura 34. Periodo de voltaje. Para estudio con método de T. Simpson

Fuente: El autor.

El teorema de Thomas Simpson nos da la expresión:

$$Vm * T = \int_a^b f(x)dx \approx \frac{1}{3}h(E + 4I + 2P) \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

$h$  Paso, intervalo en que se divide las ordenadas.

$E = Y_0 + Y_n$  Suma de ordenadas en los extremos

$I = Y_1 + Y_3 + \dots + Y_{n-1}$  Suma de ordenadas de índice impar

$P = Y_2 + Y_4 + \dots + Y_{n-2}$  Suma de ordenadas de índice par

Considerando que el número de intervalos que se realiza para hacer el cálculo es grande, debido a que la curva de voltaje dada por el osciloscopio está dividida en 2000 partes, se utiliza presenta los resultados de las variables E, I, P. La Tabla 10 indica los resultados obtenidos del cálculo.

Tabla 10. Cálculo de variables teorema de T. Simpson

<i>Intervalo</i>		<i>Divisiones</i>	<i>Paso</i>
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>h</i>
0,00000	0,20000	2000,00	0,00010
<i>Sumatorias</i>			
<i>Extremos</i>	<i>Impares</i>	<i>Pares</i>	
13,00	2959,2	2953,2	
<b>RESULTADO</b>			
(h/3)*(E+4I+2P)			
0,5919			

FUENTE: El autor.

De la (Ec. 17) se resuelve:

$$Vm * T = \frac{1}{3} 0.0001(13 + 4(2959.2) + 2953.2)$$

$$Vm = \frac{0.5919Vs}{0.2s}$$

$$Vm = 2.9595V \approx 3V$$

#### **d.4.2.3.2. Valor eficaz ( $V_{efi}$ )**

Valor efectivo o RMS (Root Mean Square) raíz media cuadrática es el valor de voltaje o corriente alterna que produce el mismo efecto de disipación de calor que su equivalente de voltaje o corriente, en corriente continua sobre una misma resistencia. (Hernandez, 2007)

El autor propone tres métodos de cálculo del valor eficaz, se decidió resolver por método de integración de áreas, considerando la complejidad de la ecuación de la curva de voltaje y que el método de cálculo propuesto por el autor es valedero y aproximado a los valores reales.

Para el cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$V_{efi} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} \tag{Ec. 18}$$

Se descompone la forma de onda en áreas rectangulares para obtener el valor de voltaje y el intervalo de tiempo respectivo de cada área, como muestra en la Figura 35.

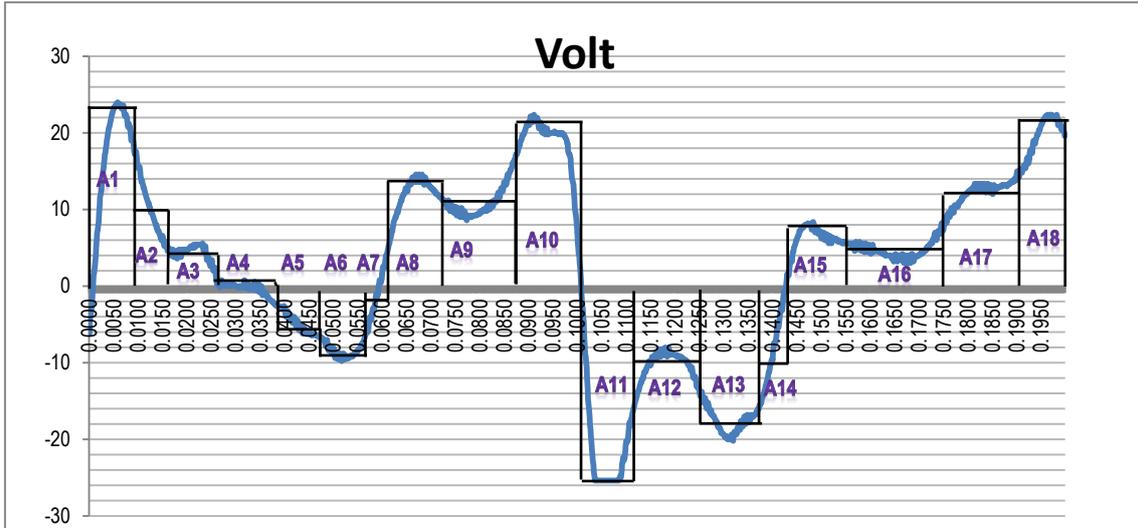


Figura 35. Forma de onda descompuesta en áreas rectangulares.

Fuente: El autor.

Los datos obtenidos de la descomposición en áreas de la curva, se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Datos de la descomposición de curva de voltaje. Cálculo de valor eficaz.

Ítem voltaje	Voltaje (V)	Ítem tiempo	Intervalo	Ítem voltaje	Voltaje (V)	Ítem tiempo	Intervalo
V1	23.8	T1	0.01	V10	22	T10	0.1
V2	9	T2	0.0165	V11	24.5	T11	0.1122
V3	4.5	T3	0.0264	V12	9.5	T12	0.125
V4	1	T4	0.0396	V13	18	T13	0.138
V5	-6	T5	0.0462	V14	9	T14	0.144
V6	10.5	T6	0.0561	V15	8	T15	0.155
V7	2	T7	0.06277	V16	5	T16	0.1749
V8	15	T8	0.0726	V17	14.5	T17	0.1914
V9	9.5	T9	0.0858	V18	22	T18	0.2

FUENTE. El autor

Resolviendo la (Ec. 18) tenemos:

$$V_{efi} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt}$$

$$V_{efi} = 3.2 V$$

#### ***d.4.2.3.3. Cálculo de resistencia total (Rt) del bobinado***

Se calcula el valor de la resistencia de las bobinas conectadas en serie. Las seis bobinas tienen el mismo valor de resistencia.

##### *d.4.2.3.3.1. Cálculo de la resistencia en serie (Rs) del bobinado*

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 \quad (\text{Ec. 19})$$

$$R_{s1} = 168 \Omega$$

$$R_{s1} = R_{s2}$$

##### *d.4.2.3.3.2. Cálculo de la resistencia en paralelo (Rb) del bobinado*

Se calcula el valor de la resistencia con los juegos de bobinas conectadas en paralelo.

$$R_b = \frac{R_{s1} * R_{s2}}{R_{s1} + R_{s2}} \quad (\text{Ec. 20})$$

$$R_b = 86 \Omega$$

Ya con estos valores de resistencia en serie y paralelo más el valor de resistencia inductiva se calcula el valor de la resistencia total.

$$R_t = R_b + X_l \quad (\text{Ec. 21})$$

$$R_t = 89.97 \Omega$$

#### d.4.2.3.4. Cálculo de la Intensidad (I)

$$I = \frac{V}{Rt} \quad (\text{Ec. 22})$$

$$I = 0.15 \text{ A}$$

#### d.4.2.4. Determinación del cos $\varphi$ ( $\cos \varphi$ )

$$\cos \varphi = \frac{Rb}{Z} \quad (\text{Ec. 23})$$

En la Figura 36 se muestra el triángulo de resistencias.

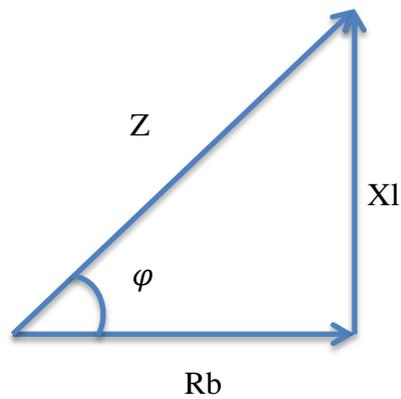


Figura 36. Triángulo de resistencias

Fuente: El autor.

El valor de la resistencia inductiva considerando todo el bobinado  $Xl = 71,64\Omega$

$$Z = \sqrt{Rb^2 + Xl^2}$$

$$Z = \sqrt{86\Omega^2 + 71,64\Omega^2}$$

$$Z = 112 \Omega$$

De la ecuación 23 se tiene:

$$\cos \varphi = \frac{Rb}{Z} = \frac{86\Omega}{112\Omega}$$

$$\cos \varphi = 0,76$$

#### d.4.2.5. Cálculo de potencia (S)

En la Figura 37, se muestra el triángulo de potencias del generador.

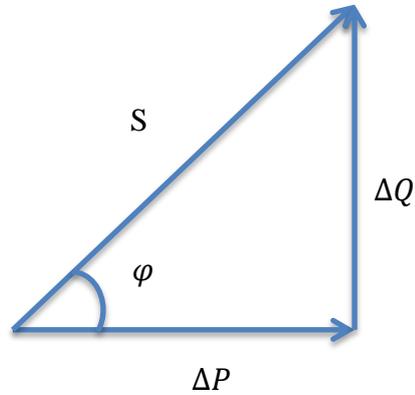


Figura 37. Triángulo de potencias.

Fuente: El autor.

##### d.4.2.5.1.1. Cálculo de la potencia útil ( $\Delta P$ )

$$\Delta P = V * I * \cos \varphi = Rb * I^2 \quad (\text{Ec. 24})$$

$$\Delta P = 86\Omega * (0.15 A)^2$$

$$\Delta P = 1.9 W$$

##### d.4.2.5.1.2. Cálculo de la potencia disipada ( $\Delta Q$ )

$$\Delta Q = V * I * \text{sen } \varphi = Xl * I^2 \quad (\text{Ec. 25})$$

$$\Delta Q = 71.24\Omega * (0.15 A)^2$$

$$\Delta Q = 1.6 VAr$$

Se calcula la potencia total (S)

$$S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2} \quad (\text{Ec. 26})$$

$$S = 2.5 W$$

#### d.4.2.6. Fuerza de accionamiento

Se considera las fuerzas que intervienen en el generador, fuerza producida por el campo magnético, fuerza de rozamiento entre placas, fuerza de rozamiento en bocín y fuerza por el peso de las placas.

La Figura 38, muestra las fuerzas que intervienen en una placa de imanes.

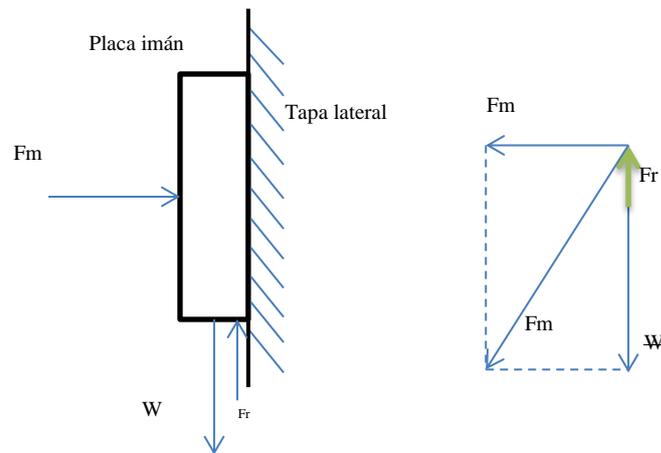


Figura 38. Diagrama de fuerzas

Fuente: El autor.

##### d.4.2.6.1. Fuerza del campo magnético ( $F_m$ )

En (Dols Aznar) se calcula la fuerza del campo magnético con la siguiente expresión:

$$F_m = B * I * l_c \quad (\text{Ec. 27})$$

Dónde:

$B$  Inducción perpendicular al conductor. (T)

$I$  Intensidad del conductor. (A)

$l_c$  Longitud útil del conductor (m)

La inducción del conductor producida por los imanes, se toma el dato dado por el fabricante. En nuestro caso es igual a 0.2856 T. (k&J Magnetics, 2012)

Entonces de la (Ec. 27):

$$Fm = B * I * l = 2.74 N$$

Considerando las seis bobinas que intervienen en una placa porta imanes.

$$Fm = 2.74 N * 6 = 16.45 N$$

El peso de la placa más los imanes es igual a  $400 g = 4.02 N$ .

