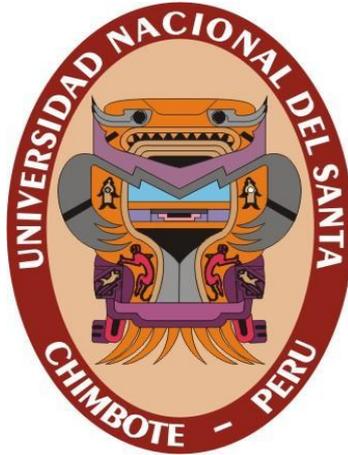


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



“INFLUENCIA DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE  
2.2KW EN EL COMPORTAMIENTO DE EXITACION DE UN  
MODULO MOTOR GENERADOR TRIFASICO  
EXPERIMENTAL DE 500VA”

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGIA

**AUTORES:**

Bach. HIDALGO VALDERRAMA, Jamie  
Bach. RODRIGUEZ SOLORZANO, Wilson Edderson

**ASESOR:**

Mg. LUJAN GUEVARA, Gilmer Juan

**CHIMBOTE - PERU  
2018**

## **AVAL DEL JURADO EVALUADOR**

El jurado reviso el Proyecto de tesis titulado **“INFLUENCIA DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE 2.2KW EN EL COMPORTAMIENTO DE EXCITACIÓN DE UN MÓDULO MOTOR GENERADOR TRIFÁSICO EXPERIMENTAL DE 500VA”** perteneciente a los bachilleres **Hidalgo Valderrama Jamie** con Código N° 201111043 y **Rodríguez Solórzano Wilson Edderson** con Código N° 201111036, acordando que el presente documento cumple con los criterios de forma y fondo conforme al reglamento general para obtener el Título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del Santa.

---

Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores  
Presidente

---

M.Sc. Christian Puican Farroñay  
Integrante

---

Mg. Gilmer Juan Lujan Guevara  
Integrante

CHIMBOTE – PERU

2018



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**Dirección E.A.P. de Ingeniería en Energía**

Teléfono: 310445 - Anexo 1035

"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los diecisiete días del mes de enero del año dos mil dieciocho, siendo las once horas del día, se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 444-2017-UNS-CFI**, integrado por los siguientes docentes:

- **Mg. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES** : PRESIDENTE
- **M.Sc. CESAR LUIS LOPEZ AGUILAR** : INTEGRANTE
- **Mg. GILMER JUAN LUJAN GUEVARA** : INTEGRANTE
- **M.Sc. CHRISTIAN PUICAN FARROÑAY** : ACCESITARIO

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: **"INFLUENCIA DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE 2.2 KW EN EL COMPORTAMIENTO DE EXCITACIÓN DE UN MODULO MOTOR GENERADOR TRIFÁSICO EXPERIMENTAL DE 500 VA"**, Elaborada por el Bachiller de Ingeniería en Energía: **WILSON EDDERSON RODRIGUEZ SOLORZANO**, teniendo como asesor al docente **Mg. GILMER JUAN LUJAN GUEVARA** Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con los artículos 39° y 40° del Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
<b>WILSON EDDERSON RODRIGUEZ SOLORZANO</b>	17	BUENO

Siendo las doce horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Mg. Amancio Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
M.Sc. Christian Puican Farroñay  
SECRETARIO

  
Mg. Gilmer Lujan Guevara  
INTEGRANTE



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERIA**

Dirección E.A.P. de Ingeniería en Energía

Teléfono: 310445 - Anexo 1035

"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los diecisiete días del mes de enero del año dos mil dieciocho, siendo las once horas del día, se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 444-2017-UNS-CFI**, integrado por los siguientes docentes:

- **Mg. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES** : PRESIDENTE
- **M.Sc. CESAR LUIS LOPEZ AGUILAR** : INTEGRANTE
- **Mg. GILMER JUAN LUJAN GUEVARA** : INTEGRANTE
- **M.Sc. CHRISTIAN PUICAN FARROÑAY** : ACCESITARIO

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: **"INFLUENCIA DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE 2.2 KW EN EL COMPORTAMIENTO DE EXCITACIÓN DE UN MODULO MOTOR GENERADOR TRIFÁSICO EXPERIMENTAL DE 500 VA"**, Elaborada por el Bachiller de Ingeniería en Energía: **JAMIE HIDALGO VALDERRAMA**, teniendo como asesor al docente **Mg. GILMER JUAN LUJAN GUEVARA** Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

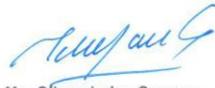
El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con los artículos 39° y 40° del Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
JAMIE HIDALGO VALDERRAMA	17	BUENO

Siendo las doce horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Mg. Amancio Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
M.Sc. Christian Puican Farroñay  
SECRETARIO

  
Mg. Gilmer Lujan Guevara  
INTEGRANTE

## **DEDICATORIA**

*En primer lugar agradezco a Dios, por su infinita bondad y por darme la fuerza necesaria para vivir y seguir adelante en cada paso que doy.*

*Con mucho cariño a mis padres Manuel Hidalgo y Adela Valderrama por los gestores de todos los logros de mi vida, por su amor profundo y fortaleza infinita por permitir que decayera ni un solo instante en la consecución de mis objetivos por ser mi ejemplo y mas grande orgullo por confiar y apoyarme incondicionalmente en todo momento*

*A mis queridos hermanos, Kevin, Nick y Joaquín por su ayuda absoluta su comprensión y por creer en mi*

*Jamie Hidalgo Valderrama*

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo con el cual eh alcanzado el sueño más anhelado y en cual he plasmado todo mi esfuerzo y sacrificio diaria de todos los años de estudio le dedico a DIOS por guiarme cada día en esta etapa de mi vida.*

*A mis padres por ser el pilar fundamental en el transcurso de toda mi carrera universitaria y por el apoyo incondicional de las buenas y en las malas ya que gracias al esfuerzo de ellos he llegado a la meta mas grande en mi vida.*

*Edderson Rodríguez Solórzano*

## **AGRADECIMIENTO**

*Nuestro más sincero y grande agradecimiento a los Ing. Julio Escate Ravello, Mg. Amancio Rojas Flores y M.Sc. Cesar López Aguilar por habernos guiado, compartiendo conocimientos y ayudarnos en la realización de nuestro tema de tesis.*

*De manera especial al Mg. Gilmer Lujan Guevara por compartir sus vivencias y experiencias.*

*Al Ing. Lorenzo Zafra Córdova por la confianza depositada y por apoyarnos incondicionalmente en el desarrollo de este proyecto.*

*Nuestro sincero reconocimiento y gratitud a la Universidad Nacional del Santa por abrirnos las puertas de la Institución, para podernos formar como profesionales, impartiendo conocimiento de vital importancia para nuestro desempeño en el campo profesional.*

## INDICE

Dedicatoria

Agradecimiento

Índice de Figuras

Índice de tablas

RESUMEN

ABSTRAC

INTRODUCCION

CAPITULO I: ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	1
<b>1.1 Antecedentes de la Investigación</b> .....	2
<b>1.2 Justificación del estudio</b> .....	3
CAPITULO II: MARCO TEORICO .....	6
<b>2.1 Variador de velocidad</b> (Politecnico, 2009).....	7
<b>2.2 Rectificadores no controlados de tensión fija.</b> (Tecnologica, 2016).....	12
<b>2.3 Rectificadores controlados de tensión variable.</b> .....	13
<b>2.4 Circuito intermedio.</b> .....	14
<b>2.5 Descripción general del motor síncrona</b> (Nizama, 2013).....	16
<b>2.6 Variadores de Velocidad</b> .....	29
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS .....	36
<b>2.1. Directrices de Diseño de la Fuente de Alimentacion</b> (Instruments, 2015).....	37
<b>2.2. Selección de los elementos usados en el montaje del Módulo Motor-Generador</b> (Lorenzo & Jose, 2016) .....	45
<b>2.3. Selección de los elementos para la Implementación de un variador de velocidad</b> <b>al Módulo Motor-Generador</b> .....	46
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
<b>2.4. SIN CARGA</b> .....	52
<b>2.5. CARGA 2.6 <math>\Omega</math></b> .....	60
<b>2.6. CARGA 1.3 <math>\Omega</math></b> .....	68
<b>2.7. CARGA A 0.86 <math>\Omega</math></b> .....	76
<b>4.5. CON CARGA 0.65 <math>\Omega</math></b> .....	84
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
<b>5.1 CONCLUSIONES</b> .....	93
<b>5.2 RECOMENDACIONES</b> .....	94
Referencias Bibliografía.....	95
ANEXOS.....	97

# INDICE DE FIGURAS

<u>Figura N° 1 Regulador de Velocidad</u> .....	9
<u>Figura N° 2 Rectificador trifásico de media onda</u> .....	12
<u>Figura N° 3 Rectificador trifásico de onda completa. Puente de Graetz</u> .....	13
<u>Figura N° 4 Conmutador Electrónico</u> .....	15
<u>Figura N° 5 Bobina de corriente continua, Corriente del Generador DC.</u> .....	17
<u>Figura N° 6 Bobina de corriente Alterna, Corriente del Generador AC</u> .....	17
<u>Figura N° 7 Generador de corriente Alterna</u> .....	18
<u>Figura N° 8 Estructura general de un generador eléctrico</u> .....	19
<u>Figura N° 9 Bobina de corriente Alterna.</u> <u>Figura N° 10 Corriente del Generador AC.</u> .....	20
<u>Figura N° 11 Espira en un campo magnético.</u> .....	20
<u>Figura N° 12 Circuito equivalente monofásico del GS.</u> .....	21
<u>Figura N° 13 Conexión de la prueba de resistencia de armadura.</u> .....	22
<u>Figura N° 14 Curvas de las características de vacío.</u> .....	23
<u>Figura N° 15 Curva de características de cortocircuito.</u> .....	23
<u>Figura N° 16 Diagrama fasorial de campos.</u> .....	24
<u>Figura N° 17 Arranque suave</u> .....	27
<u>Figura N° 18 arranque suave en carga resistiva (arriba) y carga resistiva-inductiva (abajo)</u> ....	28
<u>Figura N° 19 Variador de velocidad (tanto resistencia de frenado como Active Front End)</u> ....	30
<u>Figura N° 20 Circuito típico de voltajes ajustables.</u> .....	37
<u>Figura N° 21 Circuito convertidor básico.</u> .....	38
<u>Figura N° 22 Formas de ondas de un circuito convertidor básico.</u> .....	39
<u>Figura N° 23 Selección de la inductancia.</u> .....	42
<u>Figura N° 24 Fuente de alimentación con el LM 2596.</u> .....	44
<u>Figura N° 25 Modulo motor – generador.</u> .....	46
<u>Figura N° 26 Variador de Velocidad</u> .....	46
<u>Figura N° 27 Transformador 380-220V</u> .....	47
<u>Figura N° 28 Modulo Motor-Generador con variador</u> .....	47
<u>Figura N° 29 Prueba del módulo Motor-Generador variando la excitación.</u> .....	47
<u>Figura N° 30 Prueba del módulo Motor-Generador variando la frecuencia en el variador</u> .....	48

# INDICE DE GRAFICAS

<b><u>Grafica 1</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios sin carga a 15Hz.....	65
<b><u>Grafica 2</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios sin carga a 30Hz.....	65
<b><u>Grafica 3</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios sin carga a 45Hz.....	66
<b><u>Grafica 4</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios sin carga a 60Hz.....	66
<b><u>Grafica 5</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador sin carga a 15Hz.....	67
<b><u>Grafica 6</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador sin carga a 30Hz.....	67
<b><u>Grafica 7</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador sin carga a 45Hz.....	68
<b><u>Grafica 8</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador sin carga a 60Hz.....	68
<b><u>Grafica 9</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador sin carga a 15 Hz.....	69
<b><u>Grafica 10</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador sin carga a 30 Hz.....	69
<b><u>Grafica 11</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador sin carga a 45 Hz.....	70
<b><u>Grafica 12</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador sin carga a 60 Hz.....	70
<b><u>Grafica 13</u></b>	Potencia de generación en el alternador sin carga a 15 Hz.....	71
<b><u>Grafica 14</u></b>	Potencia de generación en el alternador sin carga a 30 Hz.....	71
<b><u>Grafica 15</u></b>	Potencia de generación en el alternador sin carga a 45 Hz.....	72
<b><u>Grafica 16</u></b>	Potencia de generación en el alternador sin carga a 60 Hz.....	72
<b><u>Grafica 17</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga $2.6 \Omega$ a 15 Hz...73	
<b><u>Grafica 18</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga $2.6 \Omega$ a 30 Hz...73	
<b><u>Grafica 19</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga $2.6 \Omega$ a 45 Hz...74	
<b><u>Grafica 20</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga $2.6 \Omega$ a 60 Hz...74	
<b><u>Grafica 21</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 15 Hz...75	
<b><u>Grafica 22</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 30 Hz...75	
<b><u>Grafica 23</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 45 Hz...76	
<b><u>Grafica 24</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 60 Hz...76	
<b><u>Grafica 25</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 15 Hz...77	
<b><u>Grafica 26</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 30 Hz...77	
<b><u>Grafica 27</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 45 Hz...78	
<b><u>Grafica 28</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 60 Hz...78	
<b><u>Grafica 29</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 15 Hz.....	79
<b><u>Grafica 30</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 30 Hz.....	79
<b><u>Grafica 31</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 45 Hz.....	80
<b><u>Grafica 32</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga $2.6 \Omega$ a 60 Hz.....	80
<b><u>Grafica 33</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga $1.3 \Omega$ a 15 Hz...81	
<b><u>Grafica 34</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga $1.3 \Omega$ a 30 Hz...81	

<b><u>Grafica 35</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 1.3 $\Omega$ a 45 Hz...	82
<b><u>Grafica 36</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 1.3 $\Omega$ a 60 Hz...	82
<b><u>Grafica 37</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 15 Hz...	83
<b><u>Grafica 38</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 30 Hz...	83
<b><u>Grafica 39</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 45 Hz...	84
<b><u>Grafica 40</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 60 Hz...	84
<b><u>Grafica 41</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 15 Hz...	85
<b><u>Grafica 42</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 30 Hz...	85
<b><u>Grafica 43</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 45 Hz...	86
<b><u>Grafica 44</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 60 Hz...	86
<b><u>Grafica 45</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 15 Hz.....	87
<b><u>Grafica 46</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 30 Hz.....	87
<b><u>Grafica 47</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 45 Hz.....	88
<b><u>Grafica 48</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga 1.3 $\Omega$ a 60 Hz.....	89
<b><u>Grafica 49</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 0.86 $\Omega$ a 15 Hz..	90
<b><u>Grafica 50</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 0.86 $\Omega$ a 30 Hz..	90
<b><u>Grafica 51</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 0.86 $\Omega$ a 45 Hz..	91
<b><u>Grafica 52</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 0.86 $\Omega$ a 60 Hz..	91
<b><u>Grafica 53</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 15 Hz...	92
<b><u>Grafica 54</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 30 Hz...	92
<b><u>Grafica 55</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 45 Hz...	93
<b><u>Grafica 56</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 60 Hz...	93
<b><u>Grafica 57</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 15 Hz...	94
<b><u>Grafica 58</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 30 Hz...	94
<b><u>Grafica 59</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 45 Hz...	95
<b><u>Grafica 60</u></b>	Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 60 Hz...	95
<b><u>Grafica 61</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 15 Hz.....	96
<b><u>Grafica 62</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 30 Hz.....	96
<b><u>Grafica 63</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 45 Hz.....	97
<b><u>Grafica 64</u></b>	Potencia de generación en el alternador con carga 0.86 $\Omega$ a 60 Hz.....	97
<b><u>Grafica 65</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 0.65 $\Omega$ a 15 Hz..	98
<b><u>Grafica 66</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 0.65 $\Omega$ a 30 Hz..	98
<b><u>Grafica 67</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 0.65 $\Omega$ a 45 Hz..	99
<b><u>Grafica 68</u></b>	Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 0.65 $\Omega$ a 60 Hz..	99
<b><u>Grafica 69</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga 0.65 $\Omega$ a 15 Hz.....	100
<b><u>Grafica 70</u></b>	Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga 0.65 $\Omega$ a 30 Hz.....	100

<b><u>Grafica 71</u></b> Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga $0.65 \Omega$ a 45 Hz	
Hz.....	101
<b><u>Grafica 72</u></b> Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga $0.65 \Omega$ a 60	
Hz.....	101
<b><u>Grafica 73</u></b> Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga $0.65 \Omega$ a 15	
Hz.....	102
<b><u>Grafica 74</u></b> Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga $0.65 \Omega$ a 30	
Hz.....	102
<b><u>Grafica 75</u></b> Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga $0.65 \Omega$ a 45	
Hz.....	103
<b><u>Grafica 76</u></b> Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga $0.65 \Omega$ a 60	
Hz.....	103
<b><u>Grafica 77</u></b> Potencia de generación en el alternador con carga $0.65 \Omega$ a 15	
Hz.....	104
<b><u>Grafica 78</u></b> Potencia de generación en el alternador con carga $0.65 \Omega$ a 30	
Hz.....	104
<b><u>Grafica 79</u></b> Potencia de generación en el alternador con carga $0.65 \Omega$ a 45	
Hz.....	105
<b><u>Grafica 80</u></b> Potencia de generación en el alternador con carga $0.65 \Omega$ a 60	
Hz.....	105

## RESUMEN

El propósito de la presente tesis es cómo influye un variador de velocidad de 2.2 kW en el comportamiento de excitación de un módulo motor generador trifásico experimental de 500VA, usado en el módulo motor-generador trifásico del laboratorio de electricidad de la escuela de Ingeniería en Energía el cual será usado para en el control de procesos energéticos por los estudiantes de la misma escuela; para la implementación se utilizó un variador de velocidad de 2.2Kw, que es un equipo capaz de cumplir diferentes, en nuestro proyecto utilizaremos el parámetro de la variación de la frecuencia para cambiar las revoluciones del motor-generador para llevarlo hasta su punto mínimo de revoluciones y hasta el punto de su velocidad eficiente, estará conectado al circuito integrado monolítico capaz de conducir tres amperios de carga; dicho circuito es el encargado de brindar el voltaje necesario para la excitación de campo del generador. La metodología consiste en recolectar datos de mediciones de parámetros eléctricos de tensión y corriente haciendo uso de medidores como voltímetros digitales y amperímetros analógicos; para dichas toma de datos se instalaron cargas resistivas variables (lámparas de automóviles). Con estos resultados, se espera decidir su óptimo funcionamiento en tiempo real del comportamiento electrónico-eléctrico-mecánico del sistema.

Dentro de los resultados se visualizan gráficas de barras de corriente, tensión de excitación y potencia de entrega del generador obteniéndose las características de funcionamiento el generador, asimismo, la implementación del controlador electrónico de tensión para potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt, de óptimo funcionamiento, se convierta en una herramienta didáctica experimental de enseñanza – aprendizaje; permitiendo que los estudiantes adquieran habilidades y destrezas requeridas para un entorno laboral competitivo y en permanentes cambios. A su vez el variador de velocidad implementado en el módulo motor-generador, puede acoplarse sin ningún problema a otros módulos de similares características para lograr simulaciones y prácticas demostrativas conjuntas.

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is on how a 2.2 kW variable speed drive influences the excitation behavior of a 500VA experimental three-phase generator motor module, used in the three-phase motor-generator module of the School of Energy Engineering's electricity laboratory which will be used for the control of energy processes by the students of the same school; for the implementation a speed variator of 2.2Kw was used, which is a team capable of meeting different, in our project we will use the parameter of the variation of the frequency to change the engine-generator revolutions to bring it to its minimum speed and up to the point of its efficient speed, it will be connected to the monolithic integrated circuit capable of driving three amperes of charge; said circuit is in charge of providing the necessary voltage for the field excitation of the generator. The methodology consists of collecting data from measurements of electrical parameters of voltage and current using meters such as digital voltmeters and analogue ammeters; Variable resistive loads (automobile lamps) were installed for said data collection. With these results, it is expected to decide its optimal functioning in real time of the electronic-electrical-mechanical behavior of the system.

Within the results, graphs of current bars, excitation voltage and generator delivery power are displayed, obtaining the operating characteristics of the generator, as well as the implementation of the electronic voltage controller for variable power in a three-phase generator of one kilowatt. optimal functioning, it becomes an experimental didactic teaching - learning tool; allowing students to acquire the skills and abilities required for a competitive work environment and in permanent changes. In turn, the speed variator implemented in the engine-generator module can be coupled without any problems to other modules of similar characteristics to achieve simulations and joint demonstration practices.

## INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional del Santa forma profesionales capacitados y dotados de una formación teórica – práctica que le permita insertarse satisfactoriamente al mercado laboral y al desarrollo de la región y el país, por tal motivo, es imprescindible acondicionar y actualizar los laboratorios con la incorporación de nuevos equipos con tecnología de punta, necesario para formar un profesional acorde con el perfil.

Sin embargo, la Universidad Nacional del Santa en su laboratorio de máquinas eléctricas carece de la implementación de un variador de frecuencia al módulo motor-generador ya existente, que le permita a los estudiantes observar y estudiar el comportamiento de excitación al realizar las mediciones para controlar la potencia del generador, variando la frecuencia de entrada, donde puedan comprobar los conocimientos teóricos impartidos; por tal motivo se investigó la “Influencia de un variador de velocidad de 2.2kw en el comportamiento de excitación de un módulo motor generador trifásico experimental de 500va”.