#### **d.4.2.6.2. Fuerza Rozamiento (Fr)**

De la Figura 38. Encontramos la Fuerza Resultante (Ft).

$$Ft = \sqrt{Fm^2 + W^2} \tag{Ec. 28}$$

$$Ft = 16.9 N$$

##### **d.4.2.6.2.1. Fuerza de rozamiento en aluminio (Fr)**

Se considera un coeficiente de rozamiento  $\mu_{al}$  de Aluminio-Aluminio de 0.47

$$Fr = \mu_{al} * Fm \tag{Ec. 29}$$

$$Fr = 7.96 N$$

##### **d.4.2.6.2.2. Fuerza de rozamiento en bronce (bocín) (Fb)**

En (Serway, y otros, 2008 pág. 128) se considera un coeficiente de rozamiento  $\mu_{br}$  de bronce- Acero de 0.18.

$$Fb = \mu_{br} * Fm \tag{Ec. 30}$$

$$Fb = 3.04 N$$

#### ***d.4.2.6.3. Fuerza total (F)***

La fuerza total es la sumatoria de las fuerzas de las tres placas más la fuerza de rozamiento de las placas y la fuerza de rozamiento en el bocín.

$$F = 3F_t + 3F_r + F_b$$

$$F = 77.62 \text{ N}$$

Para que el generador se ponga en movimiento se tiene que aplicar una fuerza mayor a la Fuerza Total.

$$\text{Fuerza de movimiento} > \text{Fuerza Total}$$

#### ***d.4.2.7. Análisis del vástago***

Se utiliza la Ecuación de Euler para determinar la carga crítica de una columna esbelta de sección transversal uniforme

$$F_{cr} = \frac{C \cdot \pi^2 \cdot E \cdot A}{(L_c/k)^2} \quad (\text{Ec. 31})$$

Dónde:

*C* Constante que depende de las condiciones de los extremos

*E* Módulo de elasticidad ( $\text{kg/cm}^2$ )

*A* Área de la sección transversal ( $\text{cm}^2$ )

*L<sub>c</sub>* Longitud de la columna (cm)

*k* De una sección circular ( $D/4$ )

$$F_{cr} = 1.6 \cdot 10^3 \text{ kg} = 15.6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Comparando con la fuerza a la que estará sometido el vástago:

$$Fcr \gg F$$

$$15.6 * 10^3 N \gg 77.62 N$$

Se determina que el vástago soporta las cargas a la que será sometido.

#### ***d.4.2.8. Ciclo convertidor, banco de baterías e Inversor***

Con este proceso de conversión lo primero que se hace es convertir la corriente alterna que produce el generador de imanes permanentes en corriente directa, con esto se elimina todas las perturbaciones que existen en la onda, además se obtiene el voltaje adecuado para cargar una batería.

El proceso consiste en transformar la corriente alterna en continua para luego almacenar en una batería y después por medio de un inversor generar nuevamente voltaje alterno. Con el inversor se obtiene la tensión y frecuencia deseada, estas magnitudes se las regula para la carga que se vaya a instalar.

La Figura 39, muestra el proceso del ciclo convertidor, banco de baterías e inversor.

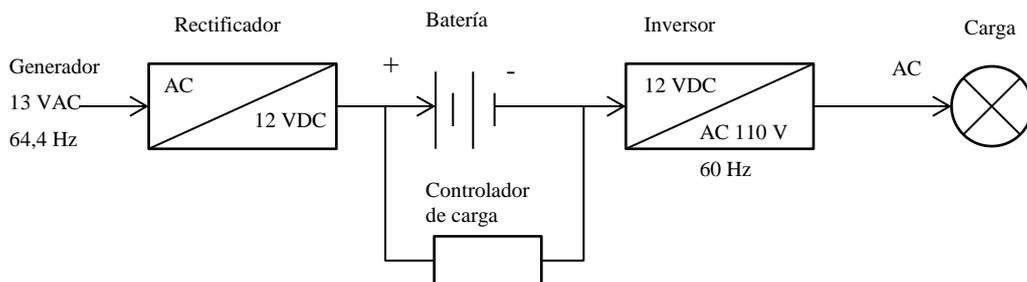


Figura 39. Ciclo convertidor

Fuente: El autor

El esquema eléctrico de la conexión del ciclo convertidor, banco de baterías e inversor se muestra en el anexo 2.

#### d.4.2.9. Rectificación

Para la rectificación de la onda se utiliza un circuito rectificador de onda completa con puente rectificador, y capacitor para eliminar en lo posible el rizo en la salida de voltaje.

El circuito rectificador de onda completa es el tipo más empleado para la conversión de corriente alterna en corriente continua, debido a que con él se obtiene una corriente continua muy parecida a la que proporcionan las pilas o las baterías.

Para el circuito rectificador se utiliza un puente de diodos BR106 y un capacitor de 33000  $\mu\text{f}$ , para realizar una rectificación directa dependiendo de la salida de voltaje que obtengamos del generador.

La Figura 40 muestra el circuito del rectificador de onda completa.

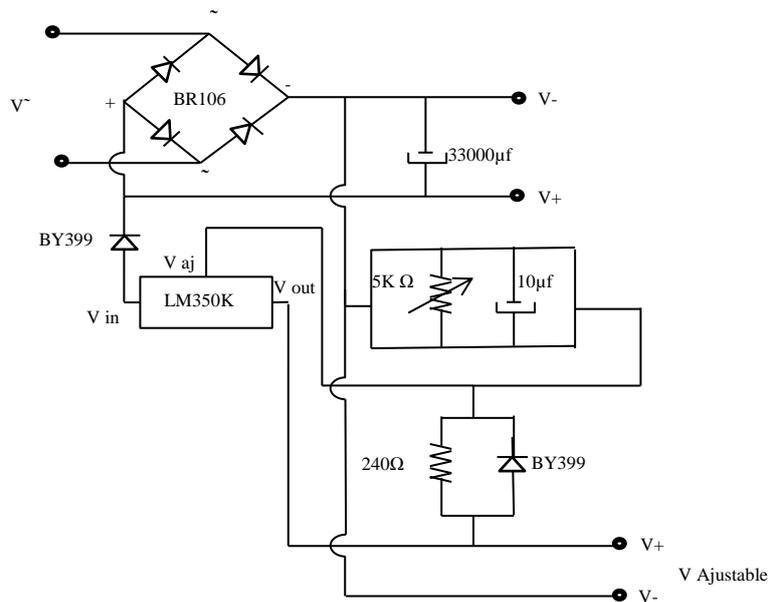


Figura 40. Rectificador de onda

Fuente: El autor.

En el circuito rectificador se adiciona un regulador de voltaje ajustable, para regular la salida del voltaje del generador y dejar fijo para la carga de baterías. Además en el circuito adicionamos un puente LM350K con un potenciómetro que nos permite regular

la salida de voltaje, obteniendo así la salida de voltaje adecuada para poder cargar las baterías.

#### ***d.4.2.10. Carga de Batería***

El voltaje de carga debería ser de entre 13,8 V y 14,4 V a una temperatura de entre 15 y 25 °C. El valor óptimo de la corriente de carga debería ser la décima parte de la capacidad de la batería (ej. 4 A para una batería de 40 Ah) y para cargas “rápidas” como mucho un tercio de la capacidad. Si el voltaje de carga es superior a 2,4 V por célula (en el caso de baterías de 12 V son en total max. 14,4 V) entonces hay peligro de corrosión de la malla, cosa que se puede observar visualmente por la emisión de gases. Por eso la batería no debe cargarse hasta el máximo con corrientes altas. (Connexio220 Enegrías Alternativas, 2013)

Para evitar sobrecarga de la batería se conecta el controlador de carga, que desconecta la batería cuando hay sobre tensión y cuando la carga de la batería es completa.

Se calibra nuestro circuito rectificador de onda para obtener un voltaje que se encuentre entre los valores ideales de carga de la batería.

Se instala también un controlador de carga de baterías para proteger la batería y esta sea cargada únicamente cuando lo necesite.

La batería que se utiliza en el proyecto es una batería de carga lenta:

- Marca: Wuxi Huayan
- Tecnología : Plomo abierto
- Voltaje : 12 V
- Capacidad mínima : 9 Ah
- Dimensión : 135 mm (L) x 75 mm (An) x 139 mm (Al)
- Volumen de ácido: 0.6 L

#### ***d.4.2.11.Inversor***

El inversor entregará nuevamente una onda sinusoidal a 120 V. Seleccionamos un inversor de 350 W, por ser didáctico y porque la potencia que entrega el generador es baja y la carga de batería será lenta.

Características:

- Salida de onda sinusoidal modificada
- Con protecciones de la temperatura
- Control de encendido, apagado
- Potencia clasificada: 350 W
- Potencia máxima: 650 W
- Voltaje de entrada: 11-15 VDC
- Voltaje de salida : 100V/110V/220V/230V/240V
- Frecuencia de salida: 60 Hz
- Tensión de salida para el puerto de carga USB: 5 VDC 1 A cont.
- Convertidor Eficiencia:> 90%

## **d.5. CAPÍTULO V. Construcción y pruebas**

En base a los resultados de la prueba cinco del prototipo seis, se basa la construcción del prototipo final. Una vez definidos los elementos y partes del generador, se escoge de entre los materiales no magnéticos para construir la carcasa del generador lineal con imanes permanentes.

Entre acero inoxidable, grilon y aluminio, seleccionamos el último considerando, accesibilidad, facilidad para mecanizado, precio y porque no influye en las corrientes parasitas que se puedan crear en el generador.

Se realizó el diseño definitivo de las piezas que formaran parte del generador lineal con imanes permanentes, se destaca las tapas laterales, tapa superior, tapa base, placa porta imanes, tapa sujeción de porta imanes y las bobinas con núcleo laminado. Los planos de las piezas se muestran en el anexo 2.

Para las piezas que se construyen en aluminio, se fabrica primero el molde de madera de cada una de ellas para fundirlas en aluminio, una vez realizada la fundición se mecaniza las piezas cuidando obtener la dimensión y forma exacta necesaria para el funcionamiento del generador lineal con imanes permanentes.

### **d.5.1. Construcción bobinas**

En el capítulo tres se definió la mejor bobina y las características de la misma para el generador, con estos datos construimos el resto de bobinas necesarias que se instalarán en el generador lineal con imanes permanentes definitivo.

#### ***d.5.1.1. Enrollado***

En el carrete plástico se enrolla mil vueltas de alambre de cobre esmaltado número 30, se fabrica el bobinado teniendo la precaución de que no se enlacen o crucen los cables en cada vuelta, con un cuentarrevoluciones se garantiza que todas las bobinas tengan

igual número de vueltas. La Figura 41 muestra una imagen del proceso de enrollamiento de las bobinas.



Figura 41. Fotografía, Construcción de bobinas

Fuente: El autor.

#### ***d.5.1.2. Núcleo laminado***

El núcleo es dos placas tipo E unidas, para que pueda quedar el carrete con el enrollado en el centro, en el capítulo cuatro, sección de núcleo laminado se especifica las dimensiones de cada lámina y el número de ellas.

Se separa las placas, se retira cualquier impureza y se pinta con barniz a cada placa por separado, se junta 31 placas, el número de placas necesario para cada núcleo y se las somete a presión hasta que se seque y queden juntas.

Ya con los enrollados listos y los núcleos terminados se arma las bobinas e instala los terminales para cada inductor. La Figura 42 muestra una bobina terminada y la instalación de sus terminales.



Figura 42. Fotografía, Bobina del generador

Fuente: El autor.

### **d.5.2. Carcasa y porta imanes**

Las piezas de carcasas y porta imanes se las fabrica en aluminio fundido, obteniendo así la forma y dimensiones diseñadas. El diseño se lo realiza en AutoCAD, se convierte el archivo a SAT, y se puede utilizar SolidWorks que es compatible con el software de la máquina CNC, donde se obtienen los códigos de programación para mecanizar las piezas.

En el anexo 1, se adjunta todos los planos que forman parte del generador lineal con imanes permanentes.

#### ***d.5.2.1. Tapa lateral***

Consta de tres rieles, que son las guías para el movimiento de las placas sujeta imanes, donde también se sujetan los cuatro juegos de bobinas, está tapa irá sujeta en la placa base y sostendrá la tapa superior por donde se desplazará el vástago. La Figura 43 muestra la tapa lateral ya con los juegos de bobinas acopladas.



Figura 43. Fotografía, Tapa lateral, bobinas instaladas

Fuente: El autor.

En cada riel se instala un graseo para lubricar y disminuir la fricción entre placas al realizarse el movimiento de los ciclos por minuto del generador eléctrico.

Se construye dos tapas laterales, una a cada lado para guía de las placas porta imanes y para la sujeción de las bobinas.

#### ***d.5.2.2. Placas porta imanes***

Fabricamos tres piezas porta imanes para rodear en ambos lados al grupo de bobinas, cada una de las piezas sujetará diez imanes de neodimio, la fabricación de las piezas se la realizó en la máquina CNC del taller mecánico de la Universidad Nacional de Loja.



Figura 44. Fotografía, Mecanizado placa porta imanes.

Fuente: El autor.