En esta implementación de un variador de frecuencia , se usó un variador de 2.2kw **VFD022EL23A** el cual permite variar la frecuencia de trabajo de manera controlada, para entregar energía al rotor del generador eléctrico, con un rango controlado de voltaje de salida, para dicha alimentación la entrega de energía se hace controlado mediante ciclos de trabajo, frecuencias o de fases de las conmutaciones; estas fuentes conmutadas de tensión ofrecen no solo eficiencias más altas sino también flexibilidad mayor en los diseños. Recientes avances en tecnología de semiconductores y elementos magnéticos hacen de las fuentes conmutadas la opción más fuerte en ámbito de la conversión de la energía eléctrica.

# **CAPITULO I: ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

## 1.1 Antecedentes de la Investigación

- Según el trabajo de Zafra Cordova Lorenzo, 2016 “Diseño e implementación del controlador electrónico de tensión para potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt” (tesis pregrado) Universidad Nacional del Santa, Ancash, Perú.

Este trabajo tiene como propósito diseñar e implementar un controlador electrónico de tensión para potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt, usado en las prácticas de laboratorio por los estudiantes de ingeniería en energía en el control de procesos energéticos; para la implementación se utilizó el regulador de tensión LM2596, que es un circuito integrado monolítico capaz de conducir tres amperios de carga; dicho circuito es el encargado de brindar el voltaje necesario para la excitación de campo del generador. La metodología consiste en recolectar datos de mediciones de parámetros eléctricos de tensión y corriente haciendo uso de medidores como voltímetros digitales y amperímetros analógicos; para dichas toma de datos se instalaron cargas resistivas variables (lámparas de automóviles). Con estos resultados, se espera decidir su óptimo funcionamiento en tiempo real del comportamiento electrónico-eléctrico-mecánico del sistema. Dentro de los resultados se visualizan gráficas de barras de corriente, tensión de excitación y potencia de entrega del generador obteniéndose las características de funcionamiento el generador, asimismo, la implementación del controlador electrónico de tensión para potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt, de óptimo funcionamiento, se convierta en una herramienta didáctica experimental de enseñanza – aprendizaje; permitiendo que los estudiantes adquieran habilidades y destrezas requeridas para un entorno laboral competitivo y en permanentes cambios. A su vez el controlador electrónico de tensión implementado en el módulo motor-generador, puede acoplarse sin ningún problema a otros módulos de similares características para lograr simulaciones y prácticas demostrativas conjuntas.

- Según el trabajo de Nizama, 2013 “Control digital de la excitación de un generador síncrono” (Tesis de pregrado). Universidad de Piura. Piura, Perú.

Este trabajo propone utilizar micro controladores para el control digital automático de procesos comunes en la industria, como el control digital de la excitación de un generador síncrono, utilizando tecnología de control como la optimización del lazo de control CALDWELL en el dominio Z. La tesis se compone de seis capítulos:

El primer capítulo presenta un estudio teórico de la máquina síncrona, principio de funcionamiento, así como su operación en vacío y con carga.

El segundo capítulo analiza y explica los sistemas de excitación de un generador síncrono para identificar y seleccionar el tipo de excitación que se va a trabajar en el diseño del hardware de control.

En el tercer capítulo se muestra la utilización de tarjetas de desarrollo como estudio, selección y aplicación para el control digital del regulador automático de voltaje, así como programas de simulación y programación para el sistema de control de excitación. El cuarto capítulo, se realiza el diseño de la tarjeta de control, selección de todos los componentes electrónicos y su función específica para el control digital de la excitación de un generador síncrono.

En el quinto capítulo se va a mostrar las pruebas realizadas a la tarjeta de control, datos específicos y gráficas de parámetros importantes del desempeño del AVR digital con el generador de pruebas, sin carga y con carga para optimizar la sintonización del regulador.

El sexto capítulo se hace referencia de los costos de diseño y estimado de costos como modulo industrial para su comercialización.

Esta tesis mostrará las distintas ventajas que se obtienen al usar este tipo de dispositivos para el desarrollo de sistemas de control.

## **1.2 Justificación del estudio**

### **1.2.1 Formulación del Problema.**

¿De qué manera influirá un variador de Velocidad de 2.2 kW en el comportamiento de Excitación de un módulo Motor Generador trifásico Experimental de 500VA?

### **1.2.2 Objetivo General**

Evaluar la Influencia que tendrá un variador de Velocidad de 2.2kW en el comportamiento de Excitación de un Motor-Generador Trifásico experimental de 500VA

### **1.2.3 Objetivos Específicos**

- Determinar y representar los parámetros eléctricos de la operación del módulo motor generador sin carga al variar la frecuencia del motor en 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60Hz.
- Determinar y representar los parámetros eléctricos de la operación del módulo motor generador con cargas de  $2.3\Omega$ ,  $1.3\Omega$ ,  $0.86\Omega$  y  $0.65\Omega$  al variar la frecuencia del motor en 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60Hz.
- Caracterizar los parámetros eléctricos del módulo motor generador y eléctrico de excitación empleando un variador de velocidad de 2.2kW al variar la frecuencia del motor generador.

### **1.2.4 Formulación de Hipótesis**

El Variador de Velocidad de 2.2 kW influirá en la mejora del control de carga Eléctrica adecuándolo a la demanda, permitiendo conocer el Comportamiento de Excitación del Módulo Motor-Generador, al variar la Frecuencia del Motor Generador de 500VA

### **1.2.5 Importancia y Justificación del estudio**

En el laboratorio de electricidad de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, se implementó un controlador electrónico de un kilowatt con potencia variable para un generador la cual sirve para las realizaciones de prácticas del curso de laboratorio de máquinas eléctricas, con este fin se implementara un variador de velocidad para controlar la velocidad giratoria del Módulo motor-generador de un kilowatt y así ver la

influencia que tiene el variador en el comportamiento de excitación del módulo motor-generator para que los educandos adquieran aprendizajes en tiempo real de una manera comprobable directamente el cual se pueda tomar datos de la misma. Además, este variador conectado con el modulo Motor-Generador está concebido para realizar netamente actividades didácticas de carácter práctico, lo que ofrece al estudiante la oportunidad de comprender, verificar y analizar el comportamiento eléctrico-electrónico-mecánico y observar directamente el fenómeno físico.

### **1.2.6 Limitación de la investigación**

Se limita este estudio en el laboratorio de Ingeniería en Energía donde se realizara el estudio de la influencia de un variador de velocidad de 2.2 kW en el comportamiento de excitación del sistema modulo motor-generator trifásico experimental de 500VA.

- Se restringe a investigar, analizar y proponer.
- Esta investigación se realizará en tiempo parcial durante los próximos meses.

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

## 2.1 Variador de velocidad (Politecnico, 2009)

Un variador de c.a. Es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad de rotación de un motor de c.a. o de inducción. Este tipo de motores también se conocen como motores asíncronos o en jaula de ardilla. El variador de velocidad se coloca entre la red y el motor. El variador recibe la tensión de red a la frecuencia de red (60Hz) y tras convertirla y después ondularla produce una tensión con frecuencia variable.

La velocidad de un motor va prácticamente proporcional a la frecuencia. Además de cambiar la frecuencia, el variador también varía el voltaje aplicado al motor para asegurar que existe el par necesario en el eje del motor sin que surjan problemas de sobrecalentamiento.

### 2.1.1 Aplicaciones de los variadores de frecuencia

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

- **Transportadoras.** Controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, para dosificar, para evitar ruidos y golpes en transporte de botellas y envases, para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta, etc.
- **Bombas y ventiladores centrífugos.** Controlan el caudal, uso en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía porque el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal.
- **Bombas de desplazamiento positivo.** Control de caudal y dosificación con precisión, controlando la velocidad. Por ejemplo en bombas de tornillo, bombas de engranajes. Para transporte de pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, chocolates, miel, barro, etc.

- **Ascensores y elevadores.** Para arranque y parada suaves manteniendo la cupla del motor constante, y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.
- **Extrusoras.** Se obtiene una gran variación de velocidades y control total de la cupla del motor.
- **Centrífugas.** Se consigue un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.
- **Prensas mecánicas y balancines.** Se consiguen arranques suaves y mediante velocidades bajas en el inicio de la tarea, se evitan los desperdicios de materiales.
- **Máquinas textiles.** Para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen un tejido simétrico se pueden obtener velocidades del tipo random para conseguir telas especiales.
- **Compresores de aire.** Se obtienen arranques suaves con máxima cupla y menor consumo de energía en el arranque.
- **Pozos petrolíferos.** Se usan para bombas de extracción con velocidades de acuerdo a las necesidades del pozo.

- **Aceleración controlada**

La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal o en «S».

Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para la aplicación.

- **Variación de velocidad**

Un variador de velocidad no puede ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, es un sistema, rudimentario, que posee un mando controlado mediante las magnitudes eléctricas del motor con amplificación de potencia, pero sin bucle de realimentación: es lo que se llama «en bucle abierto».

La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamado consigna o referencia. Para un valor dado de la consigna,

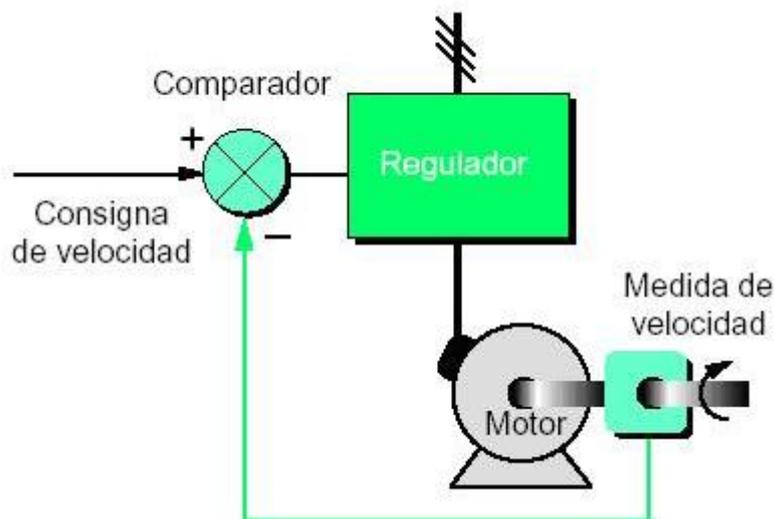
esta velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

- **Regulación de la velocidad**

Un regulador de velocidad es un dispositivo controlado (**figura 1**). Posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación: se denomina, «bucle cerrado».

La velocidad del motor se define mediante una consigna o referencia. El valor de la consigna se compara permanentemente con la señal de alimentación, imagen de la velocidad del motor. Esta señal la suministra un generador tacométrico o un generador de impulsos colocado en un extremo del eje del motor. Si se detecta una desviación como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial. Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones.

La precisión de un regulador se expresa generalmente en % del valor nominal de la magnitud a regular.



**Figura N° 1 Regulador de Velocidad**

**Fuente:** (Politecnico, 2009)

- **Deceleración controlada**

Cuando se desconecta un motor, su deceleración se debe únicamente al par resistente de la máquina (deceleración natural). Los arrancadores y variadores electrónicos permiten controlar la deceleración mediante una rampa lineal o en «S», generalmente independiente de la rampa de aceleración.

Esta rampa puede ajustarse de manera que se consiga un tiempo para pasar de la velocidad de régimen fijada a una velocidad intermedia o nula:

- Si la deceleración deseada es más rápida que la natural, el motor debe desarrollar un par resistente que se debe sumar al par resistente de la máquina; se habla entonces de frenado eléctrico, que puede efectuarse reenviando energía a la red de alimentación, o disipándola en una resistencia de frenado.

- Si la deceleración deseada es más lenta que la natural, el motor debe desarrollar un par motor superior al par resistente de la máquina y continuar arrastrando la carga hasta su parada.

- **Inversión del sentido de marcha**

La mayoría de los variadores actuales tienen implementada esta función. La inversión de la secuencia de fases de alimentación del motor se realiza automáticamente o por inversión de la consigna de entrada, o por una orden lógica en un borne, o por la información transmitida a mediante una red.

- **Frenado**

Este frenado consiste en parar un motor pero sin controlar la rampa de desaceleración. Con los arrancadores y variadores de velocidad para motores asíncronos, esta función se realiza de forma económica inyectando una corriente continua en el motor, haciendo funcionar de forma especial la etapa de potencia. Toda la energía mecánica se disipa en el rotor de la máquina y, por tanto, este frenado sólo puede ser intermitente. En el caso de un variador para motor de corriente continua, esta función se realiza conectando una resistencia en bornes del inducido.

- **Protección integrada**

Los variadores modernos aseguran tanto la protección térmica de los motores como su propia protección. A partir de la medida de la corriente y de una información sobre la velocidad (si la ventilación del motor depende de su velocidad de rotación), un microprocesador calcula la elevación de temperatura de un motor y suministra una señal de alarma o de desconexión en caso de calentamiento excesivo.

Además, los variadores, y especialmente los convertidores de frecuencia, están dotados de protecciones contra:

- los cortocircuitos entre fases y entre fase y tierra,
- las sobretensiones y las caídas de tensión,
- los desequilibrios de fases,
- el funcionamiento en monofásico.

### **2.1.2 Ventaja de los variadores de velocidad**

Cuando comparamos la alimentación de un variador de velocidad con la alimentación convencional de un motor notamos las siguientes ventajas:

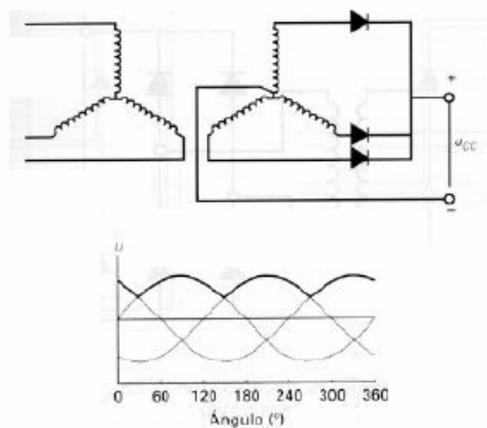
- Menor consumo. Con una alimentación convencional el motor funciona siempre a velocidad nominal. Con un variador la velocidad se ajusta a la velocidad necesaria. Por ejemplo en bombas de riego para regular el caudal se cierran las llaves de paso mientras que con un variador se reduce la velocidad de funcionamiento consumiendo menos.
- Instalación más sencilla con menos errores de cableado.
- Funciones de protección: límite de corriente, fallo de tierra, protección contra caída de tensión, etc.
- Arranque y paradas suaves. Alarga la vida del motor, evita daños en elementos auxiliares. Por ejemplo en bombas de pozo las arrancadas y paradas suaves eliminan los golpes de ariete que provocan rotura de válvulas, daños en las bombas, etc.

- Posibilidad de control y seguimiento por ordenador. Variadores pueden enviar información a un ordenador para su posterior análisis.
- Cubre necesidades de regulación. Por ejemplo en ventiladores permite controlar su velocidad en función de la temperatura.
- No usa contados ON/OFF. Esto proporciona seguridad y fiabilidad.
- Facilidad y seguridad para cambiar de sentido de giro.

## 2.2 Rectificadores no controlados de tensión fija. (Tecnologica, 2016)

El fenómeno de la rectificación se da porque los diodos van conmutando cíclicamente al circuito de cc sobre las fases de C A . Es la tensión de esta red la que va forzando el paso a conducción o bloqueo de los diodos, a esta conmutación se le llama forzada. Si sólo se rectifican las semiondas positivas de la tensión alterna tenemos un montaje de media onda y si se rectifican ambas semiondas, tenemos un montaje de onda completa.

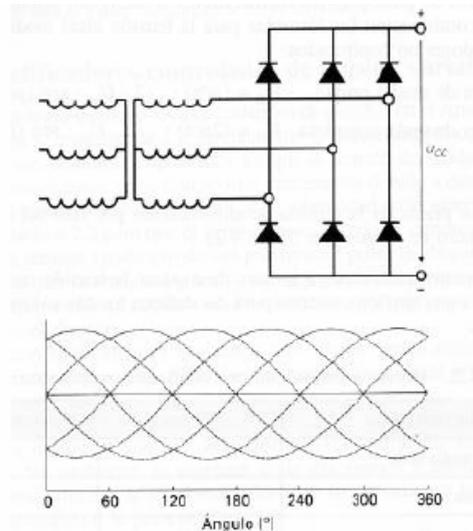
En los montajes de media onda la tensión no es continua pura, ya que exhibe cierto grado de rizado u oscilación en torno a su valor medio. Los diodos que conducen en cada momento son aquellos en los que la tensión de la fase en la que van conectados supera a la de las otras dos.



**Figura N° 2 Rectificador trifásico de media onda**

**Fuente:** (Tecnologica, 2016)

El rectificador trifásico de onda completa o puente de Graetz, está formado por seis diodos y tiene la ventaja del menor rizado. Este puente es de los más empleados en las aplicaciones industriales de potencia.



**Figura N° 3** Rectificador trifásico de onda completa. Puente de Graetz  
**Fuente:** (Tecnologica, 2016)

### 2.3 Rectificadores controlados de tensión variable.

Los esquemas son similares a los anteriores, cambiando los diodos por semiconductores controlables, que normalmente son tiristores, así lograremos que la tensión de salida sea variable y con prestaciones más interesantes debido a esta circunstancia.

El puente trifásico de onda completa o de Graetz es el más empleado desde el punto de vista industrial, ya que tiene las siguientes ventajas:

- Cargamos simétricamente línea trifásica.
- Se absorben menos armónicos de intensidad en la línea trifásica.
- La tensión continua es de rizado con menor amplitud y por tanto los filtros para alisado son menores.
- Las prestaciones dinámicas son mayores, ya que con seis pulsos se puede variar el ángulo de encendido seis veces por periodo.

## **2.4 Circuito intermedio.**

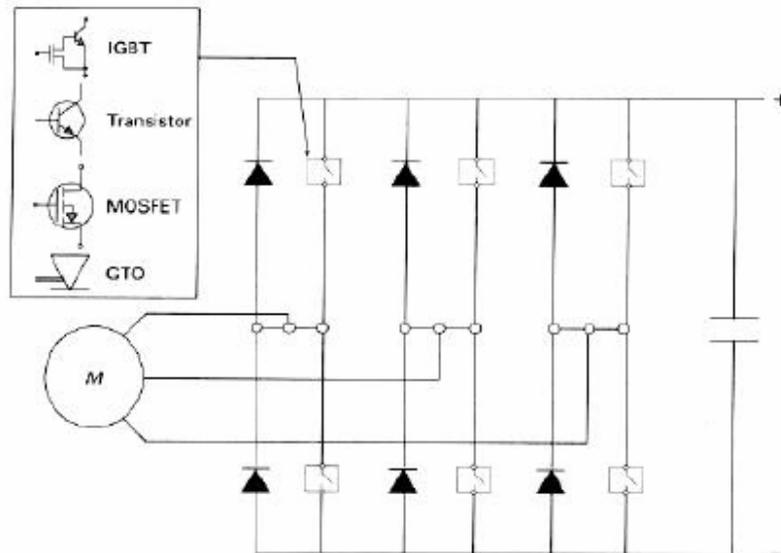
La etapa central es el denominado circuito intermedio de continua y que puede funcionar como fuente de tensión o intensidad para la etapa final del ondulator, según la disposición que se adopte. A veces al ondulator se le llama inversor tal como aparece en la figura, aunque es más correcto llamar inversor a todo el conjunto (rectificador, circuito intermedio y ondulator).

La función del circuito intermedio es alimentar la tercera etapa, es decir al ondulator, y esto puede hacerlo funcionando como fuente de tensión, en cuyo caso se colocaría un condensador electrostático entre los terminales (+) y (-) para mantener constante la tensión y daría lugar a un inversor con circuito intermedio de tensión. Cuando el circuito intermedio funciona como fuente de intensidad para el ondulator, se pone una inductancia en serie con una de sus ramas, su función es mantener constante la intensidad, y estaríamos hablando de un inversor con circuito intermedio de intensidad.

Según la configuración que se adopte las características del inversor son distintas y condiciona cuestiones tales como: armónicos, resistencia de frenado, gama de potencias, accionamiento para un solo motor o varios a la vez, etc.

### **2.4.1 Ondulator.**

El ondulator es un conmutador electrónico que comunica alternativamente la tensión o intensidad continua del circuito intermedio sobre las fases del motor de CA conectado a sus salidas. La disposición más común es el puente trifásico de Graetz y está formado por semiconductores controlables que pueden ser tiristores, tiristores desconectables por puerta (GTO), transistores de potencia, IGBT (transistor bipolar de puerta aislada o MOSFET (transistor de efecto campo de óxido metálico). De los anteriores el que más se está utilizando para motores industriales de BT es el IGBT.



**Figura N° 4** Conmutador Electrónico  
**Fuente:** (Tecnologica, 2016)

En función de la mayor o menor perfección del sistema de conmutación lograremos que las ondas de tensión a la salida hagan que las corrientes absorbidas se acerquen más o menos al sistema trifásico senoidal.