La Figura 44, muestra el mecanizado de la pieza, adicionalmente se hace un agujero con rosca 6 mm en la parte lateral de la placa, justo donde irá cada imán, esto para sujetar los imanes y evitar que se adhieran al núcleo de las bobinas. En el Anexo dos se detalla la ubicación de los orificios roscados. Los prisioneros a utilizar son de aluminio, para evitar las corrientes de Foucault.

#### *d.5.2.3. Tapa superior*

Esta pieza se la fábrica de igual manera que la anterior en la máquina CNC, para obtener la precisión del agujero donde se instala un bocín que sirve de guía del vástago. La Figura 45, muestra el mecanizado de la tapa superior.

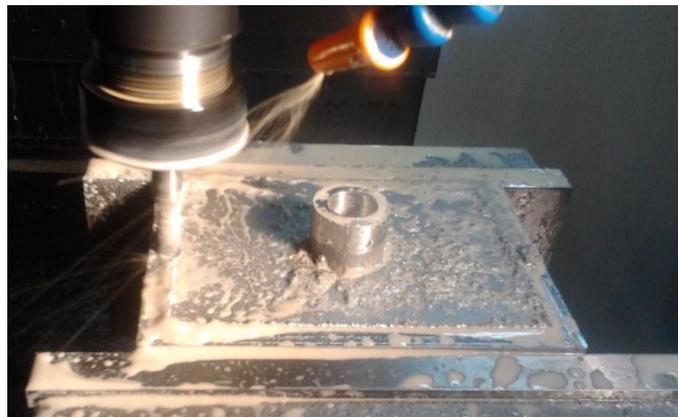


Figura 45. Fotografía, Mecanizado tapa superior

Fuente: El autor.

Se instala un bocín de bronce para disminuir en lo posible la fuerza de rozamiento que se produce por el movimiento del vástago trasladador. El diseño se lo realiza de tal manera que sea fácil retirar y cambiar el bocín guía.

#### ***d.5.2.4. Tapa sujeta porta imanes***

En esta pieza sujetamos las placas porta imanes y el vástago, la sujeción se la realiza por medio de pernos milimétricos con rosca 4 mm y de 2 cm de largo, cada una de las placas está sujeta por tres pernos, el vástago está soldado a una placa de hierro y ésta a su vez desde abajo hacia arriba con la placa porta imanes. En la Figura 46, se muestra a detalle la sujeción y forma de la placa sujeta porta imanes.



Figura 46. Fotografía, Placa sujeta porta imanes

Fuente: El autor.

Con todas las piezas construidas se monta el generador y se verifica en el osciloscopio las curvas de voltaje.

#### ***d.5.2.5. Prototipo final***

Con todas las partes ya construidas se arma el prototipo final del generador, la Figura 47 muestra el generador de desplazamiento lineal con imanes permanentes, ya acoplado con el ciclo convertidor y banco de baterías.



Figura 47. Generador acoplado con ciclo convertidor y banco de baterías

Fuente: El autor

### **d.5.3. Características del generador**

A continuación se detalla las diferentes curvas y gráficas características del generador, con los datos obtenidos del osciloscopio en el laboratorio de electrónica del AEIRNNR de la Universidad Nacional de Loja.

#### ***d.5.3.1. Curvas características del generador***

##### ***Gráfica de la bobina uno del prototipo final***

La curva de la Figura 48, muestra el voltaje de una bobina del prototipo final en un periodo de tiempo.

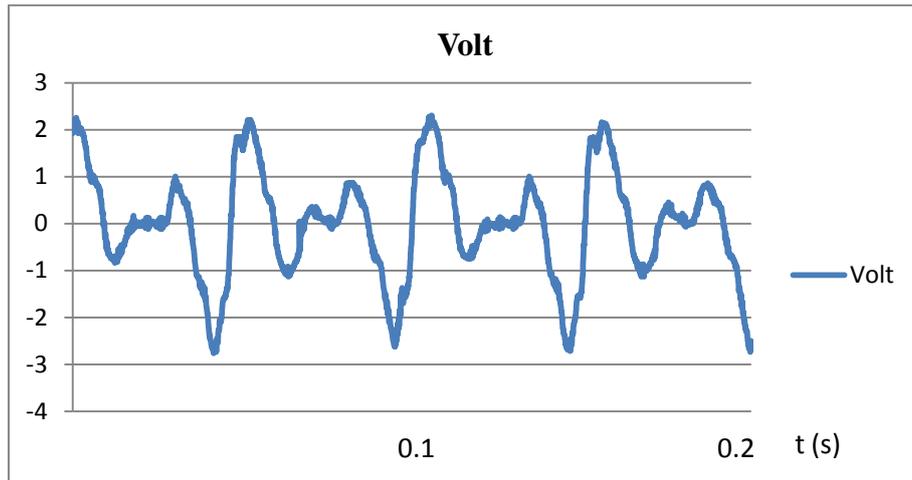


Figura 48. Curva de voltaje una bobina

Fuente: El autor.

**Gráfica, juego de seis bobinas del prototipo final**

Las bobinas se encuentran conectadas en serie, la Figura 49 muestra la conexión en serie de un grupo de bobinas del prototipo final.

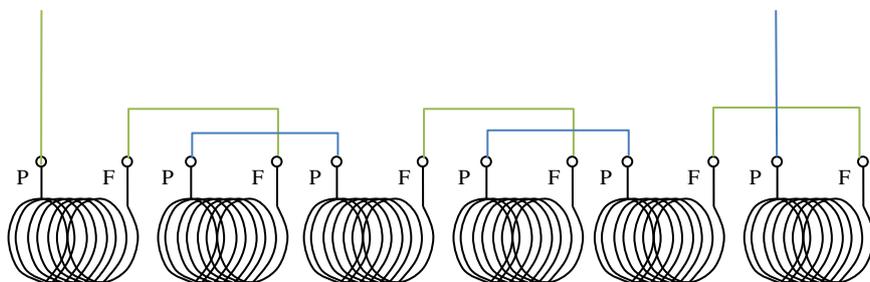


Figura 49. Conexión de Bobinas

Fuente: El autor.

La curva de la Figura 50, muestra la curva de voltaje en un periodo de tiempo de las seis bobinas conectadas en serie.

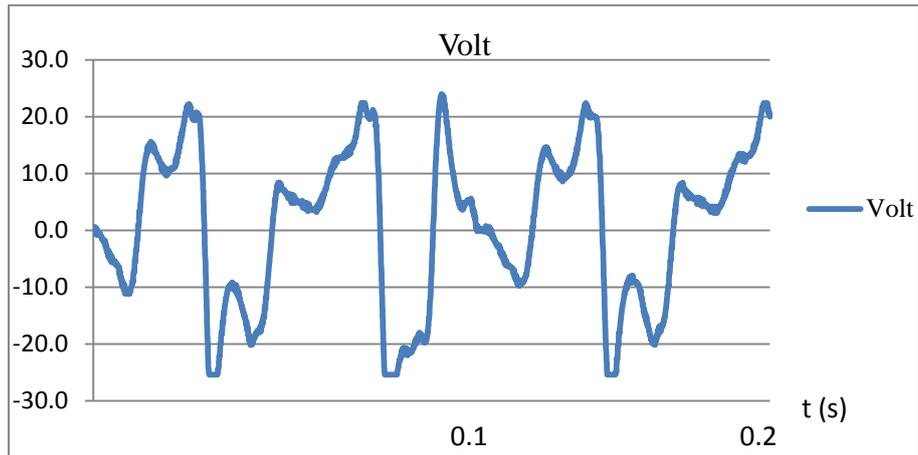


Figura 50. Voltaje seis bobinas.

Fuente: El autor.

**Gráfica, bobinas conectadas en serie paralelo del prototipo final**

La Figura 51, muestra la conexión de las bobinas, como quedan instaladas para conectar la salida al circuito rectificador de onda. Se conecta los dos grupos de bobinas para mejorar la corriente del generador.

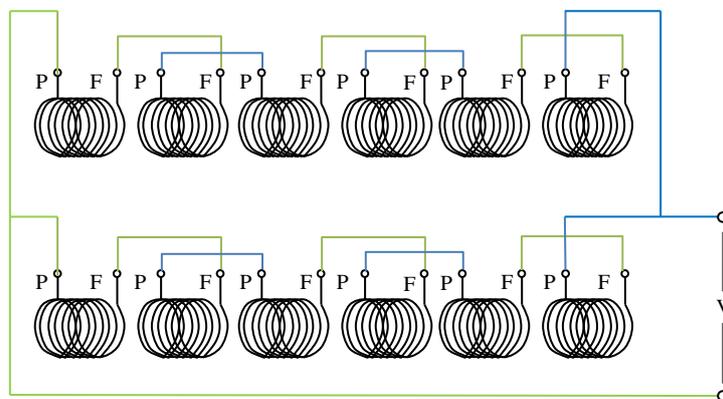


Figura 51. Conexión Bobinado

Fuente: El autor.

La Figura 52, muestra la curva de voltaje con respecto al tiempo de las doce bobinas conectas de seis en seis, seis en serie conectadas en paralelo con las otras seis.

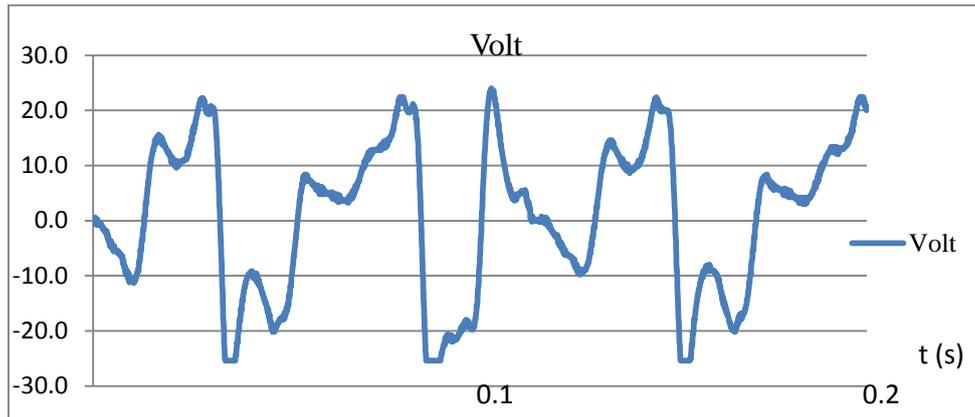


Figura 52. Curva de Voltaje

Fuente: El autor.

***Gráfica, voltaje rectificado del prototipo final***

La Figura 53, la gráfica muestra el voltaje con respecto al tiempo, luego de haber sido rectificado la onda, el voltaje se produce cuando el generador funciona a 300 ciclos por minuto.

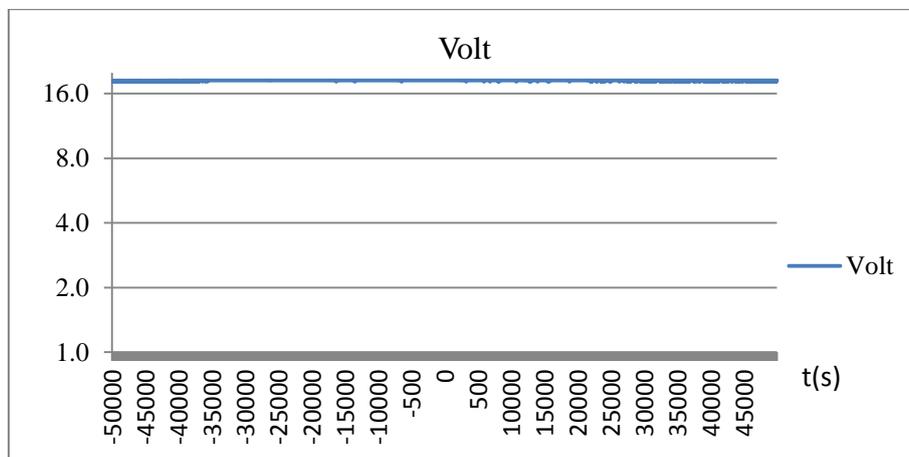


Figura 53. Gráfica de Voltaje DC.

Fuente: El autor.

Se obtiene un voltaje de 17 VDC, una vez que se estabiliza el generador hay voltaje de rizo, que es igual a 4 mili-voltios, valor admitido en corriente continua. El voltaje obtenido es prácticamente lineal.

### ***d.5.3.2. Pruebas del generador***

Al generador se realiza las pruebas de circuito abierto y cortocircuito, estas pruebas también son conocidas como ensayo, y sirven para determinar la tensión interna generada por un campo dado.