Hay distintas formas de regular la tensión de salida del inversor como son:

- Variar el valor de la tensión en el circuito intermedio.
- Variar el ancho de la zona de conducción de cada semionda de salida.
- Variar la tensión de salida en función de la proporción entre los tiempos de conexión y desconexión de los semiconductores de potencia mediante la técnica de regulación PWM (iniciales de M odulación del Ancho de Pulso, en inglés).

Además de regular la salida, este método tiene la ventaja de generar una onda de tensión de salida que mejora notablemente la onda de intensidad absorbida por el motor, lo cual hace que el motor funcione de forma semejante a si estuviera alimentado por tensiones senoidales de la red. Con ello se logra la grandísima ventaja de emplear motores normalizados de fabricación en serie sin la necesidad de fabricar motores específicos para poder ser regulados por convertidores.

## **2.5 Descripción general del motor síncrona (Nizama, 2013)**

Las máquinas síncronas son máquinas cuyo estator se encuentra alimentado por corriente alterna, en tanto el rotor tiene alimentación continua ya sea a través de un enrollado de campo o bien mediante imanes permanentes.

En términos prácticos, las máquinas síncronas tienen su mayor aplicación a altas potencia, particularmente como generadores ya sea a bajas revoluciones en centrales hidroeléctricas, o bien a altas revoluciones en turbinas de vapor o gas.

Cuando la máquina se encuentra conectada a la red, la velocidad de su eje depende directamente de la frecuencia de las variables eléctricas (voltaje y corriente) y del número de polos. Este hecho da origen a su nombre, ya que se dice que la máquina opera en sincronismo con la red. Por ejemplo, una máquina con un par de polos conectada a una red de 60 [Hz] girará a una velocidad fija de 3600 [RPM], si se tratara de una máquina de dos pares de polos la velocidad sería de 1800 [RPM] y así sucesivamente, hasta motores con 40 o más pares de polos que giran a bajísimas revoluciones.

Las máquinas síncronas también se emplean como motores de alta potencia (mayores de 10.000 [HP]) y bajas revoluciones.

Adicionalmente a la operación como motor y generador, el control sobre la alimentación del rotor hace que la máquina síncrona pueda operar ya sea absorbiendo o inyectando reactivos a la red en cuyo caso se conocen como reactor o condensador síncrono respectivamente.

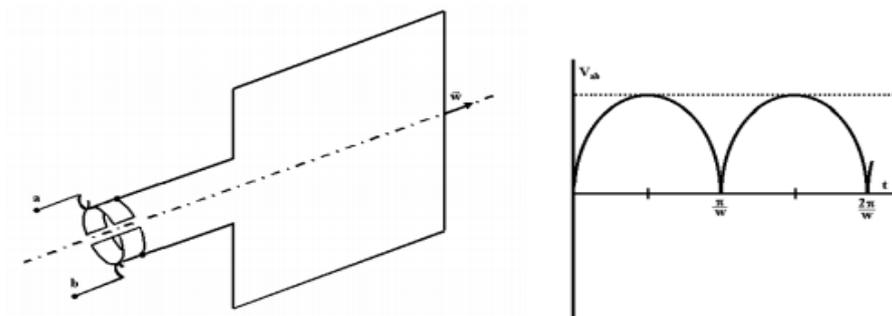
### **2.5.1 Generadores Eléctricos de corriente Continua**

Si una bobina gira entre dos polos magnéticos fijos, la corriente en la armadura circula en un sentido durante la mitad de cada revolución, y en el otro sentido durante la otra mitad (figura 5). Para producir un flujo constante de corriente en un sentido, o corriente continua, (figura 5), en un aparato determinado, es necesario disponer de un medio para invertir el flujo de corriente fuera del generador una vez durante cada revolución. En las máquinas antiguas esta inversión se llevaba a cabo mediante el colector de

delgas, un anillo de metal partido montado sobre el eje. Las dos mitades del anillo se aislaban entre sí y servían como bornes de la bobina.

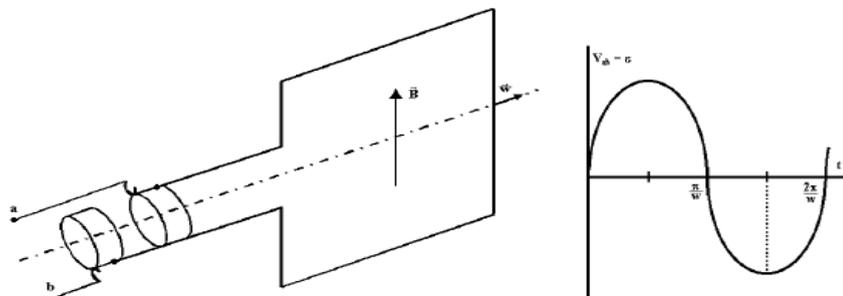
Los generadores modernos de corriente continua suelen estar formados por un gran número de bobinas agrupadas en hendiduras longitudinales en el rotor (inducido) y conectadas a los segmentos adecuados de un colector de delgas múltiple. Las escobillas conectan siempre la bobina que se mueve a través de un área de alta intensidad del campo, y como resultado la corriente que suministran las bobinas de la armadura es prácticamente constante.

El electroimán se excita por una corriente independiente o por autoexcitación, es decir, la propia corriente producida en la dinamo sirve para crear el campo magnético en las bobinas del inductor. Existen tres tipos de dinamo según sea la forma en que estén acoplados el inductor y el inducido: en serie, en derivación y en combinación.



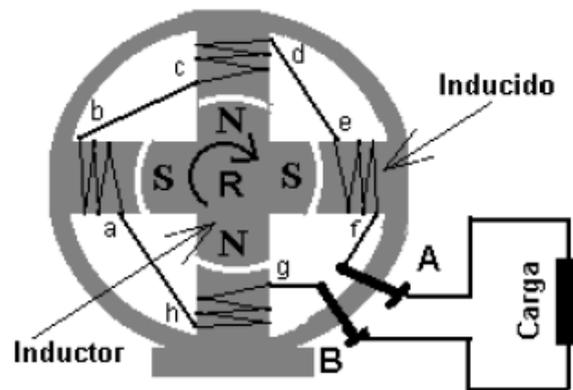
**Figura N° 5** Bobina de corriente continua, Corriente del Generador DC.  
Fuente: (Nizama, 2013)

## 2.5.2 Generadores Eléctricos de Corriente Alterna (Alternador)



**Figura N° 6** Bobina de corriente Alterna, Corriente del Generador AC  
Fuente: (Nizama, 2013)

Como se decía antes, un generador simple sin conmutador producirá una corriente eléctrica que cambia de sentido a medida que gira la armadura (figura 6). Este tipo de corriente alterna es ventajosa para la transmisión de potencia eléctrica. En su forma más simple, un generador de corriente alterna se diferencia de uno de corriente continua en sólo dos aspectos: los extremos de la bobina de su armadura están sacados a los anillos colectores sólidos y las bobinas de campo se excitan mediante una fuente externa de corriente continua más que con el generador en sí (figura 6).



**Figura N° 7** Generador de corriente Alterna  
Fuente: (Nizama, 2013)

Los generadores de corriente alterna de baja velocidad se fabrican con hasta 100 polos, para mejorar su eficiencia y para lograr con más facilidad la frecuencia deseada (figura 7). Los alternadores accionados por turbinas de alta velocidad, sin embargo, son a menudo máquinas de dos polos. La frecuencia de la corriente que suministra un generador de corriente alterna es la de la red a la que se conecta, en nuestro caso 60 Hz lo que supone en un generador de dos polos a 3800 r.p.m. (revoluciones por minuto).

### 2.5.3 Principio de funcionamiento del generador síncrono

A una máquina que convierte la energía mecánica en eléctrica se le denomina generador, alternador o dinamo.

El principio fundamental de operación de los alternadores sincrónicos, es que el movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético induce un voltaje en el conductor. Una fuente externa de energía de corriente continua (CC) o excitador se aplica a través de anillos colectores en el rotor. La fuerza del flujo, y por lo tanto el voltaje inducido en la armadura se regula mediante la corriente continua o directa y el voltaje suministrado al

campo. La corriente alterna es producida en la armadura debido a la inversión del campo magnético a medida que los polos norte y sur pasan por los conductores individuales.

La disposición más común es la de un electroimán cilíndrico que gira dentro de un conjunto de conductores estacionarios. La corriente que se genera mediante los alternadores aumenta hasta un pico, cae hasta cero, desciende hasta un pico negativo y sube otra vez a cero varias veces por segundo, dependiendo de la frecuencia para la que esté diseñada la máquina.

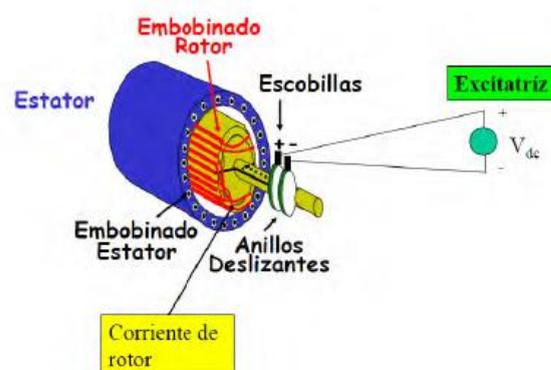
Este tipo de corriente se conoce como corriente alterna monofásica. Sin embargo, sí la armadura la componen dos bobinas, montadas a  $90^\circ$  una de otra y con conexiones externas separadas, se producirán dos ondas de corriente, una de las cuales estará en su máximo cuando la otra sea cero (bifásica).

Al agrupar tres bobinas de armadura en ángulos de  $120^\circ$ , se producirá corriente en forma de onda triple, conocida como corriente alterna trifásica. Se puede obtener un número mayor de fases incrementando el número de bobinas en la armadura, pero en la práctica de la ingeniería eléctrica moderna se usa sobre todo la corriente alterna trifásica.

Estructura general de un generador síncrono:

Una máquina eléctrica rotatoria trifásica se compone de un estator y rotor. Estos componentes se muestran en la figura 8.

- Estator: Su devanado consistente en espiras agrupadas en tres fases separadas por  $120^\circ$ .
- Rotor: consiste espiras concentradas en torno a polos y alimentadas con corriente continua a través del colector.



**Figura N° 8** Estructura general de un generador eléctrico  
**Fuente:** (Nizama, 2013)

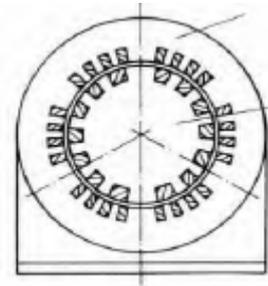
Las formas constructivas pueden ser de:

Polos salientes. (Figura 9).

Rotor cilíndrico. (Figura 10).



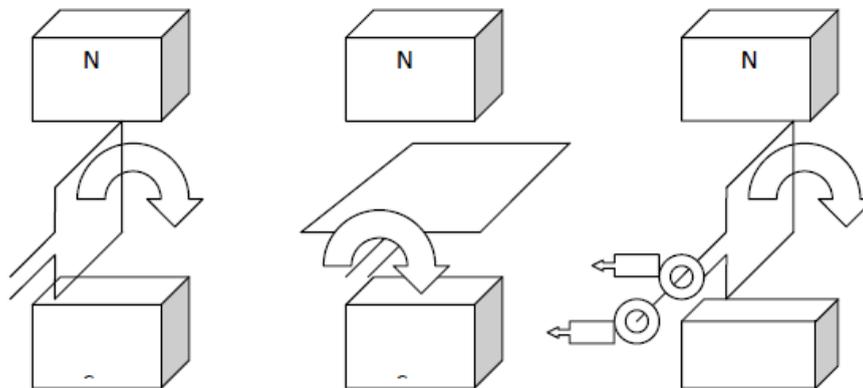
**Figura N° 9** Bobina de corriente Alterna.  
**Fuente:** (Nizama, 2013)



**Figura N° 10** Corriente del Generador AC.  
**Fuente:** (Nizama, 2013)

El funcionamiento de la máquina se basa en dos principios físicos:

- Inducción: si una espira se mueve a través de un campo magnético, o si está situada en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se establece o se induce una corriente eléctrica en ella.



**Figura N° 11** Espira en un campo magnético.  
**Fuente:** (Nizama, 2013)

Acción electrodinámica:

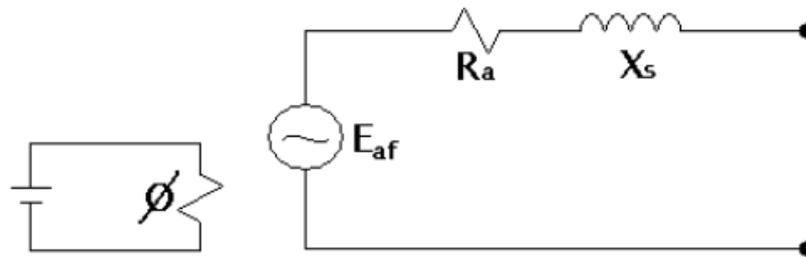
- Si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica sobre el conductor, tal como se muestra en la figura 11.

- El campo magnético de un imán permanente sólo tiene fuerza suficiente como para hacer funcionar una dinamo pequeño o motor. Por ello, en máquinas grandes se emplean electroimanes. Tanto los motores como los generadores tienen dos unidades básicas: el inductor, que crea el campo magnético y que suele ser un

electroimán, y la armadura o inducido, que es la estructura que sostiene los conductores que cortan el campo magnético y transporta la corriente inducida en un generador, o la corriente de excitación en el caso del motor. La armadura es por lo general un núcleo de hierro dulce laminado, alrededor del cual se enrollan los cables conductores.

#### 2.5.4 Circuito equivalente monofásico de un generador síncrono

El circuito monofásico equivalente de un generador síncrono viene representado en la figura 12.



**Figura N° 12** Circuito equivalente monofásico del GS.  
**Fuente:** (Nizama, 2013)

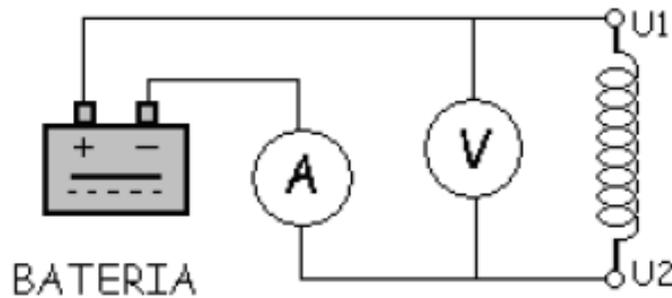
De este circuito, solo nos centraremos en el circuito de armadura, en la cual se tienen tres cantidades que son fundamentales en el comportamiento del generador síncrono, las cuales son:

- La tensión inducida ( $E_{af}$ ), producidas gracias al flujo que se genera al circular la corriente de campo por su respectivo circuito.
- La resistencia de armadura ( $R_a$ ).
- La reactancia síncrona ( $X_s$ ).

Para determinar estos valores se realizan principalmente tres pruebas, la prueba resistencia de armadura, la prueba de vacío y la prueba de cortocircuito.

##### - **Prueba de resistencia de armadura.**

Esta prueba consiste en hacer uso de una fuente de corriente continua en cada fase de la armadura, aplicando el método del voltio amperimétrico, como se muestra en la figura 13.



**Figura N° 13** Conexión de la prueba de resistencia de armadura.  
**Fuente:** (Nizama, 2013)

De cuyas mediciones se obtiene que:

$$R_a = \frac{1}{2} \left( \frac{V_{Dc}}{A} \right) \quad \text{Para conexiones en } Y \quad (1)$$

$$R_a = \frac{3}{2} \left( \frac{V_{Dc}}{A} \right) \quad \text{Para conexiones en } \Delta \quad (2)$$

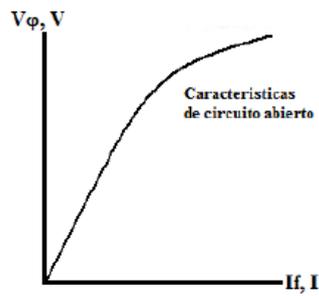
Cabe mencionar que si la prueba se realiza con corriente continua, el valor de la resistencia obtenida debe ser ajustado, en primer lugar por temperatura (a temperatura de trabajo), y posteriormente por el efecto piel, para finalmente obtener el valor de la resistencia en corriente alterna.

- **Prueba de vacío.**

Esta prueba consiste, como dice su nombre, en colocar el generador en vacío, es decir sin carga alguna en sus bornes, haciéndolo girar a su velocidad nominal y con corriente de campo igual a cero.

Al ir aumentando gradualmente el valor de la corriente de campo, se obtienen diversos valores de  $E_{af}$  y ya que la corriente que circula por la armadura siempre será cero ( $I_a = 0$ ) debido que se encuentra en vacío, se obtendrá que  $E_{af} = V\phi$ .

a ésta prueba, con los valores obtenidos, se puede formar "La curva de características de vacío" ( $E_{af}$  vs  $I_f$ ) que permite encontrar la tensión interna generada por una corriente de campo dada. Ver figura 14.

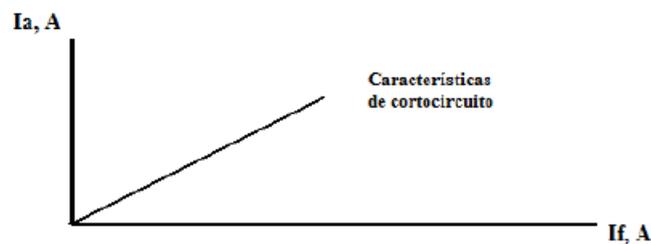


**Figura N° 14** Curvas de las características de vacío.  
**Fuente:** (Nizama, 2013)

Se debe notar que en un principio, la curva es prácticamente una recta, (ver figura 26), esto es debido a que al inicio la fuerza magnetomotriz se ejerce en el entrehierro, y el incremento de la corriente de campo es casi lineal.

**- Prueba de cortocircuito.**

Finalmente se tiene la prueba de cortocircuito, el cual consiste en llevar nuevamente la corriente de campo a cero, para luego cortocircuitar los bornes del generador y proseguir a ir incrementando la corriente de campo, obteniéndose la figura 15.



**Figura N° 15** Curva de características de cortocircuito.  
**Fuente:** (Nizama, 2013)

Se observa que al contrario de la curva en vacío, en esta prueba se obtiene una recta, esto es debido a que los campos magnéticos que se generan al conectar la armadura en cortocircuito, prácticamente se anulan, produciendo un campo neto pequeño como se muestra en el diagrama fasorial (figura 16) siguiente; provocando que la máquina no se sature, obteniendo así la recta de la gráfica.

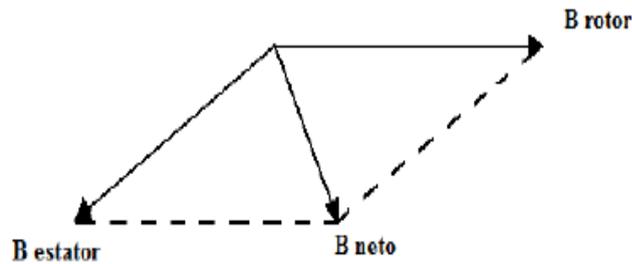


Figura N° 16 Diagrama fasorial de campos.

Fuente: (Nizama, 2013)

Posteriormente, con los datos de las dos gráficas obtenidas, para un valor de corriente de campo dada, se tiene que:

$$Z_s = \frac{E_{af}}{I_a} \quad (3)$$

Entonces, haciendo uso del valor de la resistencia:

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_a^2} \quad (4)$$

Ya que generalmente  $X_s$  es  $\gg R_a$  y se puede asumir que:

$$X_s = \frac{E_{af}}{I_a} \quad (5)$$

Por último, hay que tener en cuenta que estas ecuaciones son aplicables hasta el punto de saturación de la curva de vacío, ya que después, los valores obtenidos en las ecuaciones son aproximados.

#### - Otras pruebas.

Como complemento, se puede decir que a los generadores síncronos se les debe someter a otras pruebas, entre las cuales tenemos:

Prueba de aislamiento: Mide el aislamiento entre las bobinas y también entre las bobinas y la carcasa.

Prueba de calentamiento: Mide la temperatura de trabajo del generador a plena carga. Pruebas bajo carga resistiva, inductiva, capacitiva y mixta.

## 2.5.5 Alimentación eléctrica de motores asíncronos (Weinbissinger, 2010)

### 2.5.5.1 Motores no conectados a un variador.

En la actualidad, las máquinas asíncronas se utilizan con frecuencia como motores, con una escala de potencia que va desde unos cuantos vatios hasta varios cientos de kilovatios. En el caso de las aplicaciones que requieren una potencia superior a varios kilovatios, los motores asíncronos funcionan únicamente con fuentes de alimentación de CA trifásicas.

Debido a la sensibilidad de un proceso o a la naturaleza crítica de determinadas aplicaciones, la red puede sustentarse en un sistema de alimentación ininterrumpida o SAI.

Durante el proceso de arranque, las corrientes de irrupción pueden alcanzar unos valores de RMS entre 4 y 7 veces los valores nominales, mientras que el par aumenta hasta 1,5 a 2,4 veces el par nominal. Los tiempos de arranque depende de la inercia de la masa en movimiento, la velocidad rotacional final y el par de aceleración del motor.

Los valores pico de corriente son todavía mayores y pueden alcanzar 10 veces el valor de RMS nominal.

Las corrientes de irrupción altas y la impedancia de línea provocan una caída de tensión en la línea de distribución, sobre todo en el caso de las cargas cercanas al motor.

Existen muchas maneras de limitar las corrientes de arranque. Éstas son las más habituales: Arranque Y/ $\Delta$  Autotransformador

#### a) Arranque Suave

En algunas aplicaciones muy especiales, el reóstato del rotor también es una solución. La opción elegida depende del equilibrio entre aplicación y costes.

Tabla 1: Corrientes y pares de arranque en función de los métodos de arranque:

	Corriente de línea de arranque	Par de arranque
Directo en línea (D.E.L.)	4-7 $I_n$	1,5-2,4 $T_n$
Y/ $\Delta$	1,6-2,8 $I_n$	0,5-0,8 $T_n$
Autotransformador	4-7 $(V_s/V_n) I_n$	1,5-2,4 $(V_s/V_n)^2 T_n$
Arranque suave	4-7 $(V_s/V_n) I_n$	1,5-2,4 $(V_s/V_n)^2 T_n$
Variador de velocidad	1-1,5 $I_n$	1-1,5 $T_n$

Donde  $V_s$  es la tensión aplicada a los bornes del motor durante el arranque, y  $V_n$ ,  $I_n$  y  $T_n$  son los valores nominales de tensión, corriente y par, respectivamente.

El proceso de arranque provoca tensión térmica en el motor eléctrico, por lo que podría dañarse si los arranques son prolongados o frecuentes. Si se reduce la corriente de arranque podría reducirse demasiado el par, y se corre el riesgo de que aumente el tiempo de arranque.

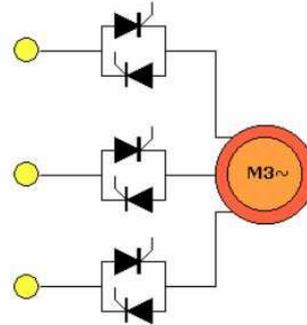
En cuanto al factor de potencia, es de 0,1 cuando no hay carga y de 0,5 a 0,9 o más (a menudo 0,75 a 0,85) en su funcionamiento nominal. El valor varía considerablemente según las características del motor (número de polos y potencia). El funcionamiento del SAI en estado de equilibrio, cuando alimenta a un motor de inducción, es casi estándar, ya que las corrientes son sinusoidales y están equilibradas. Es importante tener en cuenta las corrientes de irrupción y el factor de potencia a la hora de elegir el tamaño del SAI.

#### **2.5.5.2 Motores alimentados por variadores.**

Por motivos de economía y robustez, los motores de inducción se utilizan asociados a variadores electrónicos con una frecuencia cada vez mayor.

### a) Arranque Suave

Está formado por dos tiristores montados en fila (o un triac). Retrasando la entrada del tiristor en cada alternación, es posible reducir la tensión RMS aplicada al estátor del motor.



**Figura N° 17** Arranque suave  
**Fuente:** (Weinbissinger, 2010)

Debido a su débil rango de variación de velocidad en el motor de jaula estándar, el uso más extendido del arranque suave es el arranque de máquinas con un par de resistencia parabólica

$$C = f(v) = \alpha \cdot v^2$$

Ejemplos: Ventiladores, bombas.

En estos dos ejemplos, la velocidad se puede controlar en un rango muy limitado. Esta capacidad de velocidad variable se limita normalmente a unidades pequeñas.

Finalmente, el arranque suave es un grupo electrógeno de armónicos. Su aplicación básica es accionar bombas con una potencia nominal del motor de entre 3 y 630 kW. La limitación de la corriente de arranque se puede regular normalmente entre 2 y 5 veces la corriente nominal.

### b) Armónicos generados por el arranque suave

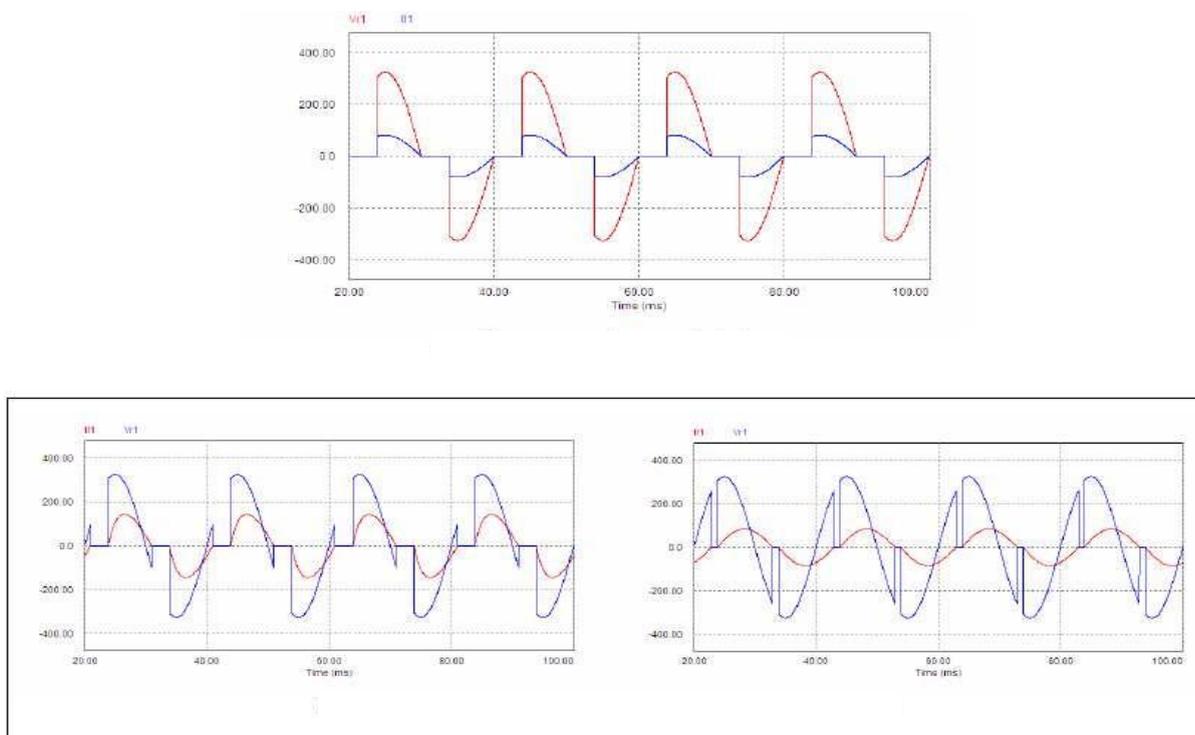
Cuando la forma de voltaje no es sinusoidal y, por tanto, en condiciones de voltaje parcial, hay siempre presencia de armónicos. La absorción del motor junto con la limitación de conducción controlada por el arranque suave producen la presencia de los armónicos  $3^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $7^{\circ}$ ;  $9^{\circ}$ ,  $11^{\circ}$  y más, con el efecto correspondiente en el tamaño del SAI.

### c) Factor de Potencia

Las formas de voltaje y de corriente están lejos de ser sinusoidales, ya que se cortan para reducir las altas corrientes de irrupción incompatibles con la planta situada corriente arriba. El factor de potencia también está vinculado a la forma, ya que la misma potencia activa suministrada por formas de onda no sinusoidales tiene un factor de potencia inferior a la suministrada por ondas sinusoidales.

En los siguientes gráficos es posible ver que las formas de corriente pueden estar más o menos próximas a la forma sinusoidal según el valor de tensión RMS necesario.

Ejemplos de forma de onda:



**Figura N° 18** arranque suave en carga resistiva (arriba) y carga resistiva-inductiva (abajo)

**Fuente:** (Weinbissinger, 2010)

Las curvas anteriores muestran que con un arranque suave:

- La corriente pico de la fuente de alimentación es dos veces menor que la del arranque D.E.L.
- La corriente de arranque tiene componentes armónicos fuertes 5, 7, 11 y 13. El armónico  $3^{\circ}$  y sus múltiplos no están presentes en el ejemplo anterior debido a la conexión de estrella.

Con el fin de garantizar la calidad de la fuente de alimentación ( $THDU < 5\%$ ) de las cargas que están en paralelo con el arranque suave, en general, el valor nominal del SAI debe reducirse en un 20%. Por ejemplo, un SAI de 100 kVA será adecuado para alimentar una carga formada por arranque suave hasta un máximo de 80 kVA. El arranque suave no causa ningún riesgo de reinyección de potencia al SAI ni a la red.

#### d) **Corriente de Interrupción**

El arranque suave reduce la corriente de irrupción de una relación ( $V_S/V_n$ ). Esto significa que el arranque puede necesitar corrientes del SAI superiores incluso a su capacidad de sobrecarga y que deben considerarse en la fase de selección del SAI.

## **2.6 Variadores de Velocidad**

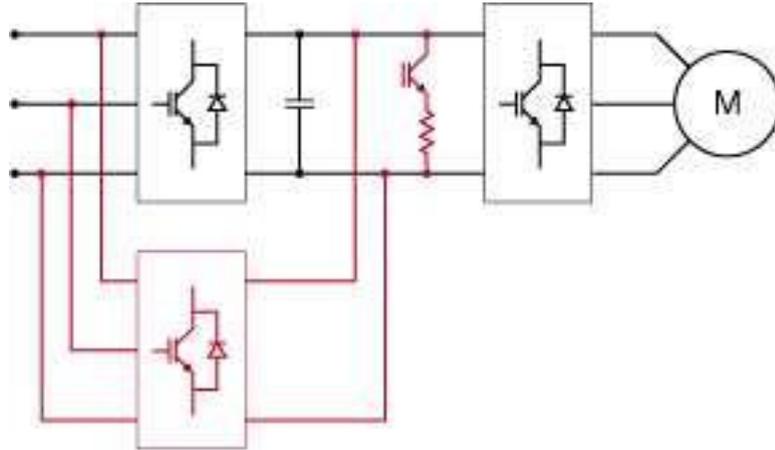
Al igual que los SAI, el variador de velocidad incorpora un módulo de CA/CC y uno de CC/CA. Hay diferentes dispositivos disponibles en el mercado, como: Externos o integrables en PDU.

Un CA/CC centralizado para muchos módulos de CC/CA (uno por motor).

La segunda solución se aplica generalmente en aplicaciones de gran potencia, como los laminadores. Las tres topologías más comunes son las siguientes, respectivamente: 2 cuadrantes (la energía sólo circula de la red al motor).

Con resistencia de frenado (la energía puede circular desde los motores y hacia ellos, pero en este caso se disipa sobre una resistencia situada en el bus de CC).

4 cuadrantes (la energía puede circular desde los motores y hacia ellos, pero en este caso se reinyecta a la red); conocida también como Active Front End (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.)



**Figura N° 19** Variador de velocidad (tanto resistencia de frenado como Active Front End)  
**Fuente:** (Weinbissinger, 2010)

### 2.6.1 Armónico

Casi todos los variadores producen niveles elevados de armónicos de tensión de entrada. Estos armónicos de corriente generan una distorsión en la tensión de salida del SAI.

La regulación de la tensión de salida del SAI debe compensar los efectos de estos armónicos y mantener la estabilidad del sistema (SAI + variador + motor + carga). La presencia de armónicos, así como las corrientes de arranque, obligan a reducir el valor nominal del SAI. La finalidad de esta reducción es garantizar un funcionamiento estable y un valor máximo del 5% de distorsión en la tensión de salida. El factor de reducción habitual para aplicaciones industriales es aproximadamente del 40%.

La distorsión de tensión genera corrientes fuertes en los condensadores en la salida del SAI. La finalidad de la reducción nominal de potencia también es proteger estos componentes.

Aplicar soluciones de filtración de armónicos en la entrada del variador de velocidad evita una reducción nominal de potencia del SAI considerable

## **2.6.2 Sobrecarga del Motor y cortocircuito del variador**

Los variadores de velocidad actuales protegen el motor contra las sobrecargas. Normalmente, limitan las corrientes a aproximadamente 1,5 veces la corriente nominal durante un minuto cada diez o cinco minutos. Como consecuencia, es suficiente que el SAI soporte sobrecargas del 150%, aproximadamente. La duración exacta depende de la aplicación. Dado que normalmente los variadores de velocidad no permiten sobrecargas superiores al 150% durante 1 minuto a 25 °C y durante 30 segundos a 30 °C, el SAI puede funcionar a plena carga. Para sobrecargas mayores deben aplicarse factores de reducción nominal al SAI.

En caso de cortocircuito en el variador de velocidad, el SAI limita la corriente. Por tanto, debe comprobarse la selectividad entre la protección del variador de velocidad y la corriente de cortocircuito del SAI.

## **2.6.3 Factor de potencia de entrada del variador de velocidad**

El factor de potencia puede variar mucho, según el modelo de variador. Se aconseja proporcionar el modelo de variador exacto para evitar reducciones nominales inútiles.

### **2.6.3.1 Reinyección de Potencia**

Algunos variadores de velocidad tienen la capacidad de reinyectar la energía a la red eléctrica. Debe prestarse especial atención a este hecho ya que, generalmente, los SAI no están diseñados para admitirlo. La capacidad de los SAI para absorber la energía reinyectada depende del nivel de carga de las baterías conectadas directamente al bus de CC. La desventaja es que las baterías se ven sometidas a demasiada tensión cuando se repite con demasiada frecuencia. Se trata de una solución parcial que mejora la situación pero no resuelve el problema, y que debe utilizarse con precaución.

#### **2.6.4 Ciclos y Arranque**

La existencia de ciclos de carga es aún más cierta para motores alimentados por variador de velocidad. Según la amplitud, duración y frecuencia de ciclo, algunos componentes del SAI se desgastan antes de hora (p. ej. baterías, IGBT, etc.)

En caso de ciclos de carga frecuentes, generalmente el SAI utiliza las baterías para intentar compensar la caída de voltaje del bus de CC. Si no se tiene en cuenta lo anterior al escoger el tamaño del SAI, puede producirse una descarga progresiva y, a largo plazo, un desgaste prematuro de las baterías.

Una buena forma de evitar este problema es utilizar un dispositivo que mantenga la tensión de CC constante y reaccione con rapidez a las demandas de energía. Estas características son típicas de los sistemas de almacenamiento de energía basados en volante de inercia (flywheel).

La mejor manera de prolongar la estabilidad de la tensión de BUT y del bus de CC es tener tanto la batería como el volante de inercia en paralelo.

Durante el arranque se observan fenómenos similares, pero con mucha menos frecuencia. Por tanto, se pueden admitir hasta 10 ciclos de arranque distribuidos de forma uniforme a lo largo del día.

#### **2.6.5 Funcionabilidad en Modo Batería**

Cuando los procesos mencionados anteriormente se producen sin alimentación de la red antes del SAI, la batería sufre una tensión aún mayor, ya que no hay un rectificador que la apoye alimentando al inversor del SAI.

#### **2.6.6 Selección de un variador de velocidad** (Electric, 2015)

Para definir el equipo más adecuado para resolver una aplicación de variación de velocidad, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- **Tipo de carga:** Par constante, par variable, potencia constante, cargas por impulsos.
- **Tipo de motor:** De inducción rotor jaula de ardilla o bobinado, corriente y potencia nominal, factor de servicio, rango de voltaje.
- **Rangos de funcionamiento:** Velocidades máximas y mínimas. Verificar necesidad de ventilación forzada del motor.
- **Par en el arranque:** Verificar que no supere los permitidos por el variador. Si supera el 10% del par nominal es conveniente sobredimensionar al variador.
- **Frenado regenerativo:** Cargas de gran inercia, ciclos rápidos y movimientos verticales requieren de resistencia de frenado exterior.
- **Condiciones ambientales:** Temperatura ambiente, humedad, altura, tipo de gabinete y ventilación.
- **Aplicación multimotor:** Prever protección térmica individual para cada motor. La suma de las potencias de todos los motores será la nominal del variador.
- **Consideraciones de la red:** Microinterrupciones, fluctuaciones de tensión, armónicas, factor de potencia, corriente de línea disponible, transformadores de aislamiento.
- **Consideraciones de la aplicación:** Protección del motor por sobretensión y/o sobrecarga, contactor de aislamiento, bypass, rearmado automático, control automático de la velocidad.
- **Aplicaciones especiales:** Compatibilidad electromagnética, ruido audible del motor, bombeo, ventiladores y soplores, arranque, motores en paralelo, etc.

## 2.6.7 Circuito Recomendado

El circuito para utilizar un variador debe constar con algunos de los siguientes elementos:

- **Interruptor automático:** La corriente de línea corresponde a la corriente absorbida por el variador a la potencia nominal de utilización, en una red impedante que limite la corriente de cortocircuito a:
  - kA para una tensión de alimentación de 400v- 0Hz.
  - kA para una tensión de alimentación de 40v- 0Hz.
  
- **Contactor de línea:** Este elemento garantiza un seccionamiento automático del circuito en caso de una emergencia o en paradas por fallas. Su uso junto con el interruptor automático garantiza la coordinación tipo de la salida y facilita las tareas de puesta en marcha, explotación y mantenimiento. La selección es en función de la potencia nominal y de la corriente nominal del motor en servicio S1 y categoría de empleo AC1
  
- **Inductancia de línea:** Estas inductancias permiten garantizar una mejor protección contra las sobretensiones de red, y reducir el índice de armónicos de corriente que produce el variador, mejorando a la vez la distorsión de la tensión en el punto de conexión. Esta reducción de armónicos determina una disminución del valor rms de corriente tomado de la fuente de alimentación, y una reducción del valor rms de corriente tomado por los componentes de la etapa de entrada del inversor (rectificador, contactor de precarga, capacitores).

La utilización de inductancias de línea está especialmente recomendada en los siguientes casos:

- Red muy perturbada por otros receptores (parásitos ,sobretensiones
- Red de alimentación con desequilibrio de tensión entre fases  $>1, \%$  de la tensión nominal.

- Variador alimentado por una línea muy poco impedante (cerca de transformadores de potencia superior a 10 veces el calibre del variador). La inductancia de línea mínima corresponde a una corriente de cortocircuito  $I_{cc}$  de 1000 A
- Instalación de un número elevado de con vertidores de frecuencia en la misma línea.
- Reducción de la sobrecarga de los condensadores de mejora del  $\cos \phi$ , si la instalación incluye una batería de compensación de factor de potencia. La selección es de acuerdo a la corriente nominal del variador y su frecuencia de conmutación.

Existen inductancias estándar para cada tipo de variador:

- **Filtro de radio perturbaciones:** estos filtros permiten limitar la propagación de los parásitos que generan los variadores por conducción, y que podrían perturbar a determinados receptores situados en las proximidades del aparato (radio, televisión, sistemas de audio, etc.). Estos filtros sólo pueden utilizarse en redes de tipo TN (Puesta al neutro) y TT (neutro a tierra). Existen filtros estándar para cada tipo de variador. Algunos variadores los traen incorporados de origen.

- **Resistencia de frenado:** Su función es disipar la energía de frenado, permitiendo el uso del variador en los cuadrantes 3 y 4 del diagrama par-velocidad. De este modo se logra el máximo aprovechamiento del par del motor, durante el momento de frenado y se conoce como frenado dinámico.

La instalación de esta resistencia es muy sencilla: se debe ubicar fuera del gabinete para permitir su correcta disipación, y el variador posee una bornera donde se conecta directamente. De acuerdo al factor de marcha del motor se determina la potencia que deberá disipar la resistencia. Existen tablas para realizar esta selección. El valor óhmico de la resistencia es característico del variador y no debe ser modificado.

## CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS

## 2.1. Directrices de Diseño de la Fuente de Alimentación (Instruments, 2015)

Como en cualquier regulador de conmutación, el diseño del circuito de placa impresa es muy importante. Cambiar rápidamente corrientes asociado con la inductancia de cableado, la capacitancia parásita e inductancia parásita de las trazas de circuitos impresos pueden generar transitorios de tensión que pueden generar interferencias electromagnéticas (EMI) y afectan a la deseada operación. Como se indica en la Figura 20, para reducir al mínimo inductancia y los bucles de tierra, la longitud de los cables indicada por líneas gruesas deben mantenerse lo más corto posible.

Para obtener los mejores resultados, de un solo punto de conexión a tierra (como se indica) o construcción plano de tierra se debe utilizar.

Otra parte sensible del circuito es la retroalimentación. Es importante mantener el cableado de realimentación sensible corto. A asegurar esto, localice físicamente las resistencias de programación cerca al regulador, cuando se utiliza la versión ajustable de la Regulador LM2596.