Para las pruebas del generador se evalúa el comportamiento del generador con 0, 102, 180 y 310 ciclos por minuto.

#### ***d.5.3.2.1. La prueba a circuito abierto:***

Prueba sin carga consiste en colocar el generador en vacío, es decir sin carga alguna en sus bornes, haciéndolo mover linealmente a distintos ciclos por minuto. Con los valores obtenidos en esta prueba, se puede formar “La curva de Características de Vacío” que permite encontrar la tensión interna generada con respecto al número de ciclos por minuto con los que funciona el generador.

La prueba de circuito abierto se lleva a cabo con los terminales de la máquina desconectada de cualquier circuito externo. El procedimiento de la prueba básica es:

- Abrir el circuito de los terminales del generador
- Llevar la máquina a los ciclos nominales mediante un sistema mecánico externo poco a poco aumentar la cantidad de ciclos y medir la tensión abierta en los bornes

La Tabla 12, muestra los resultados de voltaje a los distintos ciclos por minuto a los que fue sometido el generador lineal de imanes permanentes.

Tabla 12. Resultados de pruebas circuito abierto

Ciclos por minuto (cpm)	Voltaje (V)
0	0
102	5.3
180	7.8
310	14.5

FUENTE: El autor

Con los datos obtenidos expuestos en la Tabla 12, se realiza la gráfica y se obtiene la línea de tendencia de voltaje, para determinar el voltaje a distintos valores de ciclos por minuto. La Figura 54 muestra la curva de voltaje del generador y la línea de tendencia.

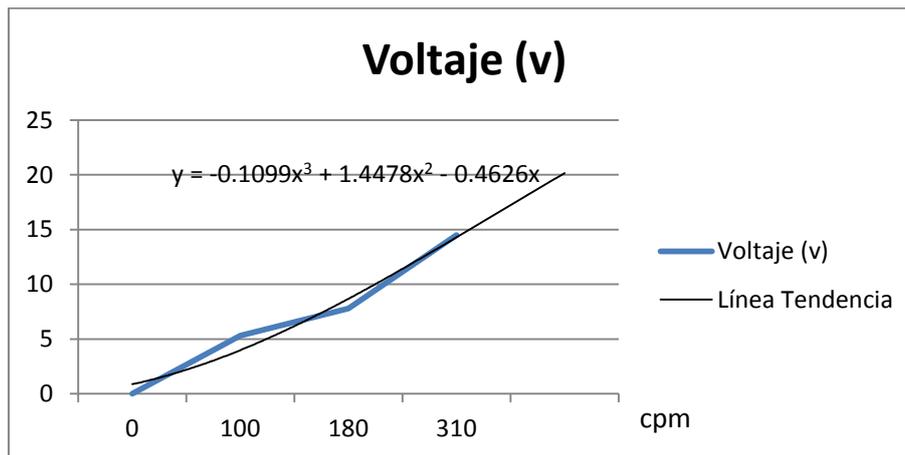


Figura 54. Curva de voltaje del Generador

Fuente: El autor.

Con este método se obtiene el valor de voltaje a cualquier valor de ciclos por minuto siempre y cuando esté dentro del rango evaluado.

#### ***d.5.3.2.2. Prueba de Cortocircuito***

La prueba en cortocircuito brinda información acerca de la corriente de un generador. Se lleva a cabo impulsando el generador a su velocidad nominal, con las terminales del devanado de la armadura en cortocircuito. (Tirado, 2012)

La prueba de cortocircuito se lleva a cabo poniendo los terminales del generador en cortocircuito, consiste en llevar nuevamente el número de ciclos por minuto a cero, para luego cortocircuitar los bornes del generador y proseguir a ir incrementando el número de ciclos por minuto. El procedimiento básico de ensayo es como sigue:

- Se establece el número de ciclos por minuto a cero
- Se instala un amperímetro en serie con los terminales.
- Accionar el generador a los distintos valores de ciclos por minuto.

La Tabla 13, muestra los resultados en mili-Amperios a distintos ciclos por minuto a los que fue sometido el generador lineal de imanes permanentes.

Tabla 13. Resultados de pruebas cortocircuito

<b>Ciclos por minuto (cpm)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
<b>0</b>	0
<b>102</b>	0,058
<b>180</b>	0,075
<b>310</b>	0,12

FUENTE: El autor.

La prueba en cortocircuito brinda información acerca de la corriente de un generador lineal de imanes permanentes. Se lleva a cabo impulsando el generador a su velocidad nominal, con las terminales del bobinado en cortocircuito.

Técnicamente esta prueba se efectúa colocando un amperímetro en serie con las líneas en cortocircuito. Se incrementa gradualmente los ciclos en el generador y se registra el valor correspondiente de la corriente.

Con los datos obtenidos expuestos en la Tabla 13, se realiza la gráfica y se obtiene la línea de tendencia de la intensidad de corriente, para determinar el valor de intensidad a

distintos valores ciclos por minuto. La Figura 55 muestra la curva de intensidad en corto circuito y la línea de tendencia.

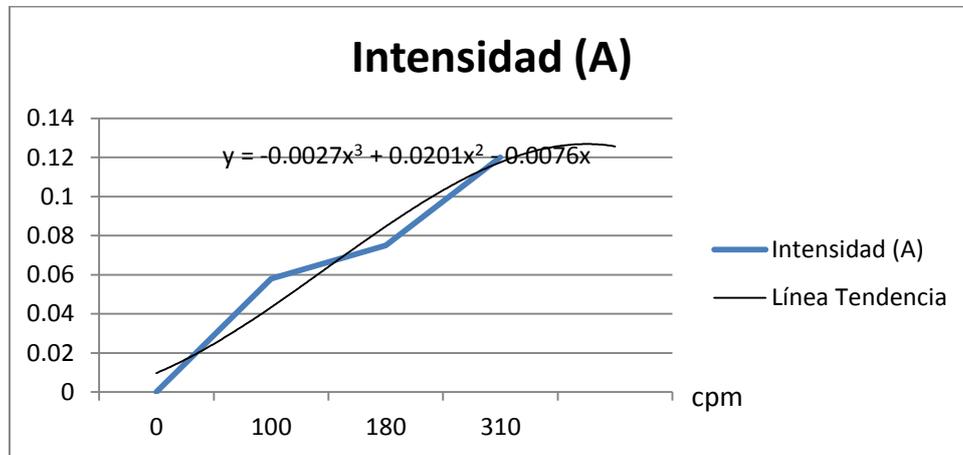


Figura 55. Curva, Intensidad de cortocircuito del Generador

Fuente: El autor.

#### *d.5.3.2.3. Curva de potencia del generador lineal*

Con los datos de voltaje e intensidad se obtiene la curva de potencia con respecto a los ciclos por minuto del generador lineal con imanes permanentes. Los rangos evaluados desde 0-310 ciclos por minuto.

La Tabla 14, se muestran los resultados en mili-Amperios a distintos ciclos por minuto a los que fue sometido el generador lineal de imanes permanentes.

Tabla 14. Datos de potencia del generador

<b>Ciclos por minuto (cpm)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>	<b>Potencia (W)</b>
<b>0</b>	0	0	0
<b>102</b>	5.3	0,058	0,307
<b>180</b>	7.8	0,075	0,585
<b>310</b>	14.5	0,12	1,740

FUENTE: El autor.

Con los datos obtenidos en la Tabla 14, se realiza la gráfica y se obtiene la línea de tendencia de Potencia. La Figura 56 muestra la curva de potencia del generador de desplazamiento lineal con imanes permanentes.

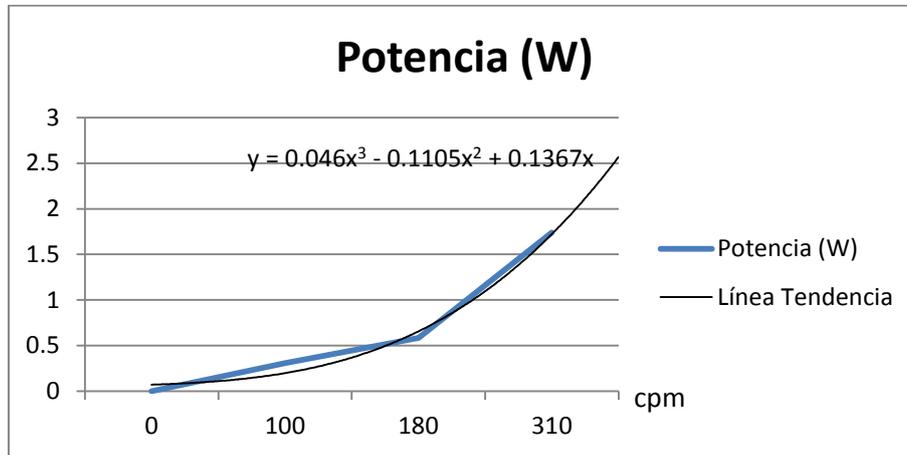


Figura 56. Curva de Potencia del Generador

Fuente: El autor.

#### ***d.5.3.3. Mantenimiento del generador.***

Al tener partes móviles el generador lineal con imanes permanentes requiere:

- Engrasar periódicamente los rieles en las tapas laterales, dependiendo de su uso.
- Cambiar el bocín cuando sufra desgaste para evitar el pandeo del vástago trasladador.
- Ajustar la contratuerca al acople de movimiento.
- Importante, tener cuidado si se desarma el generador lineal, se debe retirar cuidadosamente las placas porta imanes y los imanes instalados porque puede juntarse repentinamente con mucha fuerza y causar lesiones al operador.

#### ***d.5.3.4. Valoración económica del generador.***

Se considera todos los gastos que intervienen en la construcción del generador lineal con imanes permanentes.

Tabla 15. Valoración Económica

Cant.	Unidad	Descripción	Refe.	V. Unitario	Valor Total
30	u	Imanes de neodimio 30mm*20mm*10mm	N32	6,85	205,5
1	u	Rectificador de onda	Autor	15	15
1	u	Batería 12v. Carga lenta	Wuxi Huayan	81	81
1	u	Inversor 350W	AuKson	75,6	75,6
1	u	Controlador de carga 12v-3A	SHS	64	64
1	u	Fundición aluminio		60	60
8	u	Mecanizado de aluminio	CNC	30	240
20	u	Tornillos m5x50	Genérico	0,1	2
20	u	Tornillos m4x20	Genérico	0,05	1
2	lt	1/8 de Pintura esmalte	Permalatex	3	6
1	lb	Alambre cobre nro. 30	Esmaltado	18	18
1	u	Núcleo Laminado	Acero al Silicio	6,7	6,7
1	u	Bocín de bronce $\phi 1/2" \times 1/2"$	Bronce	2,1	2,1
6	u	Graseros 1/8"	Genérico	0,85	5,1
6	m	Cable gemelo nro. 22	Cablec	0,22	1,32
30	u	Pines	Genérico	0,02	0,6
1	u	Caja metálica 20x20	Genérico	12	12
2	u	Borneras	Genérico	1,25	2,5
1	u	Construcción de prototipos para pruebas del generador	----	350	350
1	u	Mano de obra e ingeniería		500	500
<b>Total en Dólares</b>					<b>1648,42</b>

FUENTE: El autor.

Los gastos totales para la fabricación del generador de desplazamiento lineal con imanes permanentes, considerando bobinas, conductor de cobre de diferente calibre y las estructuras para simular el movimiento lineal suman 1648,42 dólares,

## **e. Materiales y métodos**

Materiales que Se utiliza para el diseño y construcción de un generador lineal con imanes permanentes:

Imán de neodimio 30mmx20mmx10mm

Alambre de cobre esmaltado nro. 24

Alambre de cobre esmaltado nro. 34

Alambre de cobre esmaltado nro. 30

Núcleo de hierro solido

Núcleo de hierro laminado

Aluminio (fundición)

Multímetro

Osciloscopio

Cautín, estaño

Barniz transparente

Prensa

Tornillos 4mmx20mm

Tornillos 5mmx20mm

Tornillos 5mmx40mm

Taladro

Eje de hierro 1cmx30cm

Cinta aislante

Para el desarrollo de la tesis, basamos la investigación en el método experimental, haciendo sustentación científica de los elementos fundamentales para la generación de energía eléctrica.

## f. Resultados

Se construye el prototipo final basado en los mejores resultados del prototipo seis, estos resultados fueron verificados en el osciloscopio para determinar la forma de onda y la frecuencia del generador.

La bibliografía consultada no presenta mucha información acerca del tema de investigación, por tal motivo se basa en una metodología experimental con seis prototipos y diferentes pruebas en cada uno de ellos. De esta manera se expone una nueva forma de aprovechamiento del movimiento lineal para la obtención de energía eléctrica.