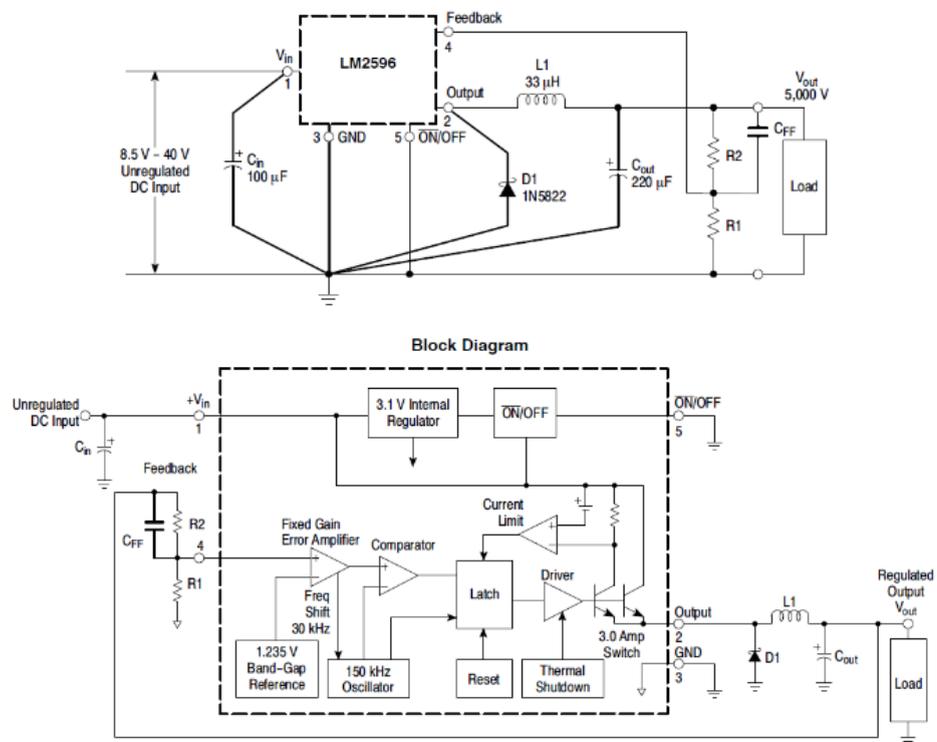


Figura N° 20 Circuito típico de voltajes ajustables.  
Fuente: (Instruments, 2015)

### 2.1.1. Procedimiento del diseño

El LM2596 es un " Buck " o convertidor reductor que es el convertidor de modo de avance más elemental. Es básica esquemática se puede ver en la Figura 21.

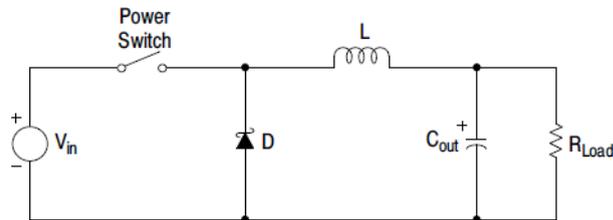


Figura N° 21 Circuito convertidor básico.

Fuente: (Instruments, 2015)

El funcionamiento del regulador de esta topología tiene dos distintos períodos de tiempo. El primero ocurre cuando el interruptor en serie es en adelante, el voltaje de entrada está conectado a la entrada del inductor.

La salida del inductor es la tensión de salida y el rectificador (o capturas diodo) está polarizado inversamente. Durante este período, ya que existe una fuente de tensión constante conectado a través del inductor, la corriente del inductor comienza a linealmente la rampa hacia arriba, tal como se describe por la siguiente ecuación:

$$I_{L(on)} = \frac{(V_{IN} - V_{out})t_{on}}{L} \quad (6)$$

Durante este periodo "on", la energía se almacena en el núcleo el material en forma de flujo magnético. Si el inductor es correctamente diseñado, hay suficiente energía almacenada para llevar los requisitos de la carga durante el período "off".

El próximo período es el período "off" del interruptor de encendido.

Cuando el interruptor de encendido se apaga, el voltaje a través del inductor invierte su polaridad y se sujeta en un diodo caída de tensión por debajo del suelo por el diodo captura. El actual ahora fluye a través del diodo capturas manteniendo así la carga lazo de corriente. Esto elimina la energía almacenada del inductor. La corriente del inductor durante este tiempo es:

$$I_{L(off)} = \frac{(V_{out} - V_D)t_{off}}{L} \quad (7)$$

Este período termina cuando el interruptor de encendido está una vez más encendido. Reglamiento del convertidor se lleva a cabo variando el ciclo de trabajo del interruptor de encendido. Es posible describir el ciclo de trabajo de la siguiente manera:

$$d = \frac{t_{on}}{T} \quad (8)$$

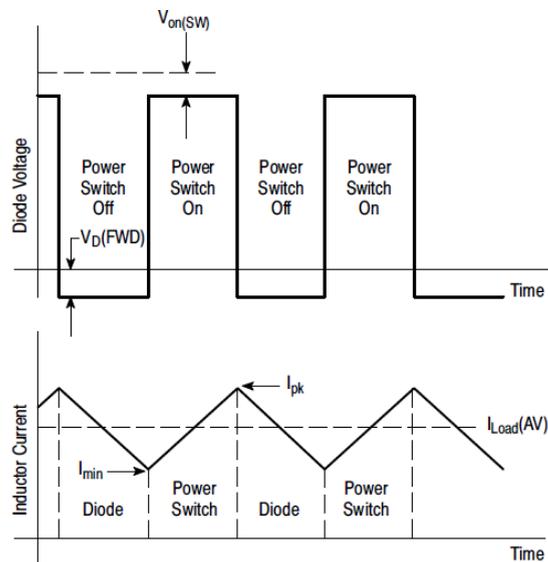
Donde:

$t$  : Período de conmutación.

Para el convertidor reductor con componentes ideales, el deber ciclo también se puede describir como:

$$d = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (9)$$

La figura 40, muestra el convertidor buck, formas de onda idealizadas de la tensión de diodo de captura y la corriente del inductor.



**Figura N° 22** Formas de ondas de un circuito convertidor básico.

**Fuente:** (Instruments, 2015)

### 2.1.2. Procedimiento (ajustable versión de salida: LM 2596)

- **Parámetros:**

$V_{out}$  = salida de voltaje regulado. 1,23 a 12 VDC

$V_{in(max)}$  = Ingreso máximo de DC 20 VDC

$I_{carga(max)}$  = Máxima corriente de carga 3 amperios.

- **Programación Voltaje de salida**

Para seleccionar la resistencia de la programación de la derecha R1 y R2 valor (ver figura 22) utiliza la siguiente fórmula:

$$V_{out} = V_{ref} \left( 1.0 + \frac{R2}{R1} \right) \quad \text{Donde } V_{ref} = 1.23 V \quad (10)$$

La resistencia R1 puede ser de entre 1,0 kΩ y 5,0 kΩ. (Para un mejor coeficiente de temperatura y la estabilidad con el tiempo, use 1% resistencias de película de metal).

$$V_{out} = 1.23 \left( 1.0 + \frac{R2}{R1} \right) \quad \text{seleccionando } R1 = 1.0 k\Omega \quad (11)$$

$$R2 = R1 \left( \frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1.0 \right) \quad (12)$$

Pero como tenemos una tensión de salida variable usaremos R2. Como una resistencia variable de control de 10KΩ.

#### i. Selección del condensador de ingreso ( $C_{in}$ )

Para evitar grandes distorsiones de tensión que aparece en la entrada y para un funcionamiento estable del convertidor, Se necesita condensador tántalo de derivación electrolítica entre el pin de entrada +  $V_{in}$  y el pin de tierra GND Este condensador debe ser situado cerca de la IC mediante cables cortos. Este condensador debe tener un valor bajo ESR (Resistencia serie equivalente).

Para obtener información adicional, consultamos la Tabla 1, y seleccionamos el valor de: 220 μf, 35 V condensador electrolítico.

**Tabla 2:**

Valores recomendados de entrada y salida del capacitor.

Nichicon PM Capacitors								
C <sub>in</sub> (V)	Capacitance/Voltage/ESR (μF/V/mΩ)							
40	1500/35/26	1000/35/29	1000/35/29	680/35/36	560/25/55	560/25/55	470/35/46	470/35/46
26	1200/35/26	820/35	680/35/36	560/35/41	470/25/65	470/25/65	330/35/60	
22	1000/35/29	680/35/36	560/35/36	330/25/85	330/25/85	220/25/85		
20	820/35/32	470/35/46	470/35/46	330/25/85	330/25/85	220/25/85		
18	820/35/32	470/35/46	470/35/46	330/25/85	330/25/85	220/25/85		
12	820/35/32	470/35/46	220/35/85	220/25/111				
10	820/35/32	470/35/46	220/35/85					
C <sub>out</sub> (V)	2	4	6	9	12	15	24	28
C <sub>if</sub> (nF)	40	15	5	2	1.5	1	0.6	0.6

Fuente: (Instruments, 2015)

- **Selección de diodos de captura (D1)**
  - Puesto que la corriente pico máximo del diodo, supera el regulador de carga de corriente máxima de la corriente del diodo la calificación debe ser al menos 1,2 veces mayor que el máximo corriente de carga. Para un diseño óptimo el diodo debe tener una corriente nominal igual al límite máximo actual de la LM2596 para ser capaz de soportar un corto de salida continua.
  - El valor de la tensión inversa del diodo debe ser al menos 1,25 veces la tensión de entrada máxima.
  - Para el diseño se debe utilizar un diodo de 30V 1N5824 Schottky o cualquier diodo de recuperación rápida sugerido en la Tabla 2.

**Tabla N 3:**

Selección del diodo Schottky.

VR	Schottky				Fast Schottky			
	3.0 A		4.0 A - 6.0 A		3.0 A		4.0 A - 6.0 A	
	Through Hole	Surfase Mount	Through Hole	Surfase Mount	Through Hole	Surfase Mount	Through Hole	Surfase Mount
20 V	1N 5820 MB320P SR302	SK32	1N5823 SR502 SB520					
30 V	1N 5821 MBR330 SR303 31DQ03	SK33 30WQ03	1N5824 SR503 SB530	50WQ03	MUR320 31DF1 HER302 (all diodes rated to at least 100V)	MUR320T3 MURD320 30WF10 (all diodes rated to at least 100V)	MUR420 HER602 (all diodes rated to at least 100V)	MURD620CT 50WF10 (all diodes rated to at least 100V)
40 V	1N 5822 MBR340 SR304 31DQ04	SR34 30WQ04 MBRS340T3 MBRD340	1N5825 SR504 SB540	MBRD640CT 50WQ04				
50 V	MBR350 31DQ05 SR305	SK35 30WQ05	SB550	50WQ05				
60 V	MBR360 DQ06 SR306	MBRS360T3 MBRD360	50SQ080	MBRD660CT				

Fuente: (Instruments, 2015)

- **Selección del inductor ( L1 )**

- Utilizando la siguiente fórmula para calcular el Volt inductor x microsegundos [V x s] constante:

$$ExT = (V_{IN} - V_{OUT} - V_{SAT}) \times \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} - V_{SAT} + V_D} \times \frac{1000}{150KHz} (V \times \mu s) \quad V \quad (13)$$

Donde:

$V_{SAT}$  = carga interna de saturacion del interruptor = 1.16

$V_D$  = caida de tension directa del diodo = 0.5

$$ExT = (20 - 12 - 1.16) \times \frac{12+0.5}{20-1.16+0.5} \times \frac{1000}{150KHz} (V \times \mu s) \quad (14)$$

$$ExT = (6.84) \times \frac{12.5}{19.34} \times 6.6 (V \times \mu s) \quad (15)$$

$$ExT = 29.18 (V \times \mu s) \quad (16)$$

- El valor E x T calculado con el correspondiente número en el eje vertical del valor del Inductor seleccionar, se muestra en la Figura 41. Este E x T es una constante medida de la capacidad de manejo de energía de un inductor y depende del tipo de núcleo, la zona núcleo, la número de vueltas, y el ciclo de trabajo.

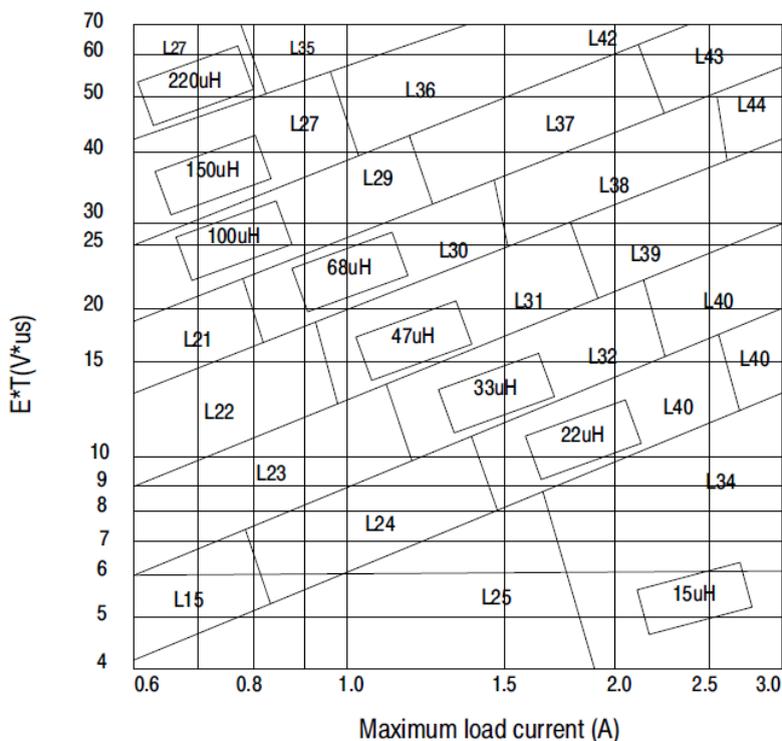


Figura N° 23 Selección de la inductancia.

Fuente: (Instruments, 2015)

El siguiente paso es identificar la región de la inductancia atravesado por el valor de T E X y el valor de la corriente de carga máxima en el eje horizontal como se muestra en la Figura 41.

$$I_{\text{salida}}(\text{max}) = 3.0 \text{ A}$$

Región de la inductancia = L40

- Seleccione un inductor adecuado de la Tabla 3. El inductor elegido debe estar dimensionado para una conmutación frecuencia de 150 kHz y para una corriente nominal de  $1,15 \times I_{\text{Load}}$ .

El valor de la corriente del inductor también puede ser determinado por el cálculo de la corriente de pico del inductor:

$$I_{p(\text{max})} = I_{\text{Load}(\text{max})} + \frac{(V_{\text{in}} - V_{\text{out}})t_{\text{on}}}{2L} \quad (16)$$

$$t_{\text{on}} = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} * \frac{1.0}{f_{\text{osc}}} \quad (17)$$

**Tabla 4:**

Partes de la manufactura de los inductores.

	Inductance (µH)	Current (A)	Sohott		Renco		Pulse Ingineering		Coilcraft
			Through Hole	Surfase Mount	Through Hole	Surfase Mount	Through Hole	Surfase Mount	Surfase Mount
L15	22	0.99	67148350	67148460	RL-1284-22-43	RL1500-22	PE-53815	PE-53815-S	DO3308-223
L21	68	0.99	67144070	67144450	RL-5471-5	RL1500-68	PE-53821	PE-53821-S	DO3316-683
L22	47	1.17	67144080	67144460	RL-5471-6		PE-53822	PE-53822-S	DO3316-473
L23	33	1.4	67144090	67144470	RL-5471-7		PE-53823	PE-53823-S	DO3316-333
L24	22	1.7	67148370	67148480	RL-1283-22-43		PE-53824	PE-53824-S	DO3316-223
L25	15	2.1	67148380	67148490	RL-1283-15-43		PE-53825	PE-53825-S	DO3316-153
L26	330	0.8	67144100	67144480	RL-5471-1		PE-53826	PE-53826-S	DO5022P-334
L27	220	1	67144110	67144490	RL-5471-2		PE-53827	PE-53827-S	DO5022P-224
L28	150	1.2	67144120	67144500	RL-5471-3		PE-53828	PE-53828-S	DO5022P-154
L29	100	1.47	67144130	67144510	RL-5471-4		PE-53829	PE-53829-S	DO5022P-104
L30	68	1.78	67144140	67144520	RL-5471-5		PE-53830	PE-53830-S	DO5022P-683
L31	47	2.2	67144150	67144530	RL-5471-6		PE-53831	PE-53831-S	DO5022P-473
L32	33	2.5	67144160	67144540	RL-5471-7		PE-53832	PE-53832-S	DO5022P-333
L33	22	3.1	67148390	67148500	RL-1283-22-43		PE-53833	PE-53833-S	DO5022P-223
L34	15	3.4	67148400	67148790	RL-1283-15-43		PE-53834	PE-53834-S	DO5022P-153
L35	220	1.7	67144170		RL-5473-1		PE-53835	PE-53835-S	
L36	150	2.1	67144180		RL-5473-2		PE-53836	PE-53836-S	
L37	100	2.5	67144190		RL-5472-1		PE-53837	PE-53837-S	
L38	68	3.1	67144200		RL-5472-2		PE-53838	PE-53838-S	DO5040H-663ML
L39	47	3.5	67144210		RL-5472-3		PE-53839	PE-53839-S	DO5040H-473ML
L40	33	3.5	67144220	67148290	RL-5472-4		PE-53840	PE-53840-S	DO5040H-333ML
L41	22	3.5	67144230	67148300	RL-5472-5		PE-53841	PE-53841-S	DO5040H-223ML
L42	150	2.7	67148410		RL-5473-4		PE-53842	PE-53842-S	
L43	100	3.4	67144240		RL-5473-2		PE-53843		
L44	68	3.4	67144250		RL-5473-3		PE-53844		DO5040H-683ML

**Fuente:** (Instruments, 2015)

Valor adecuado del inductor es de 33  $\mu$ H /3.4 A. de acuerdo a la tabla 3

- **Selección del capacitor de salida ( $C_{out}$ )**

Dado que el LM2596 es un regulador de conmutación en modo hacia adelante con el control de modo de tensión, su bucle abierto tiene 2 polos - 1 – cero característica de frecuencia. La estabilidad del bucle se determina por el condensador de salida (capacitancia, ESR) y la inductancia los valores.

Para valores estables utilización operación recomendada de la salida condensadores en la Tabla 4. ESR condensadores electrolíticos de baja entre 220 $\mu$ F and 1500 $\mu$ F proporcionar mejores resultados.

El voltaje condensadores debe ser de al menos 1,5 veces mayor que la tensión de salida y, a menudo mucho más alto voltaje es necesaria para satisfacer el requisito de baja ESR.

- **Capacitor de compensación ( $C_{FF}$ )**

Se proporciona estabilidad adicional principalmente para voltajes de entrada más altas. Para un ( $C_{FF}$ ) se utiliza la selección Tabla 1. El condensador de compensación entre 0,6 nF y 40 nF está cableado en paralelo con el ajuste de tensión de salida resistor R2, el tipo condensador puede ser de cerámica, plástico, etc.

En este diseño se recomienda usar un capacitor de compensación de 15 nf o 5 nf.



**Figura N° 24** Fuente de alimentación con el LM 2596.  
**Fuente:** (Instruments, 2015)

Descripción:

- Voltaje de entrada: 3.2 V-40 V
- Tensión de salida: 1.25 V-35 V

- Corriente de salida: 3A (máx.)
- Eficiencia de transferencia: 92% (máx.)
- Frecuencia de conmutación: 65 KHz
- Módulo tamaño: 43mm (longitud) \* 21mm (ancho)

## 2.2. Selección de los elementos usados en el montaje del Módulo Motor-Generador

(Lorenzo & Jose, 2016)

**Tabla 5:**

### Elementos utilizados para el modulo motor generador

ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION
01	01	U	Generador sincrónico trifásico de 1000W, 3600 rpm, 240 V, 60 Hz
02	01	U	Motor trifásico de 1hp, 1800 rpm, 220 V, 60 Hz.
03	01	U	Acoplamiento mecánico de quijada de goma 2"
04	01	U	Skid para montaje de grupo Motor – Generador.
05	01	U	Módulo de pruebas metálico, con doble fondo galvanizado.
06	01	U	Juego de bases anti vibratorio para motor.
07	01	U	Kit de pernos y tuercas galvanizados para fijación.
09	01	U	Kit de ruedas poliméricas con seguro anti deslizante.
10	01	U	Interruptor termo magnético trifásico 220 V. 20 A.
11	03	U	Porta fusibles tipo RT 03 - 32 AC 400 V 100KVA.
12	03	U	Fusibles tipo RT 03 - 32 3 Amp. 220 V.
13	01	U	Contactador Trifásico LC1 D18; 18 Amp.; 220 V.
14	12	U	Conector hembra; banana 4mm; 30; 60 VCC; 59mm;
15	02	U	Pulsador Start-Stop para arranque del motor.
16	01	U	Piloto de señalización de línea out color rojo 220V.
17	03	U	Piloto de señalización de líneas color verde 220V.
18	03	U	Medidores Digitales de tensión 220 VAC. RST.
19	03	U	Amperímetro analógico AC YOCOAWA hasta 10 A.
20	01	U	Amperímetro analógico DC hasta 30 A.
21	01	U	Amperímetro analógico DC hasta 5 A.
22	02	U	Voltímetro analógico DC hasta 20 A.
23	01	U	Tarjeta de Rectificación y Control de Voltaje DC.
24	01	U	Resistencias Shunt para acondicionamiento corriente DC

**Fuente:** (Lorenzo & Jose, 2016)

### 2.3. Selección de los elementos para la Implementación de un variador de velocidad al Módulo Motor-Generador

**Tabla 6:**

**Elementos utilizados para el modulo motor-generador**

ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION
01	01	U	Transformador 380 V a 220 V
02	01	U	Variador de Velocidad VFD022EL23A

**Fuente: Propia**

#### 2.3.1. Ubicación de los Elementos y accesorios en el Modulo Motor-Generador

- a) Módulo motor - generado antes de la implementación.