El valor medio de una forma de onda o señal como la media de todos los valores que define dicha onda en la prueba cinco del prototipo seis es  $V_m = 2.9595V \approx 3V$  y un voltaje eficaz de  $V_{efi} = 6.3 V$  a 300 ciclos por minuto.

El voltaje directo del prototipo final tiene un voltaje de rizo de 4 mili-voltios, es un valor admisible en corriente directa, la gráfica del voltaje rectificado se muestrea en el capítulo 5.3.1. Se obtiene voltajes mayores a 13.5 voltios dependiendo de los ciclos por minuto a lo que es sometido el generador, suficiente para cargar una batería.

El generador está en condiciones de funcionamiento, permitiendo ser sometido a pruebas circuito abierto y cortocircuito para obtener la curva características de tensión e intensidad de corriente.

La potencia obtenida del generador a 310 ciclos por minuto es de 2,4 W, la Figura 56 en el capítulo d.5.3.2.3, muestra la curva de potencia del generador lineal con respecto a los ciclos por minuto.

## **g. Discusión**

El diseño y construcción del generador lineal con imanes permanentes, construido e implementado para carga de baterías, ofrece una alternativa más para la generación de energía eléctrica aprovechando el movimiento lineal.

En la presente tesis se investigó el comportamiento de las bobinas y del campo magnético producido por los imanes permanentes, se hizo una revisión del estado del arte en cuanto a las investigaciones realizadas de este tipo y de las partes que intervienen en la generación de energía eléctrica, en base a esto se plantearon las hipótesis en el proyecto previo al desarrollo de la tesis.

De acuerdo a los resultados encontrados en la investigación, voltaje, intensidad, fuerza de accionamiento se muestra las curvas características y propias del generador lineal de imanes permanentes.

Una posible alternativa de uso del generador de desplazamiento lineal con imanes permanentes es hacer un acoplamiento a un sistema de amortiguación, previo estudio y análisis del comportamiento de un sistema de amortiguación de un vehículo que también ofrece el movimiento lineal.

El obtener resultados positivos en el diseño y construcción del generador lineal con imanes permanentes, da una alternativa más de generadores de energía eléctrica, convirtiéndose en un aporte para las distintas formas de generación, con un diseño más económico y de mejor rendimiento aprovechando el movimiento lineal.

## **h. Conclusiones**

- Se realizó una pormenorizada revisión bibliográfica sobre el estado del arte del generador eléctrico con desplazamiento lineal de imanes permanentes, concluyendo que son escasos los estudios en el país, en la universidad Nacional de Loja, de las publicaciones de en la web no publican los métodos de estudio realizados en los generadores.
- Los imanes de neodimio N52 son los mejores para generadores de baja potencia, por el campo magnético que producen y porque nos permiten trabajar hasta con 80 °C de temperatura de trabajo.
- La construcción de la bobina con núcleo laminado, evitando que el enrollado se crucen las espiras, disminuye la resistencia interna y da la mejor opción en la producción de energía eléctrica del generador de desplazamiento lineal con imanes permanentes.
- El rectificador de onda controla la frecuencia, elimina los picos de voltaje, y da voltaje directo, pudiendo así realizar la carga del banco de baterías para luego conectar el inversor y transformar la corriente continua en corriente alterna.

## **i. Recomendaciones**

- Publicar el documento para que contribuya con el estado del arte de los generadores de desplazamiento lineal con imanes permanentes.
- Seleccionar los imanes de neodimio N52 para la construcción de generadores de baja potencia por el buen campo magnético que produce y por las temperaturas a las que permite trabajar.
- Profundizar el estudio de flujo magnético, bobinas, núcleo laminado para mejorar la eficiencia del generador de desplazamiento lineal con imanes permanentes.
- En lo posterior hacer un estudio y un mejor diseño para disminuir las pérdidas por fricción en las placas de imanes con las placas laterales que tiene el generador lineal con imanes permanentes.
- Hacer diseño y en lo posible construir una máquina que permita fabricar de manera eficiente las placas de acero al silicio de varias formas y poder mejorar el rendimiento del generador diseñando un núcleo más eficiente.
- Se puede aprovechar esta forma de generación en vehículos eléctricos, esto puede ser utilizando un pistón con combustión interna que produzca el movimiento lineal y así poder cargar las baterías, aunque se utiliza la combustión para dar el movimiento bajaría considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Finalizado el trabajo se evidenció que la parte más compleja del generador eléctrico se encuentra en la dimensión y construcción de la bobina, por lo que se recomienda investigar nuevas formas y técnicas de dimensión y construcción que permitan reducir las pérdidas por corrientes parásitas y así mejorar la eficiencia del generador lineal con imanes permanentes.

## **j. Bibliografía**

### **Libros**

1. **Álvarez, Manuel, Guerra, Alfredo y Lau, Rogelio. 2004.** Integración Numérica. *Matemática Numérica*. Cuba : Empresa Editorial Poligráfica Félix Varela, 2004.
2. Efectos Magnéticos de corriente Eléctrica. *Electrotecnia*. págs. 99-102.

### **Tesis**

3. **Cabrera Gonzalez, Oscar Ivan y Cuenca Quinde, Darwin Rigoberto. 2008.** *Diseño y construcción de un aerogenerador experimental y modular para aplicación rural*. Loja : AEIRNNR-UNL, 2008.
4. **Carrion Pazmiño , Luis Rafael y Puchaicela Silva , Pablo Alejandro. 2010.** *Diseño y simulación de un aerogenerador de eje vertical con rotor tripala para el laboratorio de energías alternativas del AEIRNNR*. Loja : AEIRNNR-UNL, 2010.
5. **Carrillo Dias, Roger Efrain. 2004.** *Diseño de Elementos Magnéticos*. Cuernavaca, México : CENIDET (TESIS DOCTORAL), 2004.
6. **Flores Calderon, Diogenes Xavier y Lalangui Dias, Jorge Patricio. 2012.** *Diseño y construcción de un aerogenerador vertical con rotor espiral tipo veleta para la obtención de energía eléctrica a implementarse en el laboratorio de energías alternativas de AEIRNNR de la UNL*. Loja : AEIRNNR-UNL 333.79 F634D, 2012.
7. **Quezada Sarango, Hamilton Eduardo. 2012.** *Construcción y parametrización funcional de un prototipo de aerogenerador de eje vertical*. Loja : AERNNRN-UNL 333.79 q5C, 2012.
8. **Serrano Jaramillo, Pablo Dario. 2004-2005.** *Diseño y Simulación de los componentes de un aerogenerador modelo para la provincia de Loja*. Loja : AEIRNNR-UNL, 2004-2005.

9. **Valarezo Arellano, Luis Felipe. 2011.** *Diseño y construcción de un sistema de iluminación autosustentable alimentado por un aerogenerador accionado por vientos de baja velocidad.* Loja : AEIRRNR.UNL 333.79V137D, 2011.

### Sitios Web

10. **Escuela superior Politécnica del Chimborazo.** <http://dspace.espoch.edu.ec/>.  
[En línea] [Citado el: 01 de 09 de 2013.]  
<http://dspace.espoch.edu.ec/browse?type=subject&order=ASC&rpp=20&value=GENERACION+DE+ENERGIA+ELECTRICA>.
11. **C. A. Oprea, C. S. Martis, F. N. Jurca, D. Fodorean, L. Szabó. 2011.**  
<http://users.utcluj.ro/>. [En línea] 2011. [Citado el: 15 de 08 de 2013.]  
[http://users.utcluj.ro/~szabol/Papers/ICCEP2011\\_1.pdf](http://users.utcluj.ro/~szabol/Papers/ICCEP2011_1.pdf).
12. **elib.dlr.de.** [elib.dlr.de.](http://elib.dlr.de/) [En línea] [Citado el: 11 de 08 de 2013.]  
[http://elib.dlr.de/70678/1/Magna\\_EAWD\\_11\\_-paper-Rinderknecht.pdf](http://elib.dlr.de/70678/1/Magna_EAWD_11_-paper-Rinderknecht.pdf).
13. **Escuela Politecnica del Ejercito.** <http://repositorio.espe.edu.ec/>. [En línea]  
[Citado el: 01 de 09 de 2013.] <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/61>.
14. **Escuela Politecnica del Litoral.** <http://www.dspace.espol.edu.ec/>. [En línea]  
[Citado el: 01 de 09 de 2013.]  
[http://www.dspace.espol.edu.ec/browse?type=subject&order=ASC&rpp=20&starts\\_with=generador](http://www.dspace.espol.edu.ec/browse?type=subject&order=ASC&rpp=20&starts_with=generador).
15. **Escuela Politecnica Nacional.** <http://bibdigital.epn.edu.ec/>. [En línea] [Citado el: 1 de 09 de 2013.]  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/browse?type=subject&order=ASC&rpp=20&value=GENERADORES+EL%C3%89CTRICOS>.
16. **Hernandez, Jesús Fernanadez. 2007.** <http://www.tecnicaindustrial.es/>. [En línea] Octubre de 2007. [Citado el: 30 de Noviembre de 2013.]  
<http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/31/40/a40.pdf>.
17. **Hew Wooi Ping, Hamzah Arof, Wijono. 2006.** <http://wijono.lecture.ub.ac.id/>.  
[En línea] 18 de 10 de 2006. [Citado el: 13 de 08 de 2013.]  
<http://wijono.lecture.ub.ac.id/files/2011/02/04107367.pdf>.

18. **<http://www.sapiensman.com/>**. <http://www.sapiensman.com/>. [En línea] [Citado el: 13 de 03 de 2013.]  
<http://www.sapiensman.com/electrotecnia/problemas14.htm>.
19. **IMA, Ingeniería Magnética Aplicada**. IMA, Ingeniería Magnética Aplicada. [En línea] [Citado el: 6 de 02 de 2013.]  
<http://www.ima.es/es/familia.php?familiaId=2>.
20. **Institute of Vehicle Concepts**. <http://elib.dlr.de>. [En línea]
21. **k&J Magnetics, Inc. 2012**. <http://www.kjmagnetics.com/>. [En línea] 30 de 10 de 2012. [Citado el: 30 de 10 de 2013.]  
<http://www.kjmagnetics.com/neomaginfo.asp>.
22. **N. J. Baker (I), M. A. Mueller(Z), & E. Spooner(1). 2004**.  
<http://eprints.lancs.ac.uk/>. [En línea] 2004. [Citado el: 16 de 08 de 2013.]  
<http://eprints.lancs.ac.uk/20104/1/getPDF.pdf>.
23. **Pontificia Universidad Católica del Ecuador**. <ftp.puce.edu.ec>. [En línea] [Citado el: 13 de 08 de 2013.]  
<http://ftp.puce.edu.ec/browse?type=subject&order=ASC&rpp=20&value=ENERG%C3%8DA+RENOVABLE>.
24. **PRATS JOVE, FELIPE. 1989**. [www.patentados.com](http://www.patentados.com). [En línea] 1989. [Citado el: 13 de 05 de 2013.] <http://patentados.com/invento/aparato-generador-de-energia-electrica-de-desplazamiento-lineal.1.html>.
25. **Tirado, Sergio. 2012**. Electro Sector, Electricidad Avanzada. [En línea] 2012. [Citado el: 01 de 11 de 2013.] <http://www.electrosector.com/wp-content/ftp/descargas/pruebas.pdf>.
26. **TRIDENT ENERGY LIMITED. 2009**. [www.patentados.com](http://www.patentados.com). [En línea] 1 de 05 de 2009. [Citado el: 13 de 08 de 2013.]  
<http://patentados.com/invento/mejoras-en-generadores-electricos-tubulares.html>.
27. **Universidad de Cuenca. 2012**. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/>.  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/699>. [En línea] 2012. [Citado el: 13 de 08 de 2013.]  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/699/1/te330.pdf>.
28. **Universidad del Azuay**. <http://www.uazuay.edu.ec/>. [En línea] [Citado el: 01 de 09 de 2013.] <http://www.uazuay.edu.ec/cgi-bin/bibtesis/tem.cgi>.

29. **Universidad San Francisco de Quito.** <http://repositorio.usfq.edu.ec/>. *Tesis Ing. Electrica y Electronica*. [En línea] [Citado el: 13 de 09 de 2013.]  
<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/62/simple-search?query=generador>.
30. **Yu-Ta Tu, Hsinchu Hsien (TW) y Show-Jong Yeh, Hemet, CA (US). 2005.**  
<http://www.freepatentsonline.com/>. [En línea] 2 de 06 de 2005. [Citado el: 12 de 08 de 2013.] <http://www.freepatentsonline.com/7309934.pdf>.