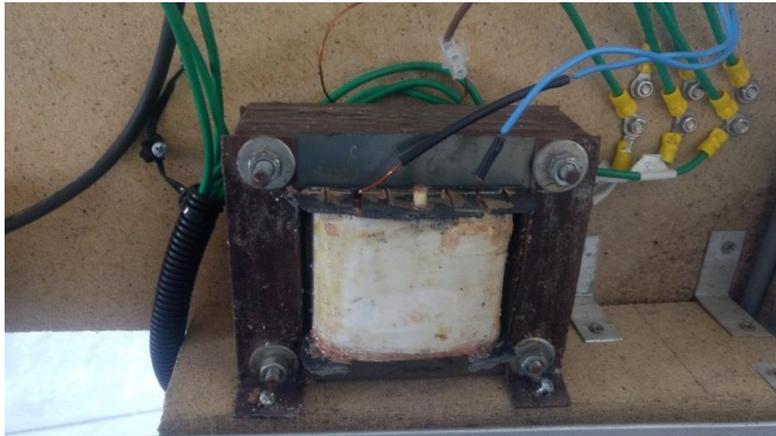
**Figura N° 25** Modulo motor – generador.  
**Fuente:** (Lorenzo & Jose, 2016)

- b) Variador de Velocidad



**Figura N° 26** Variador de Velocidad  
**Fuente:** Propia

c) Transformador 380 – 220 V



**Figura N° 27** Transformador 380-220V  
Fuente: Propia

d) Modulo Motor-Generador implementado el variador de velocidad.



**Figura N° 28** Modulo Motor-Generador con variador  
Fuente: Propia

e) Pruebas del Módulo Motor-Generador



**Figura N° 29** Prueba del módulo Motor-Generador variando la excitación  
Fuente: Propia



**Figura N° 30** Prueba del módulo Motor-Generador variando la frecuencia en el variador  
Fuente: Porpia

### 2.3.2. Descripción del diseño del Módulo Motor-Generador.

El Módulo Motor-Generador se realizó del concepto de seguridad en la operación y confiabilidad del equipo, se diseñó para que requiera el mínimo posible de mantenimientos, por cuanto se trata de un equipo experimental a ser utilizado y mantenido por personal no especializado.

El diseño adicional al módulo motor-generador comprende de un variador de velocidad acoplado modulo, los cuales se encuentran girando a la misma velocidad acoplados por un acoplamiento de goma flexible.

El variador de Velocidad, aquella que simule la fuente primaria que accionará el motor-generador, es un variador de 2.2 kW, cuyas características nominales son: voltaje 380-440 [V] trifásico, modelo VFD022EL23A,

El arranque y parada se comanda usando un contactor que funciona mediante un control básico con pulsadores de arranque y parada.

El generador sincrónico es una máquina de dos polos, la resistencia del bobinado de campo, alimentado mediante escobillas sobre anillos rozantes es de 40.7 [ohm] aproximadamente. El voltaje máximo de operación del campo es 12 [VDC] y la corriente máxima del devanado de campo es 300 [mA].

Se instalaron medidores analógicos para las magnitudes DC del campo del generador y medidores digitales full equipados para las magnitudes AC. Las lecturas se tomarán de la entrada principal del tablero de experimentación y a la salida del generador sincrónico.

### 2.3.3. Manual de operación del Módulo Motor-Generador

#### AVISO DE SEGURIDAD



#### ADVERTENCIA:

Antes de la instalación, puesta en servicio y manipulación del Sistema, es necesario leer cuidadosamente todas las instrucciones de seguridad y las notas de advertencias, incluyendo todos los rótulos de advertencia fijados a los equipos.

Hay que asegurarse de que los rótulos de advertencia se mantengan legibles y sustituir los rótulos perdidos o dañados.

#### Definiciones y Advertencias

#### PELIGRO:

Significa que se producirá la muerte, lesiones graves o daños materiales considerables si no se toman las precauciones adecuadas.



#### ADVERTENCIA:

Significa que se pueda producirse la muerte, lesiones graves o daños materiales si no se toman las precauciones adecuadas.



## PERSONAL CALIFICADO

Para los fines de las instrucciones de uso y de la ejecución de prácticas de laboratorio en el módulo una “persona calificada” es alguien que está familiarizado con los equipos, utilización, puesta en servicio y operación del equipo que además conoce los peligros implicados.

Dicha persona deberá tener las siguientes calificaciones:

Formado y autorizado a poner en operación el módulo y el uso adecuado de equipos de protección de acuerdo con los procedimientos de seguridad establecido

### 2.3.4. Módulo de Operación Manual

SECUENCIA LÓGICA SUGERIDA EN OPERACIÓN NORMAL, Para llevar a cabo las prácticas de laboratorio descritas en el anexo.

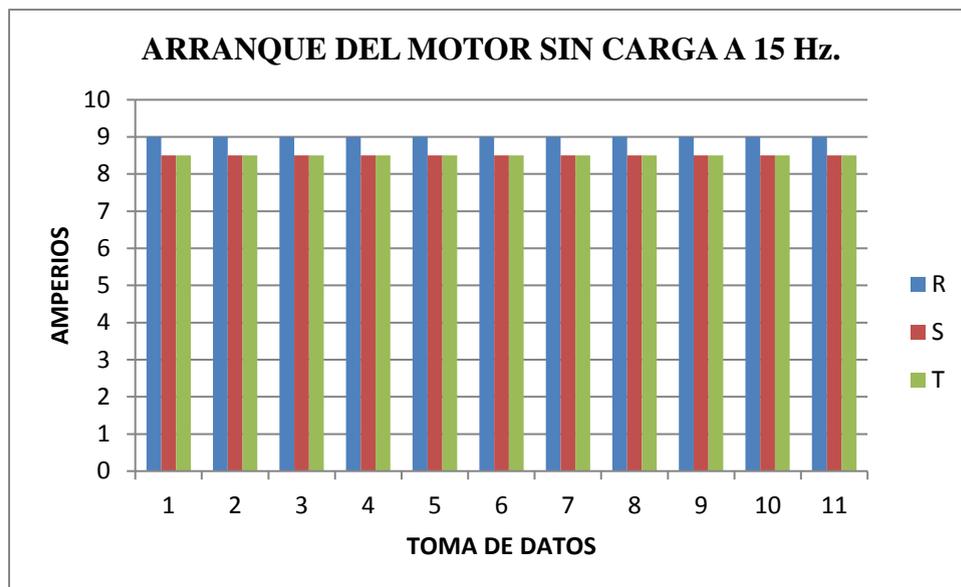
1. El Asistente de Laboratorio antes de operar a posición **ON** el interruptor principal del tablero deberá confirmar:
  - ❖ Potenciómetro de la Tarjeta de DC en Mínima Posición.
  - ❖ Conexiones del Motor Asíncrono realizadas.
  - ❖ Encendido de los 03 medidores digitales (RST).
  - ❖ Cargas desconectadas.
2. Una vez confirmadas estas condiciones, operar el interruptor principal a posición **ON**.
  - ❖ Luz de piloto encendido de color rojo.
  - ❖ Presionar el Botón **START**.
3. Revisar que la Programación del Variador de Velocidad este correcto antes de darle **RUN**
4. Continuar en orden de operación del módulo para realizar las pruebas del generador, mediante Potenciómetro de la Tarjeta de DC.

# CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

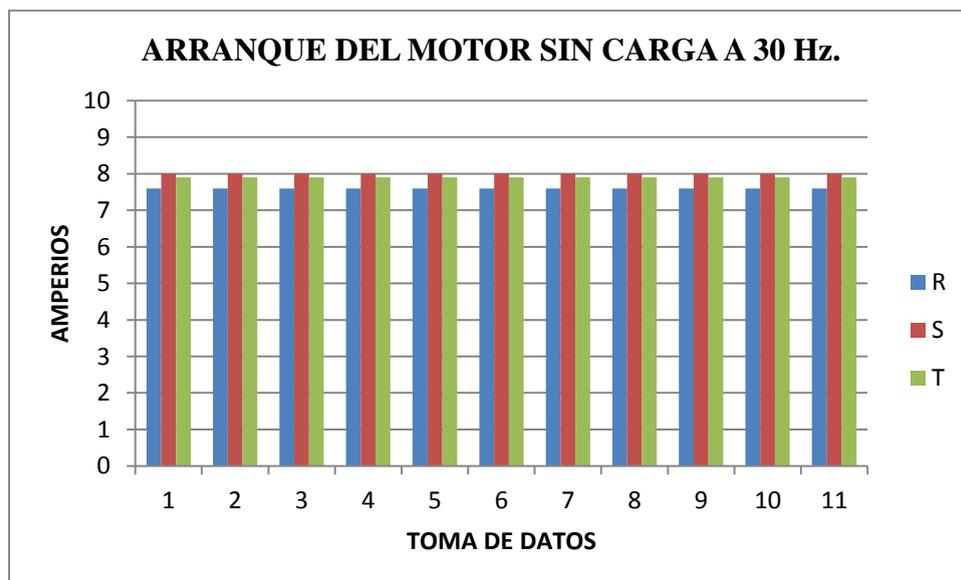
## 2.4. SIN CARGA

### a) Arranque de motor sin carga en el modulo

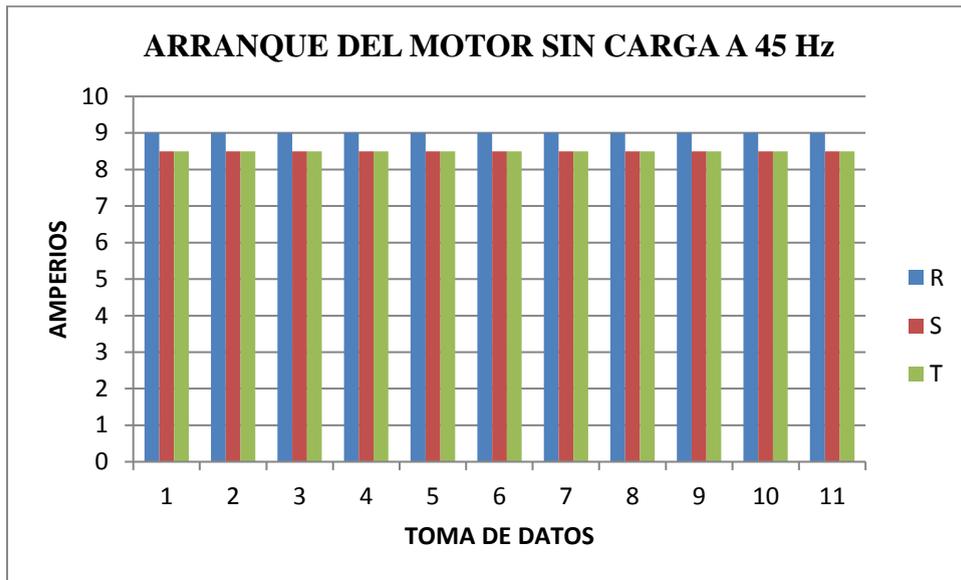
Se realizó el arranque de un motor sin carga en el módulo a diferentes frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente, se tomó 11 datos de la variación del excitador.



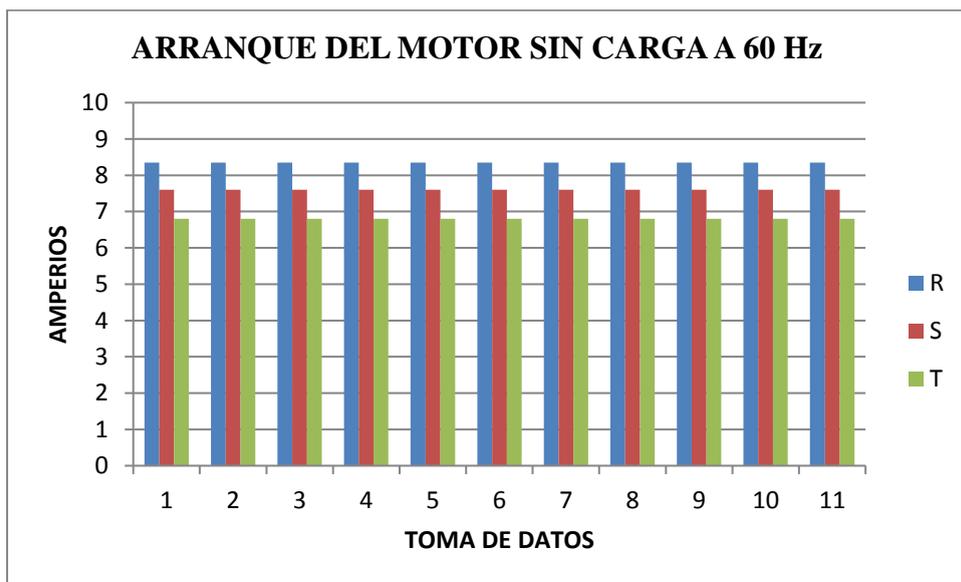
**Grafica 1** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios, sin carga en el módulo a 15Hz



**Grafica 2** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios, sin carga en el módulo a 30Hz



**Gráfica 3** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios, sin carga en el módulo a 45Hz



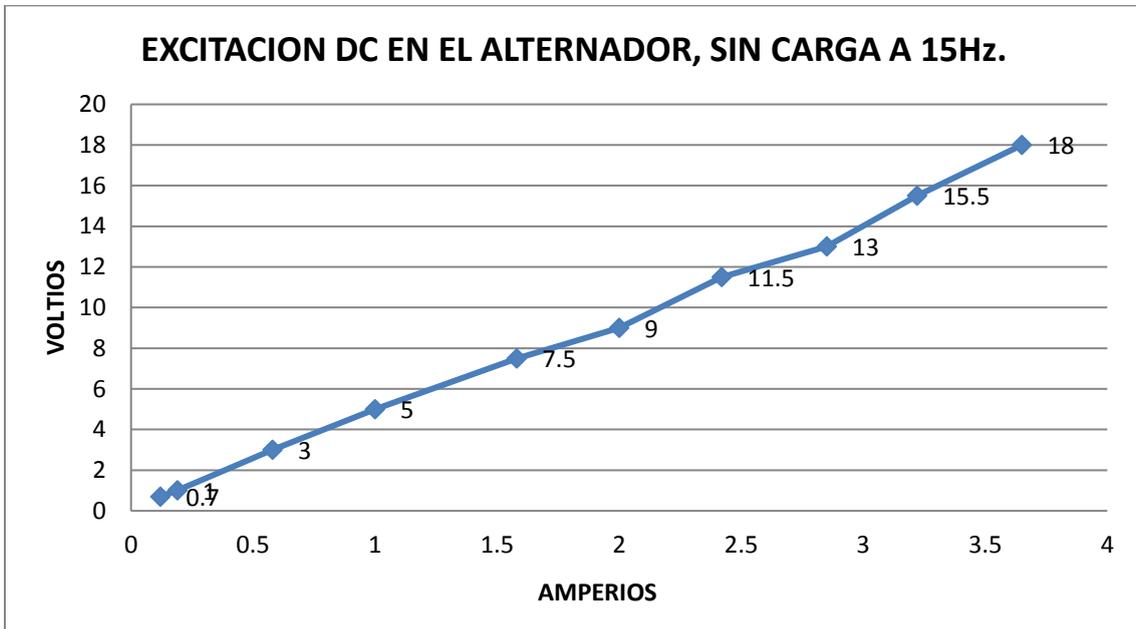
**Gráfica 4** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios, sin carga en el módulo a 60Hz

**Descripción:**

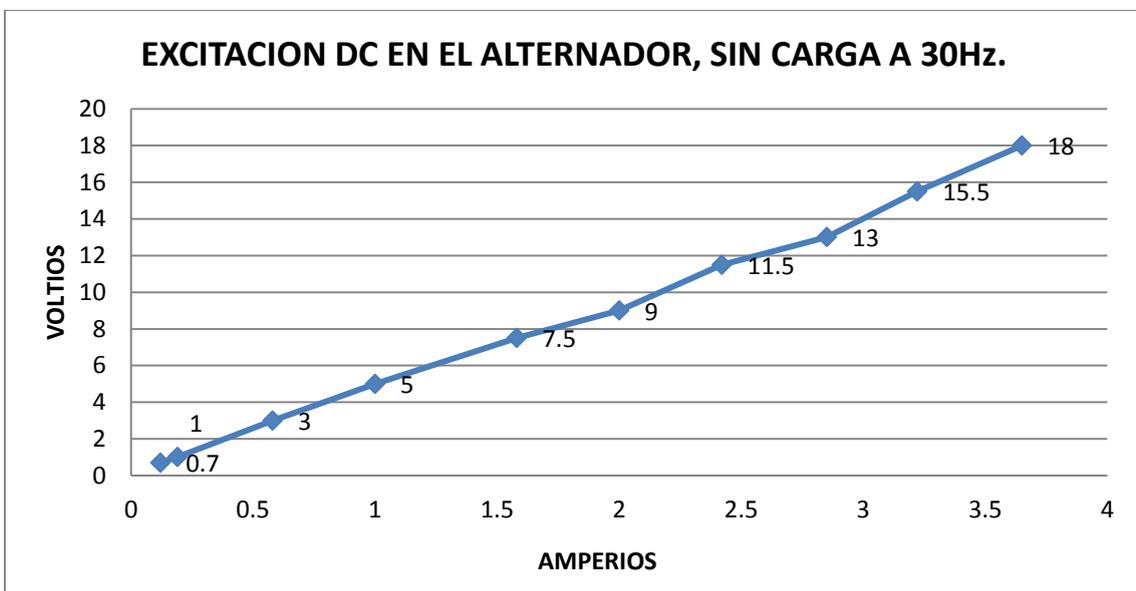
Los resultados graficados son los datos obtenidos del arranque del motor, sin carga en el módulo, en cada una de las Gráficas (N° 01, 02, 03 y 04), se puede observar el comportamiento individual de cada una de las fases que alimenta nuestro motor, las cuales al aumentar la frecuencia baja mínimamente su consumo de Amperio (A), a 15Hz tiene un consumo mayor a 8.5 A y logra regularizarse a una frecuencia de 60 HZ con un promedio de 7.5 A como se observa en la Gráfica N° 04.

**b) Excitación DC en el alternador, sin carga en el modulo**

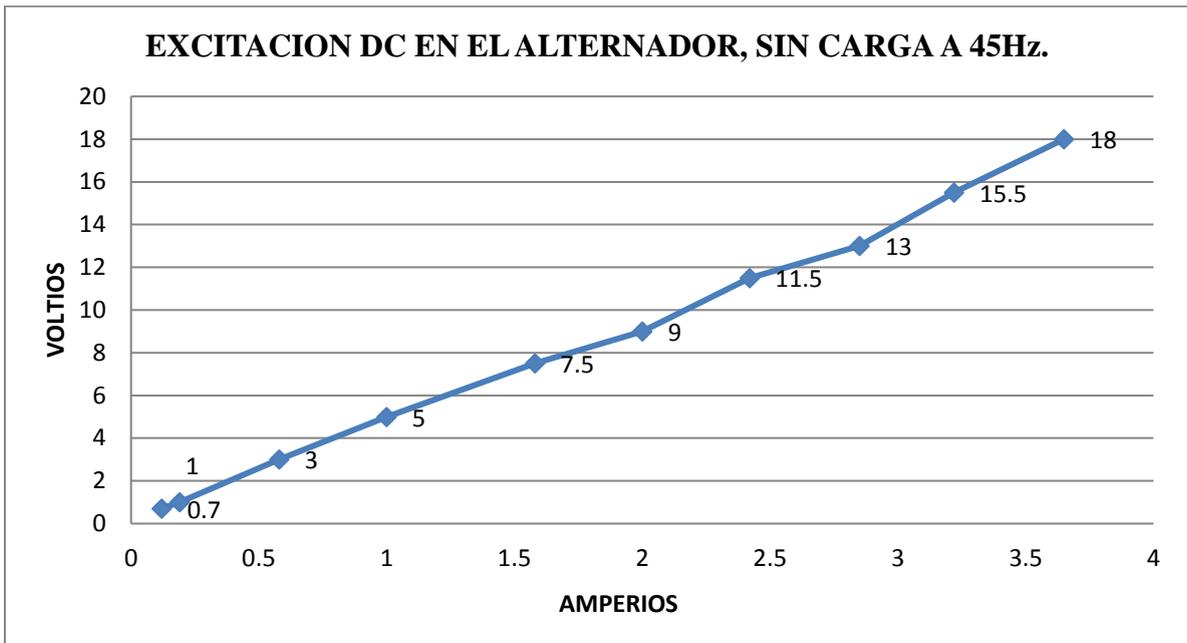
Variación del excitador en el alternador, sin carga en el módulo a las frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



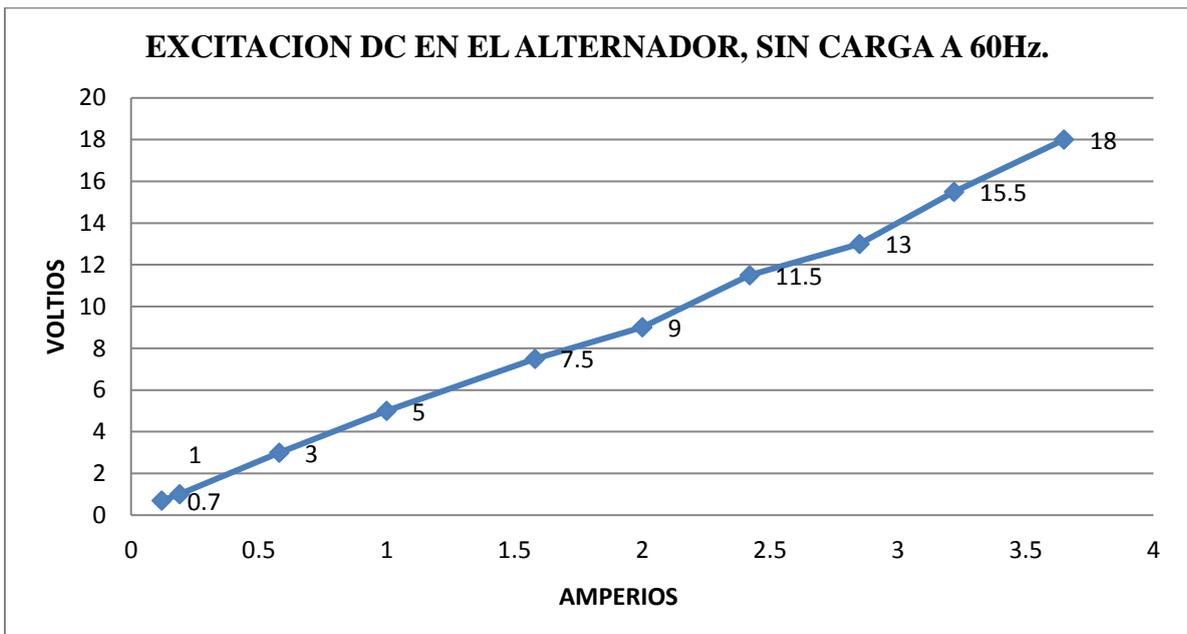
**Grafica 5** Corriente y voltaje de excitación en el alternador, sin carga en el módulo a 15Hz.