## **k. Anexos**

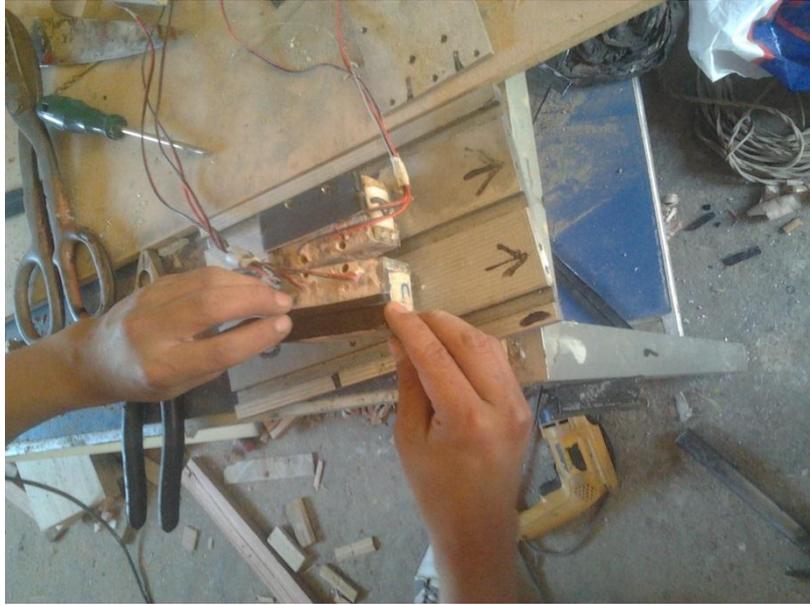
### **k.1. Anexo Fotográfico**



Fotografía del tercer prototipo.



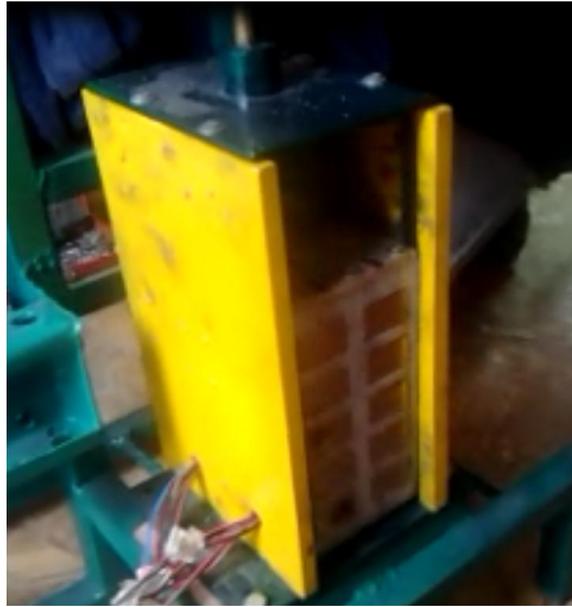
Fotografía, construcción de prototipo seis



Fotografía, montaje de generador



Fotografía, Montaje del generador



Fotografía, Pruebas del generador.



Fotografía, pruebas en osciloscopio



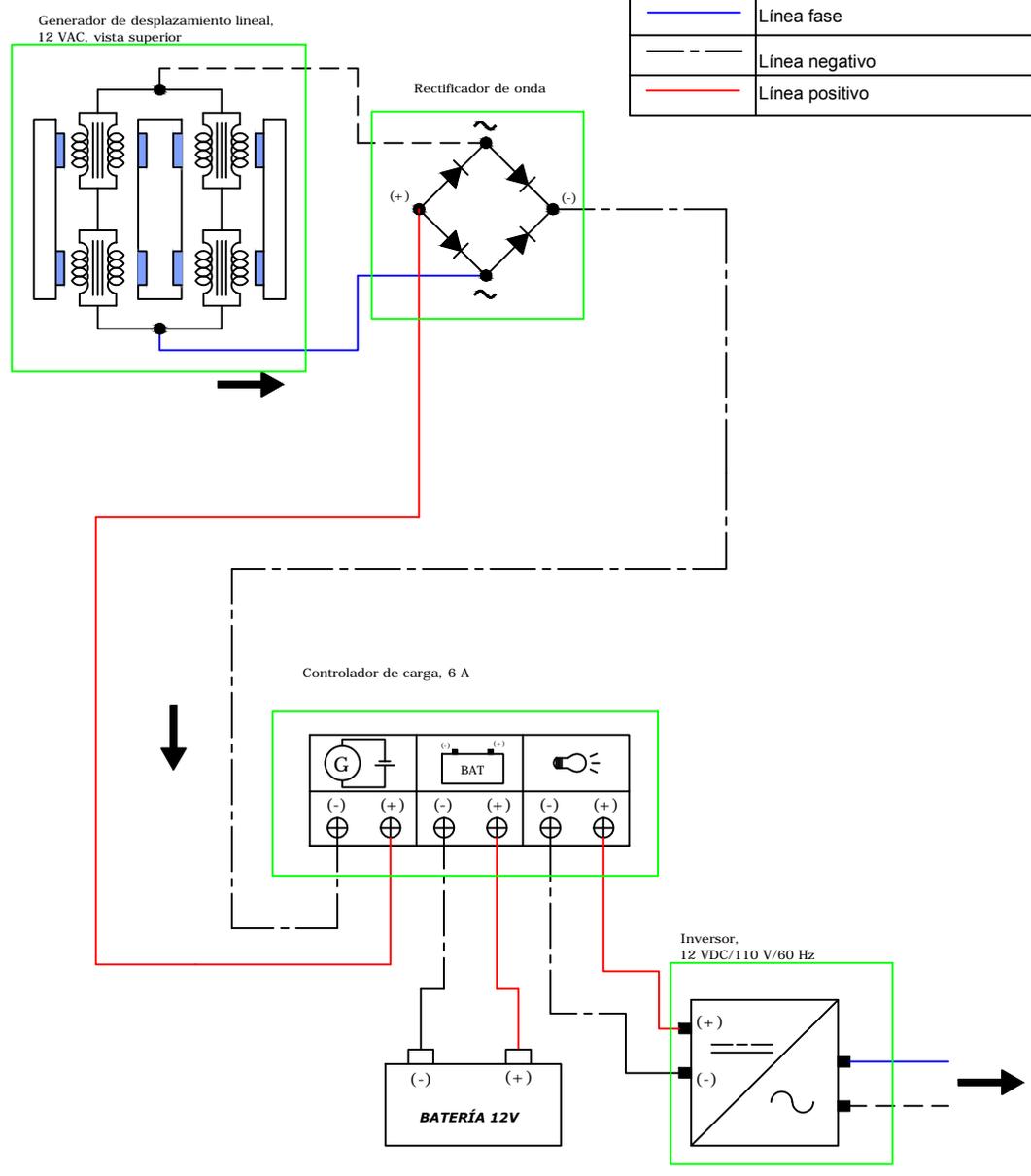
Fotografía, ciclo rectificador



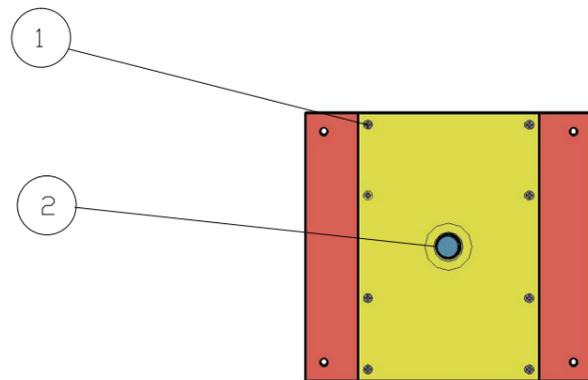
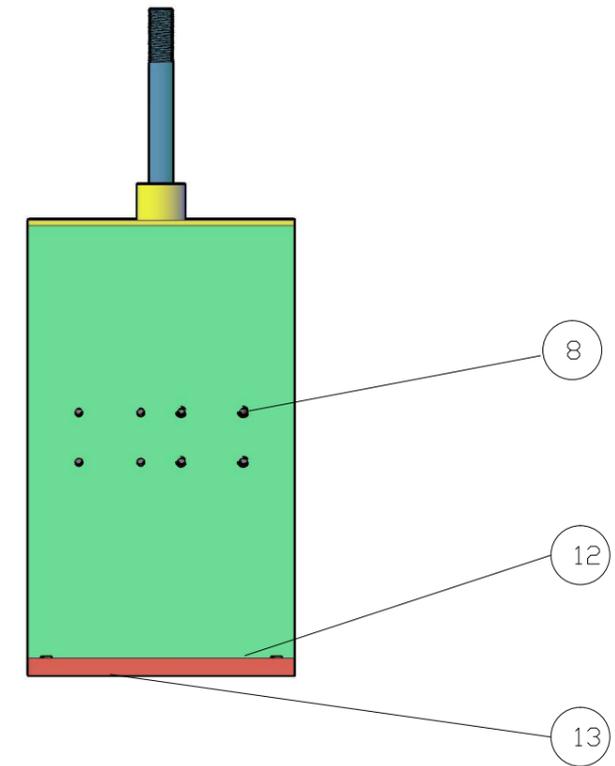
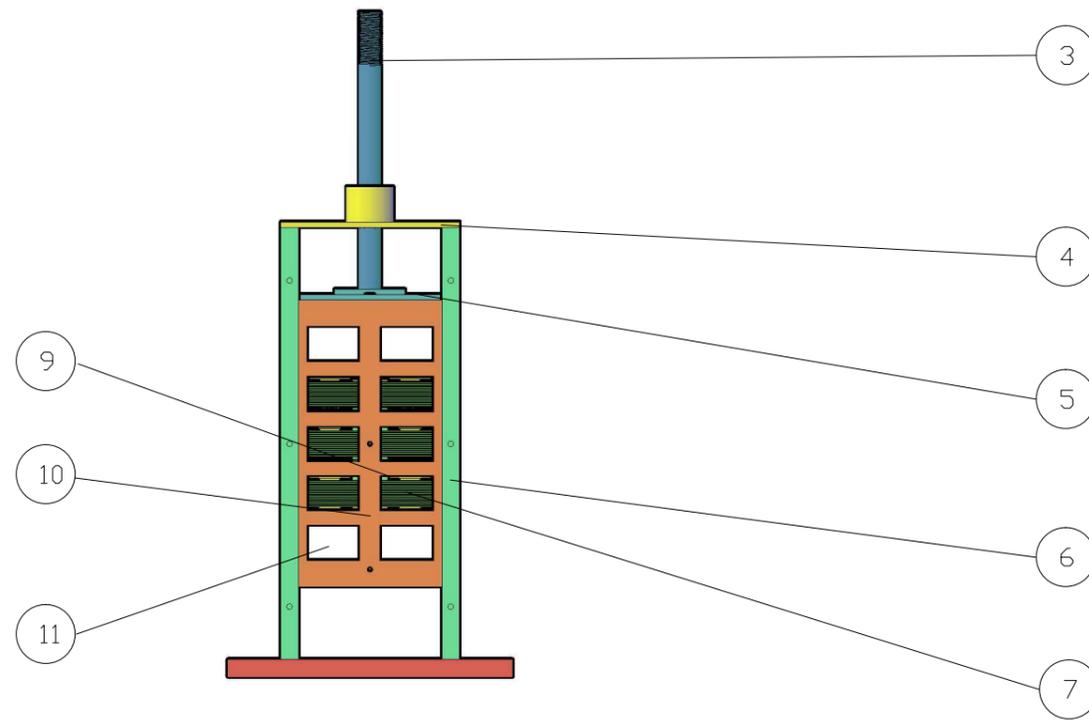
Fotografía, prototipo final

## **k.2. Anexo Planos**

NOMENCLATURA	
	Iman N52
	Bobina núcleo laminado
	Puente rectificador
	Controlador de carga
	Batería
	Inversor
	Línea neutro
	Línea fase
	Línea negativo
	Línea positivo

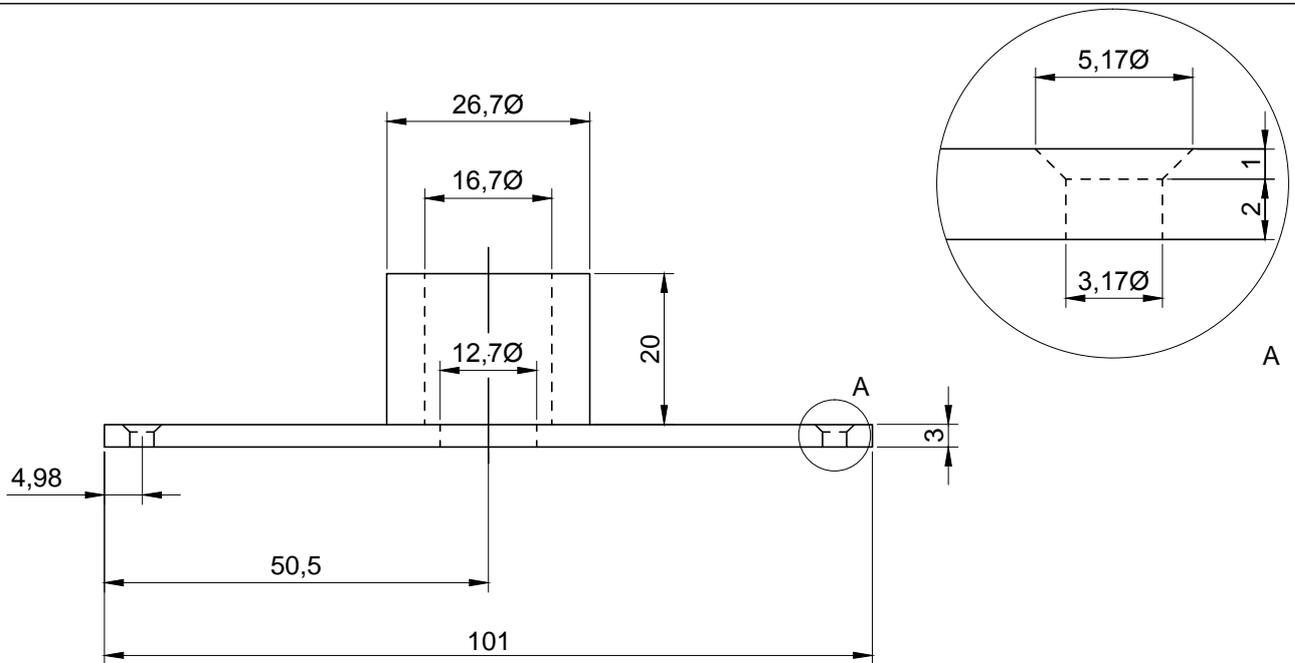


INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA				TOLERANCIA:			MATERIAL:			PESO:						
				FECHA:			NOMBRE:			DENOMINACIÓN:			ESCALA:			
				DIBUJÓ.		2013-12-05		EGDO. J. Quichimbo			Esquema eléctrico de generación y conservación			1-1		
				REVISÓ.		2013-12-05		ING. J. Maldonado						1		
				APROBÓ.		2013-12-05		ING. J. Maldonado						1		
EDI: MODIFI: FECH: NOMB:				UNL						CÓDIGO:			1			

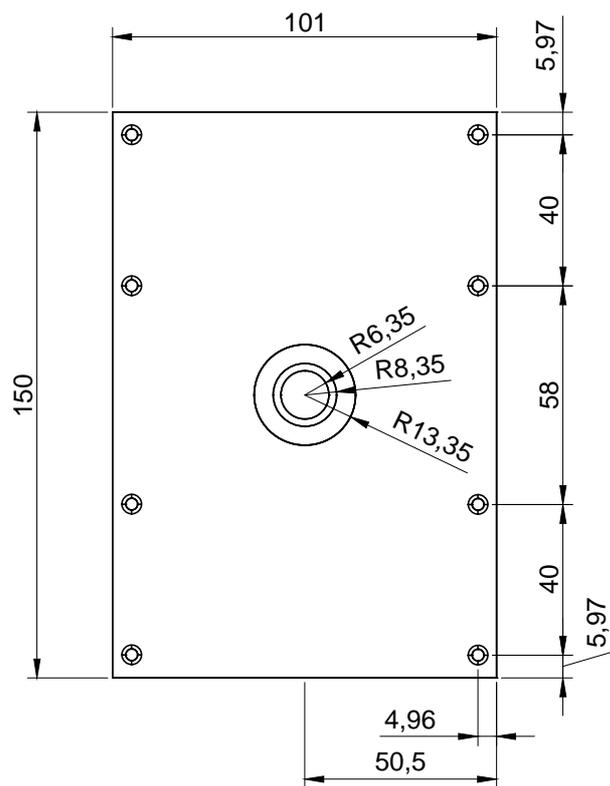


13	8	TORNILLO CABEZA AVELLANADA 4MX20	01.01.13	DIN7046-H	ACERO	
12	1	TAPA INFERIOR	01.01.12	----	ALUM. FUNDICI	PINTADO EXTERIOR
11	30	IMANES	01.01.11	----	NEODIMIO N52	
10	3	PLACA PORTA IMANES	01.01.10	----	ALUM. FUNDICI	PINTADO EXTERIOR
9	4	PLACA SUJETA BOBINA	01.01.09	----	ALUM. FUNDICI	PINTADO EXTERIOR
8	16	TORNILLO M5X50	01.01.08	DIN7046-H	ACERO	
7	12	BOBINA	01.01.07	----	COBRE	PINTADO EXTERIOR
6	2	TAPA LATERAL	01.01.06	----	ALUM. FUNDICI	PINTADO EXTERIOR
5	1	PLACA SUPERIOR	01.01.05	----	ALUM. FUNDICI	PINTADO EXTERIOR
4	1	PLACA VÁSTAGO	01.01.04	----	HIERRO DULCE	PINTADO EXTERIOR
3	1	TAPA SUPERIOR	01.01.03	----	ALUM. FUNDICI	PINTADO EXTERIOR
2	1	BOCIN	01.01.02	----	BRONCE	
1	16	TORNILLO CABEZA AVELLANADA 4MX20	01.01.01	DIN7046-H	ACERO	
POS.	CANT.	DENOMINACIÓN.	CODIGO.	NORMA.	MATERIAL.	OBSERVACIÓN.

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		TOLERANCIA:		MATERIAL:		PESO:	
		FECHA:		NOMBRE:		DENOMINACIÓN:	
		DIBUJÓ.	2013-12-05	EGDO. J.Quichimbo		Conjunto	
		REVISÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado		ESCALA:	
		APROBÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado		1-1	
						01	
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:	UNL		CÓDIGO: CÓDIGO: 01.01.00	
						8	

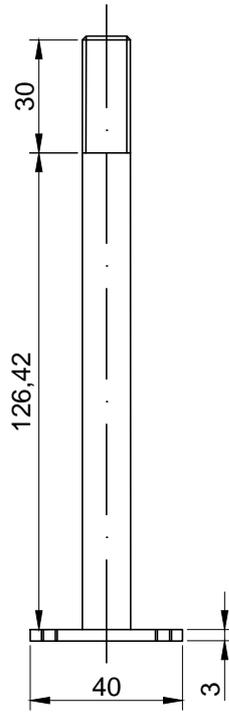


ESCALA:  
1-1

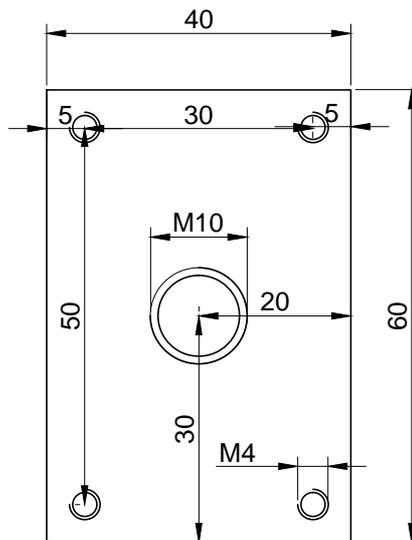


ESCALA:  
2-1

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA				TOLERANCIA:			MATERIAL: Aluminio Fundición		PESO:	
				FECHA:		NOMBRE:		DENOMINACIÓN:  TAPA SUPERIOR		ESCALA: Indicadas
				DIBUJÓ.	2013-12-05	EGDO. J. Quichimbo				
				REVISÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado				
				APROBÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado				02
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:	UNL				CÓDIGO: 01.01.03:		08

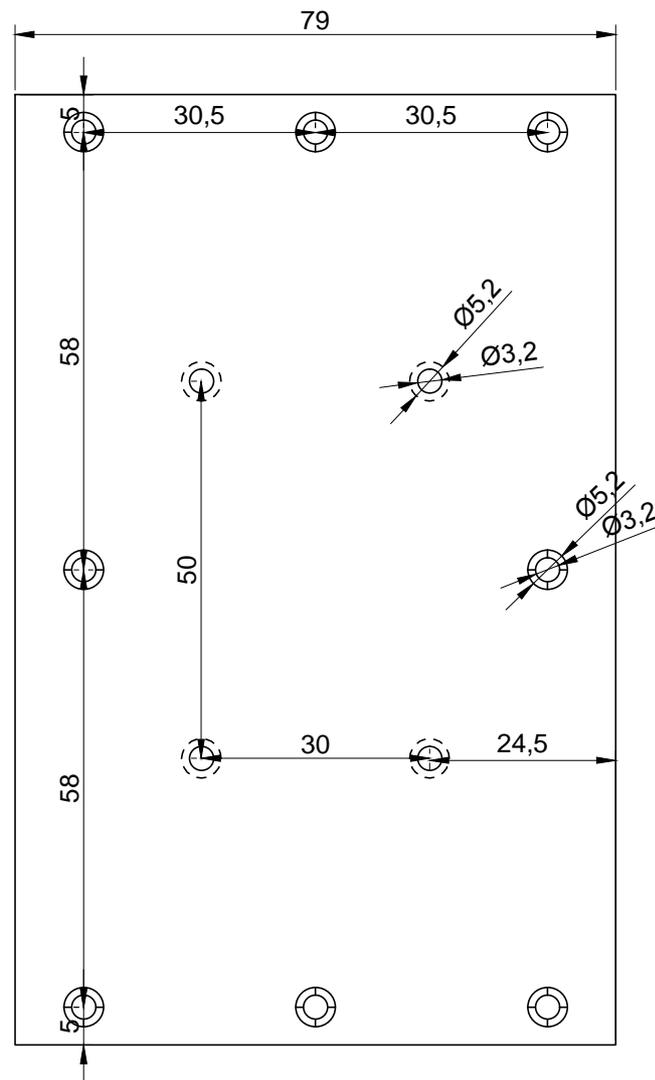
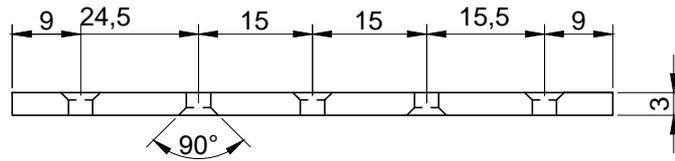


Escala  
1-2

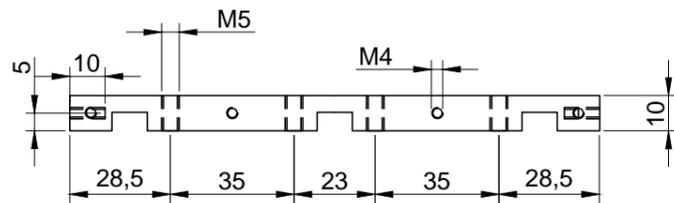
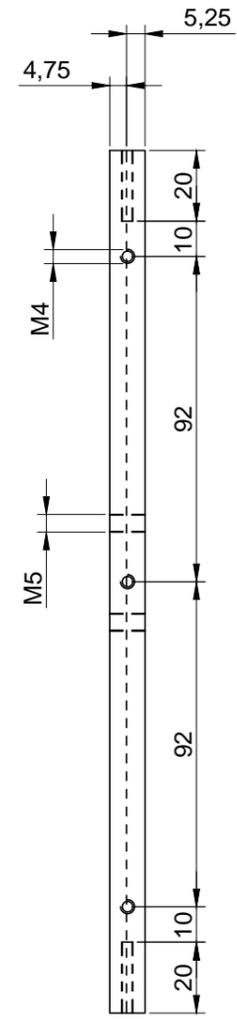
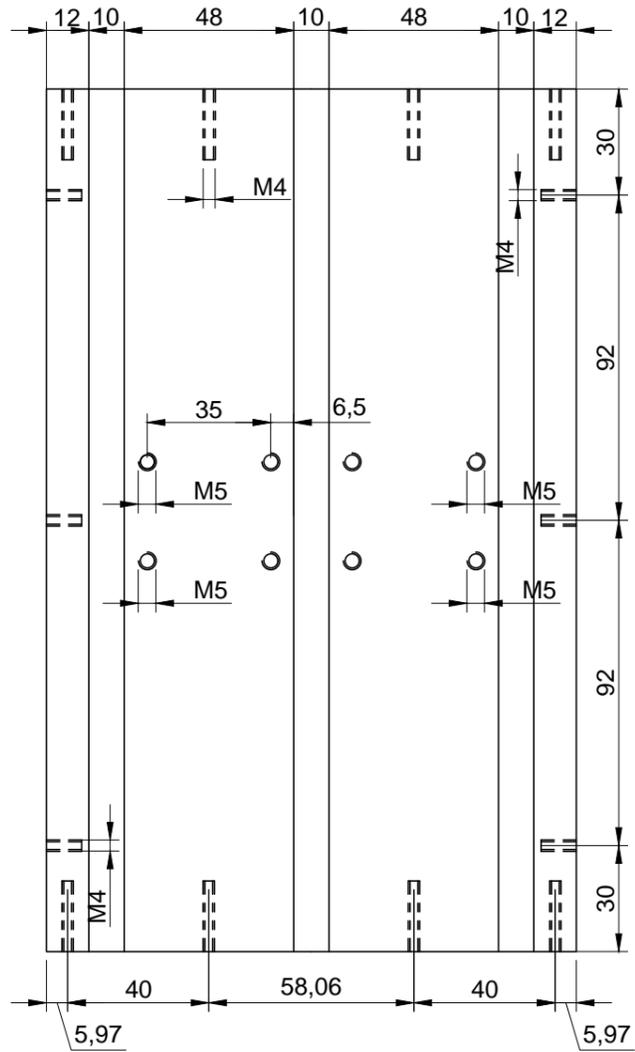