**Grafica 6** Corriente y voltaje de excitación en el alternador, sin carga en el módulo a 30Hz.



**Grafica 7** Corriente y voltaje de excitación en el alternador, sin carga en el módulo a 45Hz.



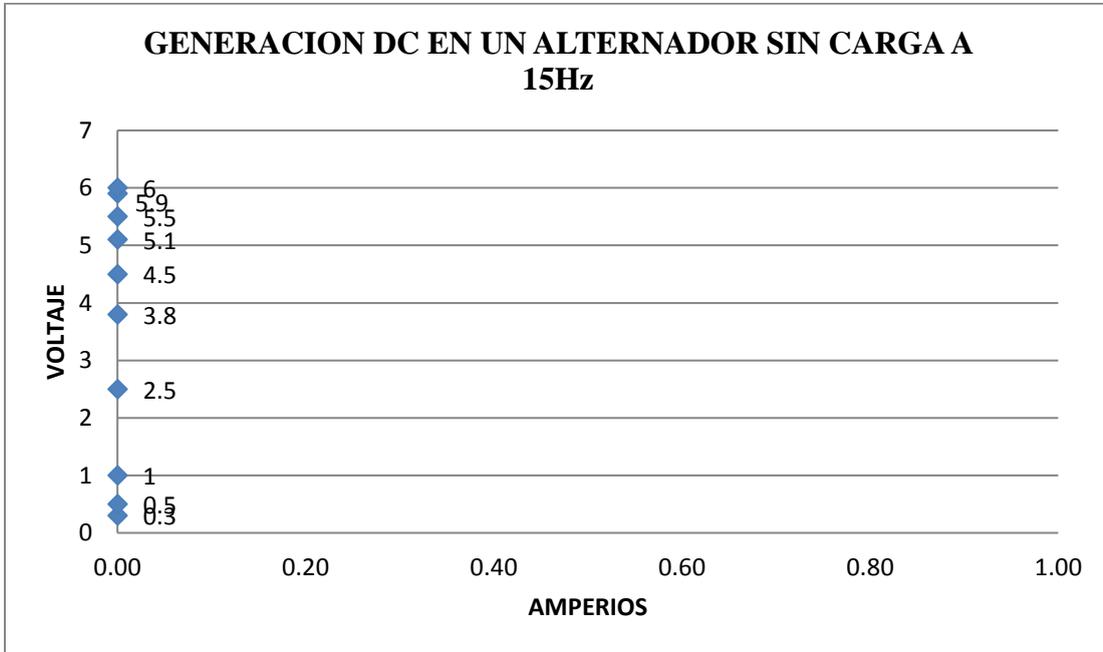
**Grafica 8** Corriente y voltaje de excitación en el alternador, sin carga en el módulo a 60 Hz.

**Descripción:**

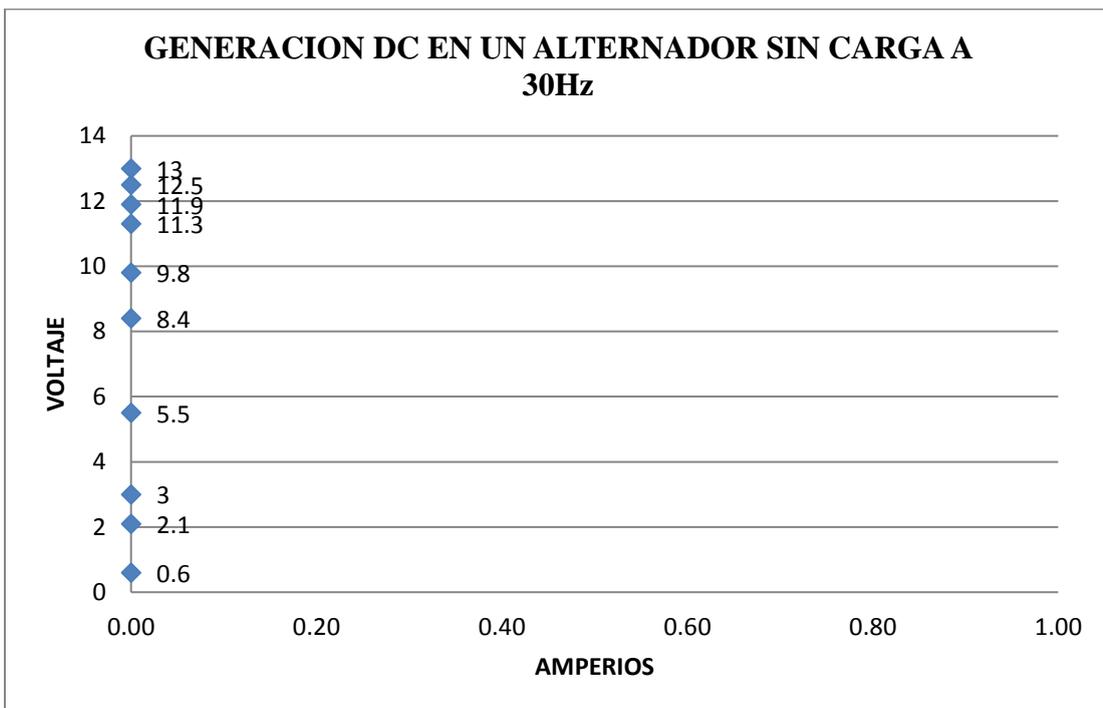
Los resultados graficados son los datos obtenidos en el alternador, sin carga en el módulo; donde podemos apreciar que el gráficos N° 05, 06, 07 y 08, tienen la misma tendencia en cuanto a voltaje y amperaje con valores de 18V Y 3.65A respectivamente en las frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60Hz

c) **Generación DC en el alternador, sin carga en el modulo**

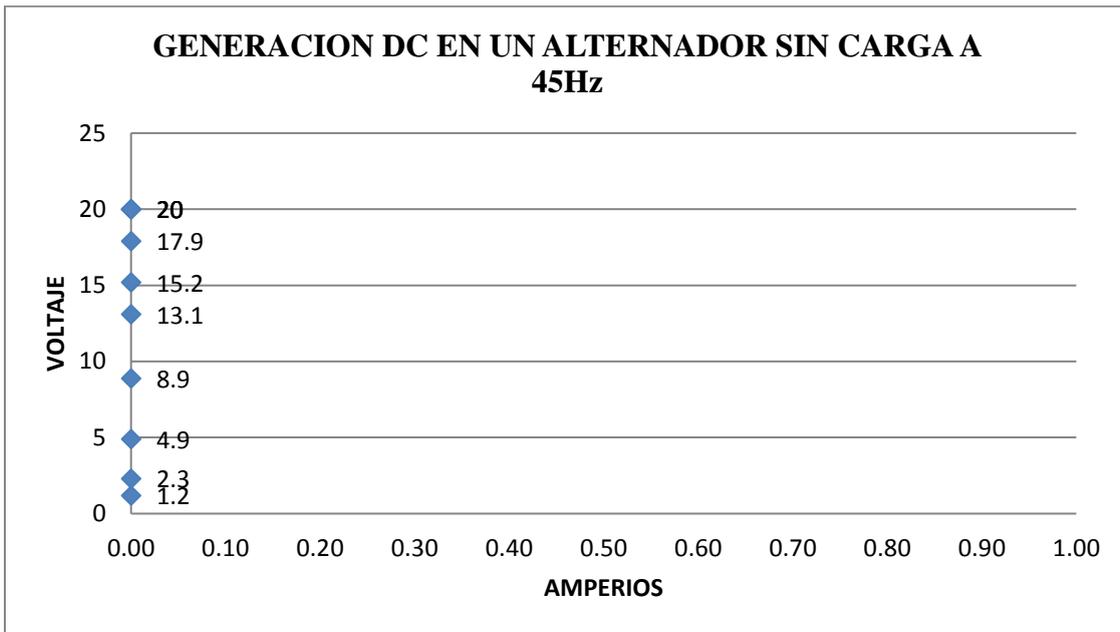
Generación DC e el alternador, sin carga en el módulo a las frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



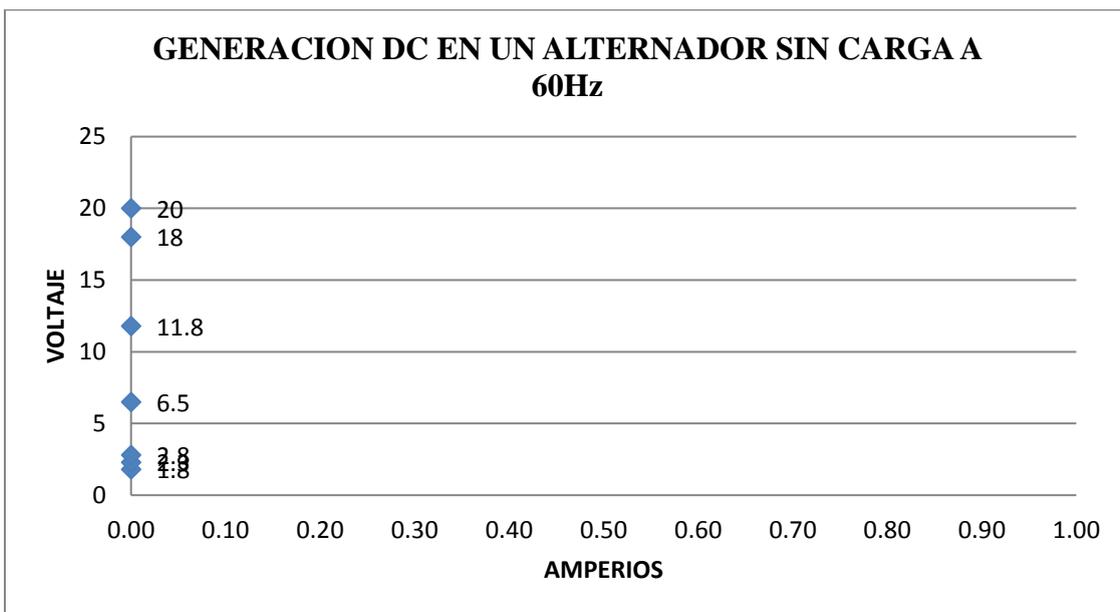
**Grafica 9** Corriente y voltaje de generación en el alternador, sin carga en el módulo a 15 Hz.



**Grafica 10** Corriente y voltaje de generación en el alternador, sin carga en el módulo a 30 Hz.



**Gráfica 11** Corriente y voltaje de generación en el alternador, sin carga en el módulo a 45 Hz.



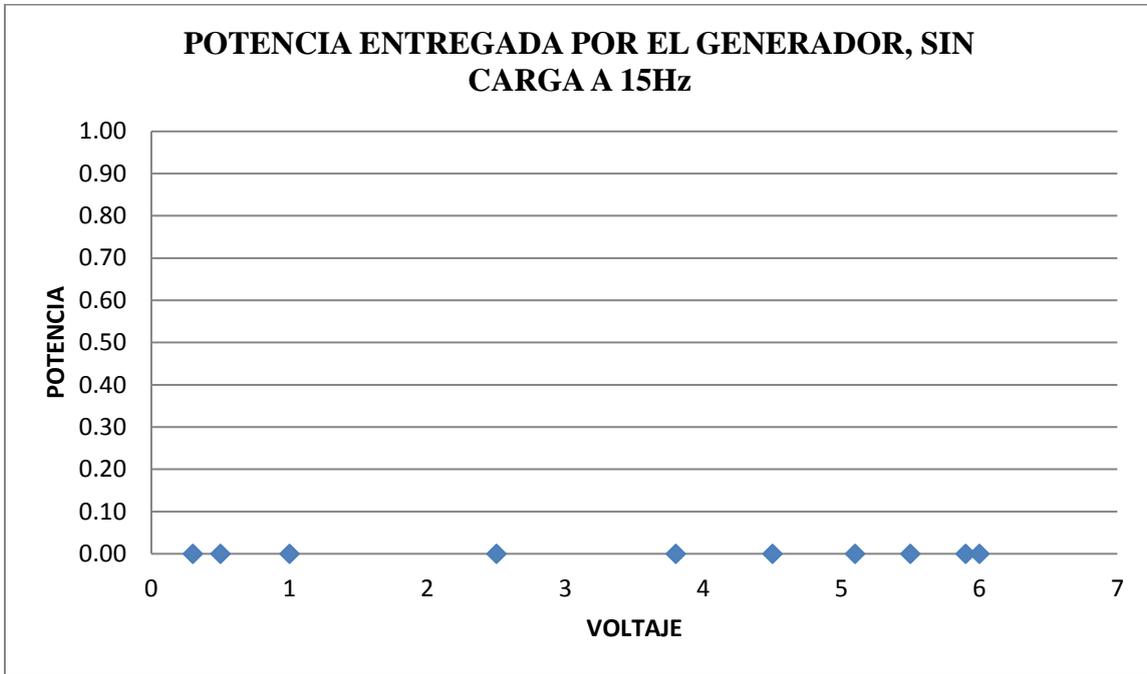
**Gráfica 12** Corriente y voltaje de generación en el alternador, sin carga en el módulo a 60 Hz.

**Descripción:**

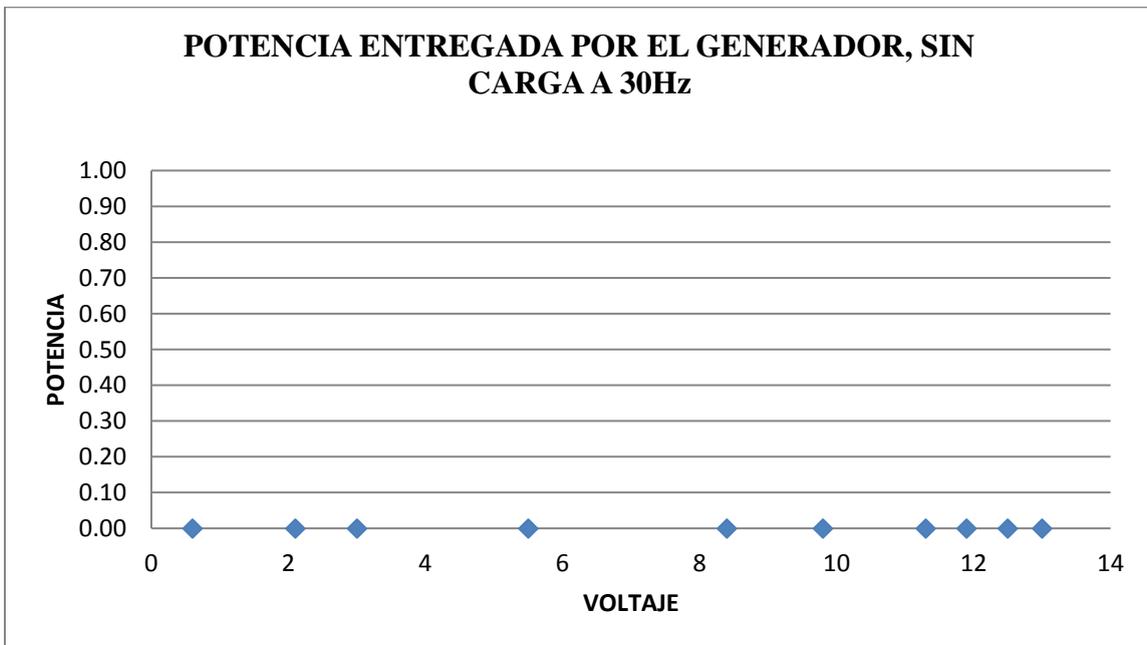
Los resultados graficados son los datos obtenidos sin carga eléctrica en el módulo; donde podemos apreciar que en las 4 gráficas solo se logra generar “Voltaje (V)”, debido a que nuestro sistema de generación no presenta carga, la generación del voltaje va en aumento donde se logra 6 V, 13V, 20V y 20V a 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60Hz respectivamente, donde llega a punto máximo de 20V a 44 Hz en el módulo sin carga.

d) **Potencia Entregada por el Generador, sin carga en el Modulo**

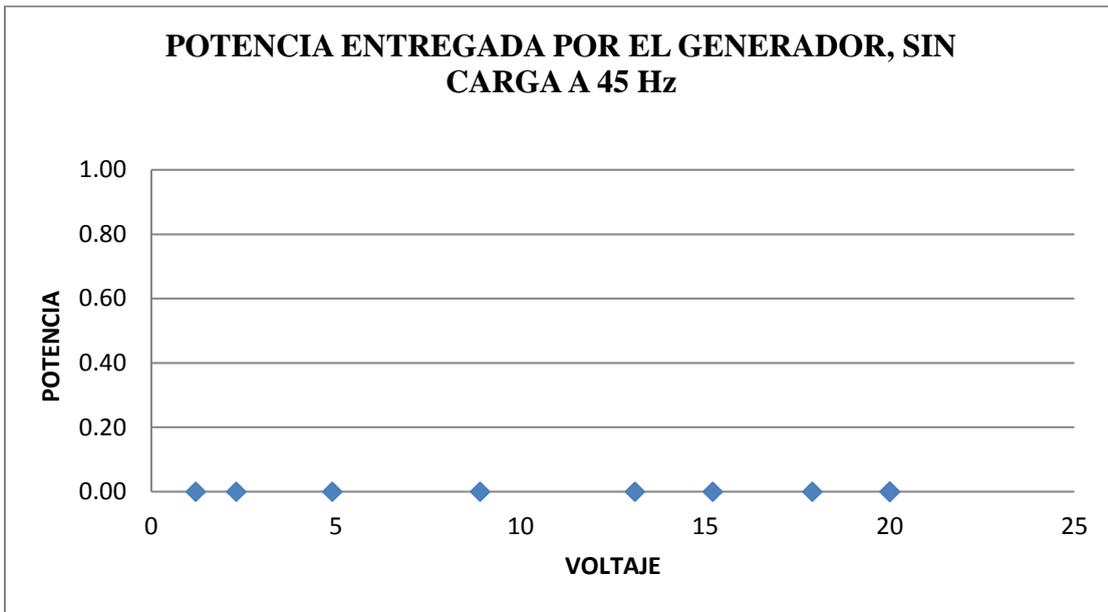
Potencia entregada por el generador, sin carga en el módulo a las frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



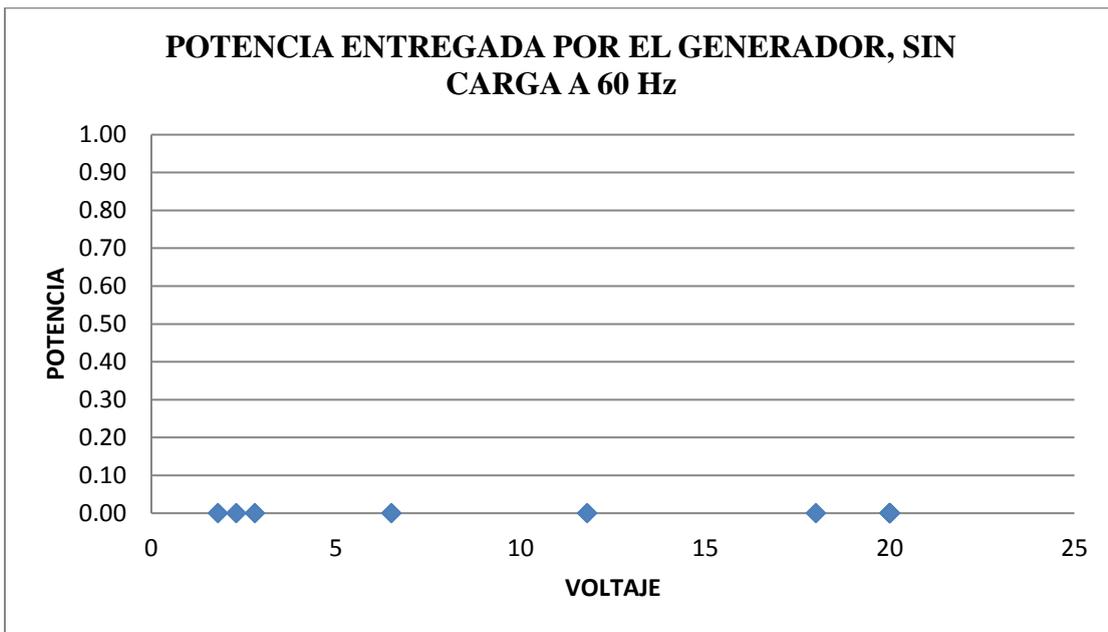
**Grafica 13** Potencia de generación en el alternador, sin carga en el módulo a 15 Hz.