Escala  
1-1

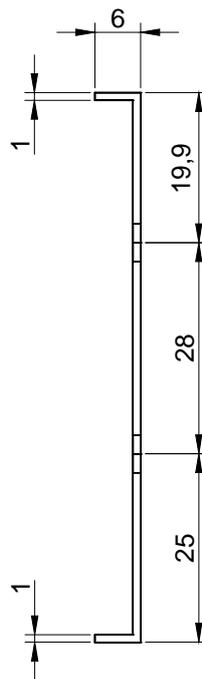
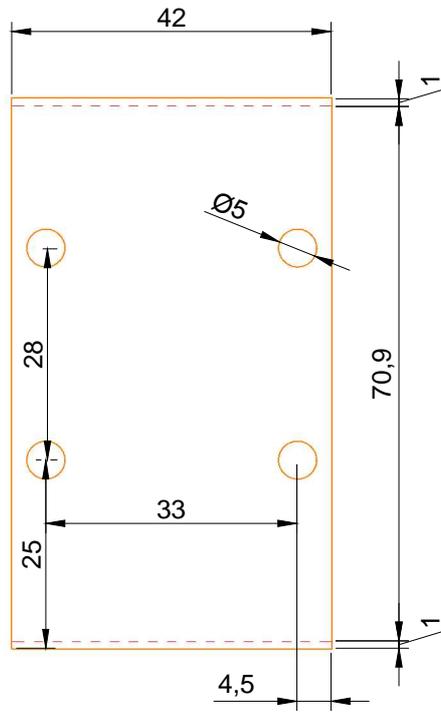
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA				TOLERANCIA:			MATERIAL: Aluminio Fundición		PESO:	
				FECHA:		NOMBRE:		DENOMINACIÓN:  PLACA VASTAGO		
DIBUJÓ.	2013-12-05	EGDO. J. Quichimbo		3						
REVISÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado		8						
APROBÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado		CÓDIGO: 01.01.04						
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:	UNL						



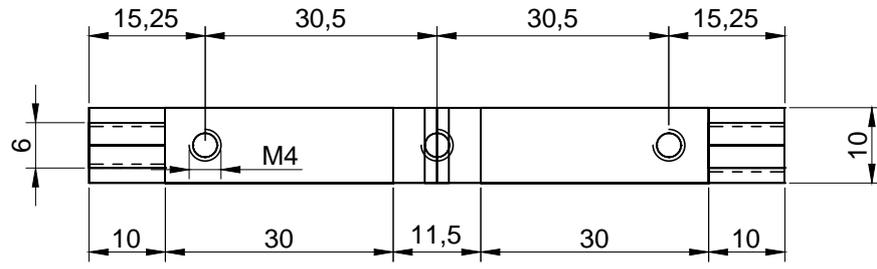
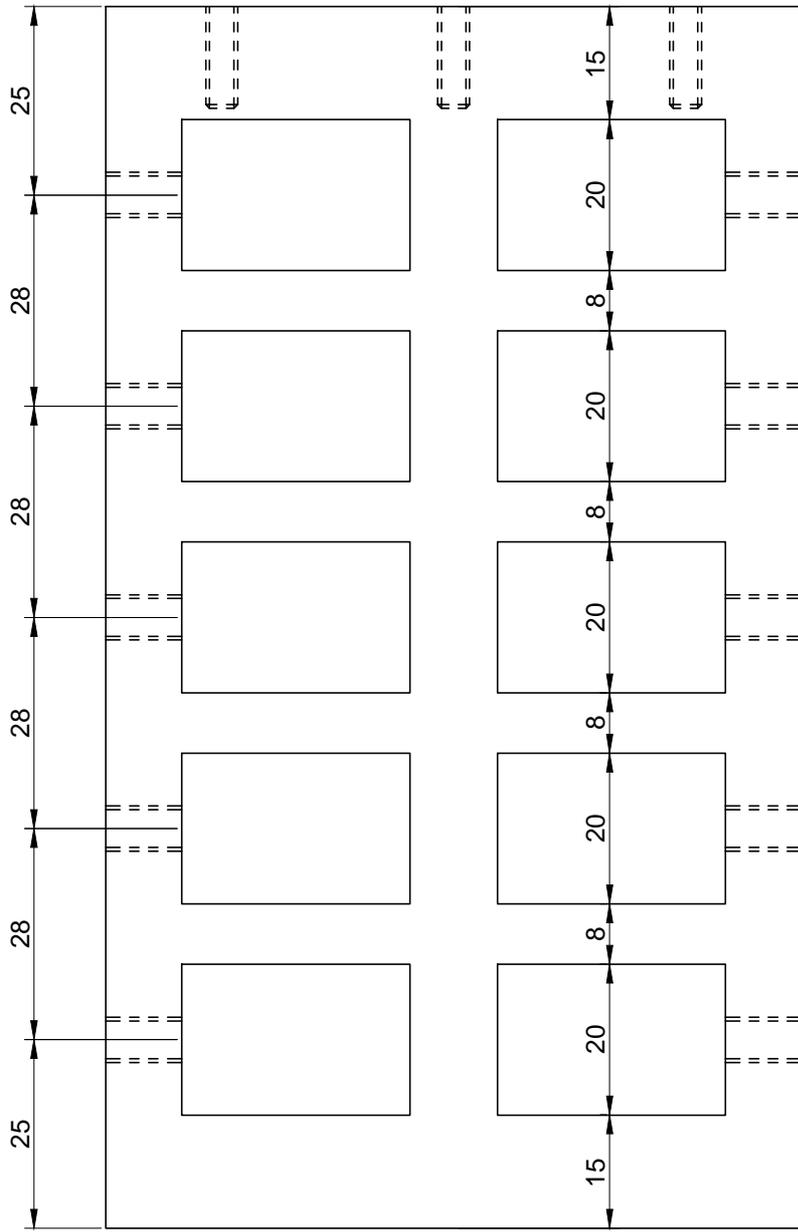
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA				TOLERANCIA:			MATERIAL: Aluminio Fundición		PESO:	
				FECHA:		NOMBRE:		DENOMINACIÓN:  PLACA SUPERIOR		
DIBUJÓ.	2013-12-05	EGDO. J. Quichimbo								
REVISÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado								
APROBÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado								
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:	UNL				CÓDIGO: 01.01.05		
								8		



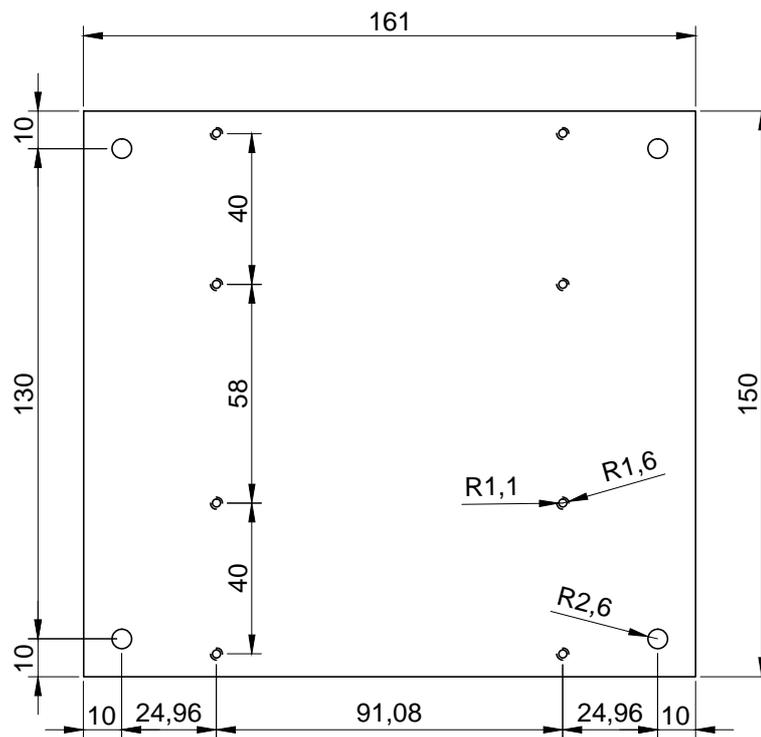
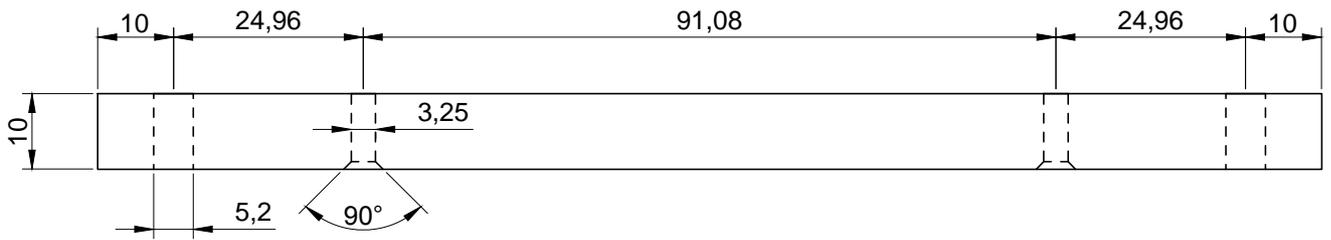
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA				TOLERANCIA:		MATERIAL: Aluminio Fundición	PESO:
				FECHA:		DENOMINACIÓN:	
				NOMBRE:		TAPA LATERAL	
				DIBUJÓ.	2013-12-05	EGDO. J. Quichimbo	ESCALA: 1-1
				REVISÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado	5
				APROBÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado	8
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:	<b>UNL</b>		CÓDIGO: 01.01.06	
							



INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA				TOLERANCIA:			MATERIAL: Aluminio		PESO:	
				FECHA:		NOMBRE:		DENOMINACIÓN:  PLACA SUJETA BOBINA		
DIBUJÓ.	2013-12-05	EGDO. J. Quichimbo		1-1						
REVISÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado		6						
APROBÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado		8						
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:	<b>UNL</b> 		CÓDIGO: 01.01.09			8	



INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA				TOLERANCIA:		MATERIAL: Aluminio Fundición		PESO:	
				FECHA:		NOMBRE:		DENOMINACIÓN:  PLACA PORTA IMANES	
DIBUJÓ.	2013-12-05	EGDO. J. Quichimbo		1-1					
REVISÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado							
APROBÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado							
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:	UNL				CÓDIGO: 01.01.10	
								7	



INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA				TOLERANCIA:			MATERIAL: Aluminio Fundición		PESO:	
				FECHA:		NOMBRE:		DENOMINACIÓN:  TAPA INFERIOR		ESCALA:
				DIBUJÓ.	2013-12-05	EGDO. J. Quichimbo				1-1
				REVISÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado				8
				APROBÓ.	2013-12-05	ING. J. Maldonado				8
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:	UNL				CÓDIGO:01.01.12		8