**Grafica 14** Potencia de generación en el alternador, sin carga en el módulo a 30 Hz.



**Grafica 15** Potencia de generación en el alternador, sin carga en el módulo a 45 Hz.



**Grafica 16** Potencia de generación en el alternador, sin carga en el módulo a 60 Hz.

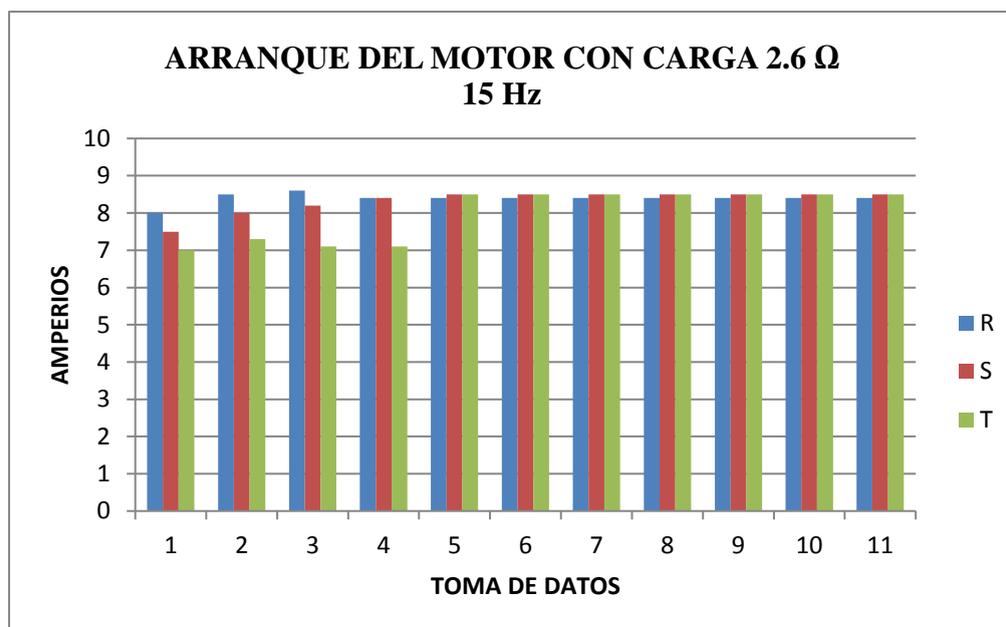
**Descripción:**

Los resultados graficados son los datos obtenidos en el alternador; donde podemos apreciar en los 4 gráficos se ausenta las lecturas de potencia, debido a que no se generó corriente (A), solo muestra lectura de 6V, 13V, 20V Y 20V a las frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60Hz respectivamente debido que como se describió nuestro sistema no muestra una carga.

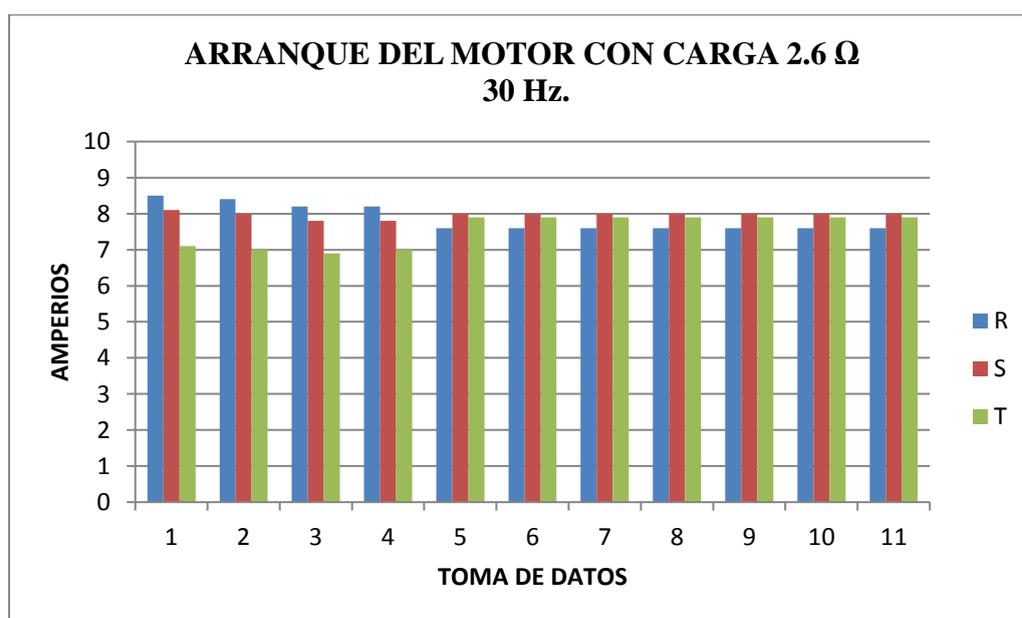
## 2.5. CARGA 2.6 Ω

### a) Arranque de motor con carga en el módulo de 2.6 Ω

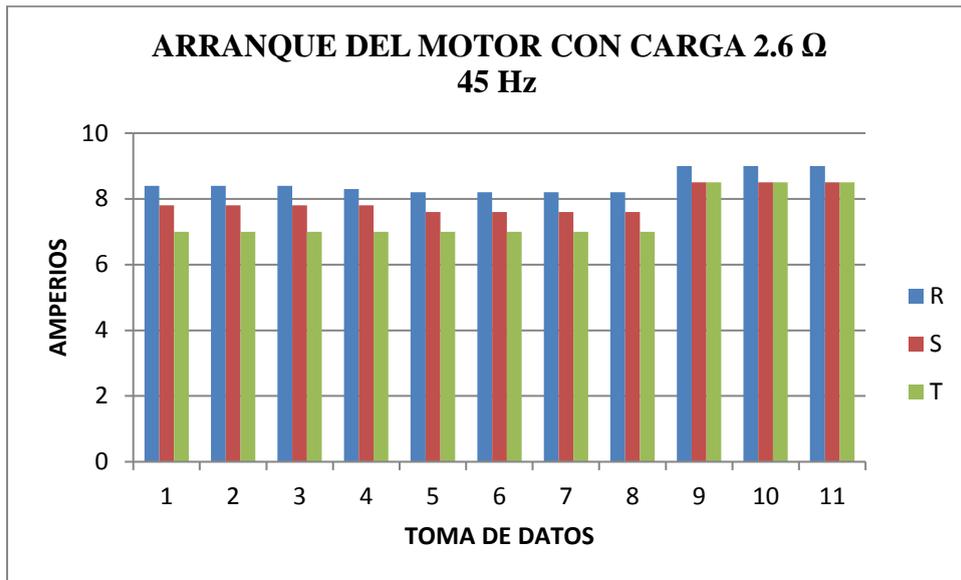
Se realizó el arranque de un motor con carga en el módulo de 2.6 Ω a diferentes frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente, se tomó 11 datos de la variación del excitador.



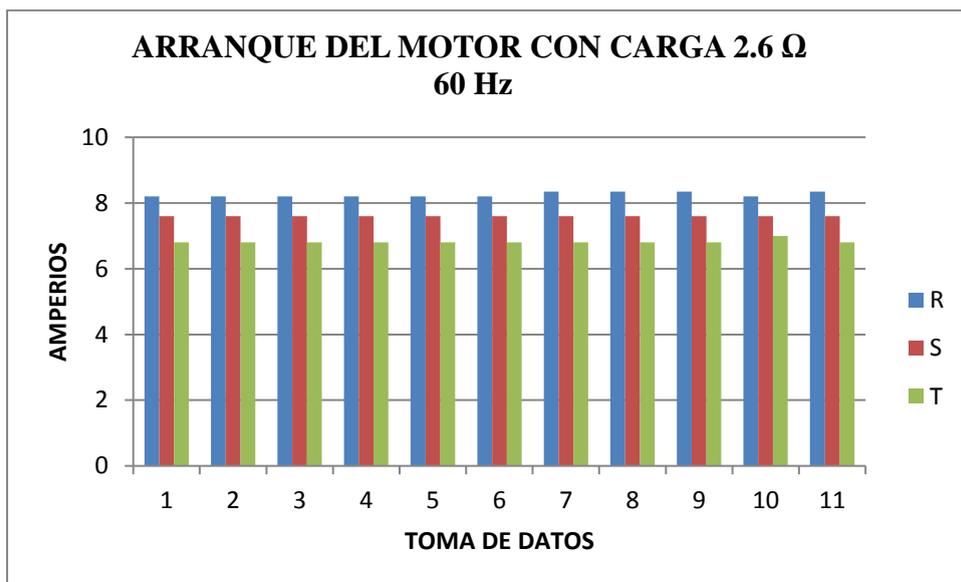
**Gráfica 17** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 2.6 Ω a 15 Hz



**Gráfica 18** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 2.6 Ω a 30 Hz



**Grafica 19** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 2.6 Ω a 45 Hz



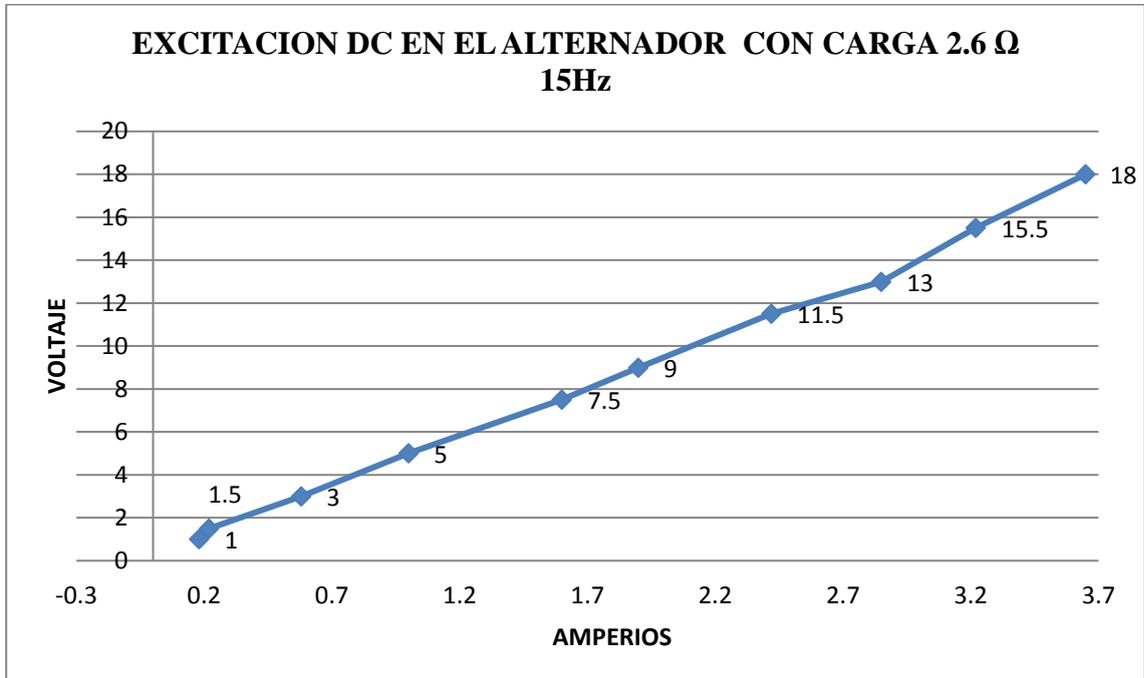
**Grafica 20** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 2.6 Ω a 60 Hz

**Descripción:**

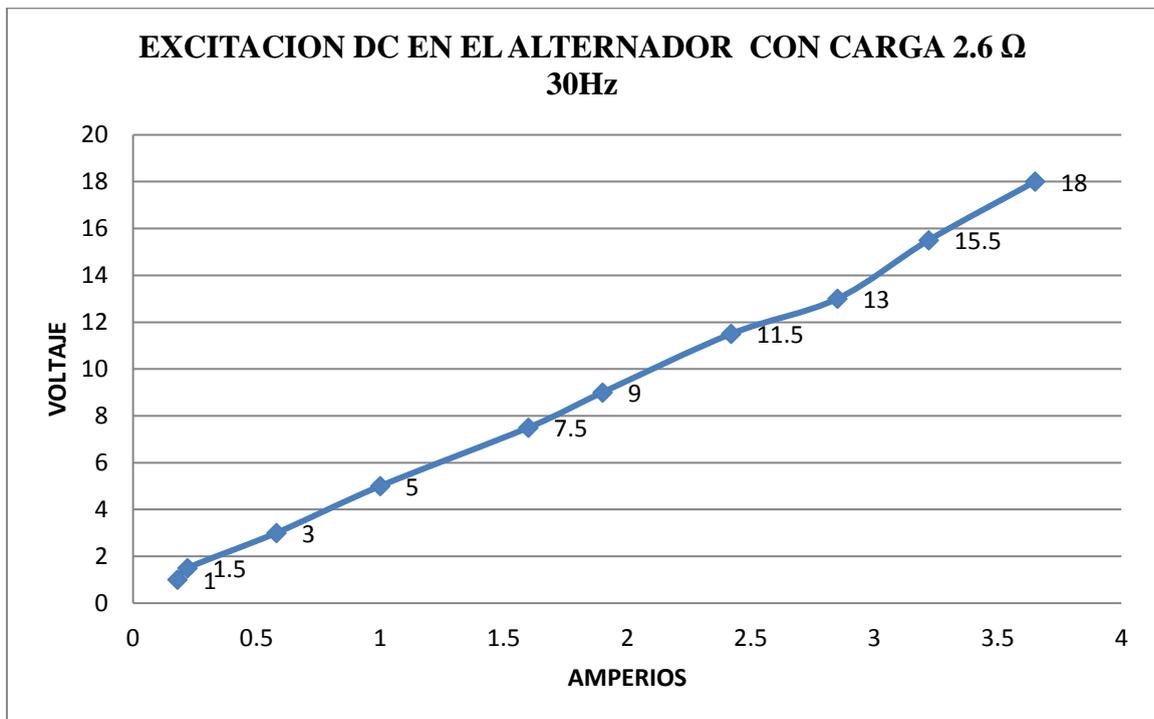
Los resultados graficados son los datos obtenidos del arranque del motor, con carga en el módulo de 2.6 Ω, en cada una de las Gráficas (N° 17, 18, 19 y 20), se puede observar el comportamiento individual de cada una de las fases que alimenta nuestro motor, las cuales al aumentar la frecuencia baja mínimamente su consumo de Amperio (A), de 15Hz a 45Hz tiene un consumo inicial de 7.5<sup>a</sup> y según se aumenta la excitación llega a 8.5 A y logra regularizarse a una frecuencia de 60 HZ con un promedio de 7.5 A como se observa en la Gráfica N° 20.

**b) Excitación DC en el alternador, con carga en el módulo de 2.6 Ω**

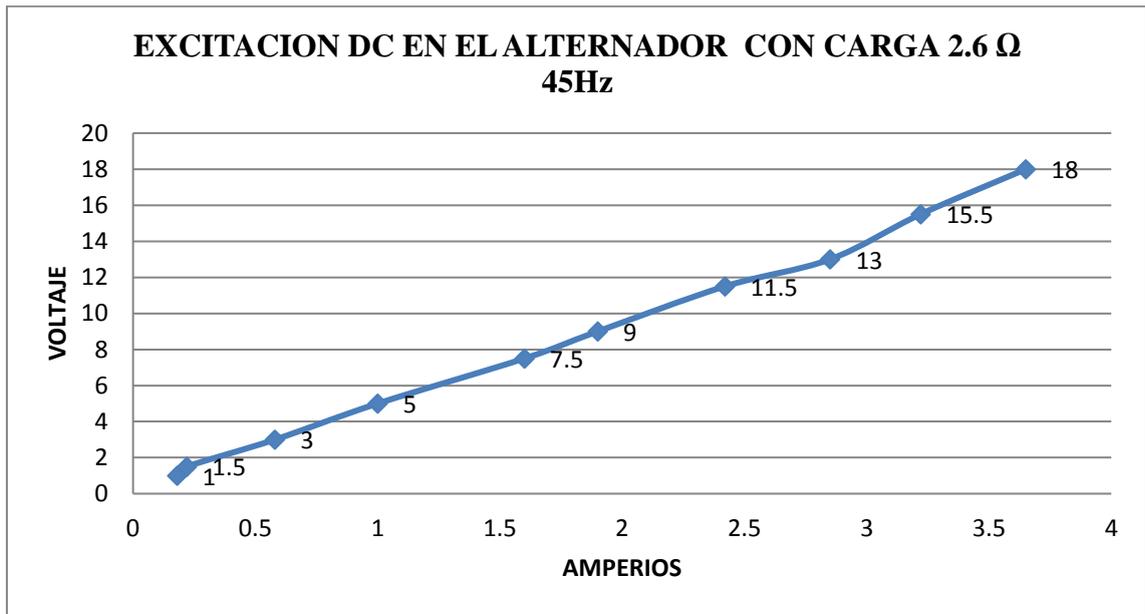
Variación del excitador en el alternador, con carga en el módulo de 2.6 Ω a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



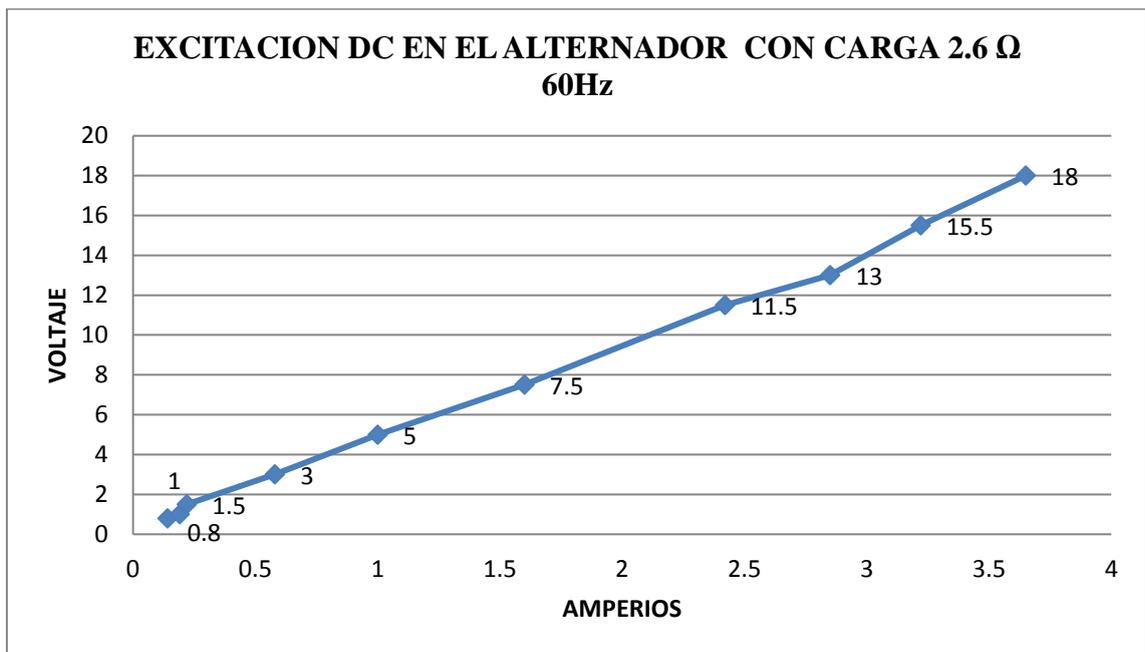
**Grafica 21** Corriente y voltaje de excitación en el alternador, con carga 2.6 Ω a 15 Hz



**Grafica 22** Corriente y voltaje de excitación en el alternador, con carga 2.6 Ω a 30 Hz



**Grafica 23** Corriente y voltaje de excitación en el alternador, con carga  $2.6 \Omega$  a 45 Hz



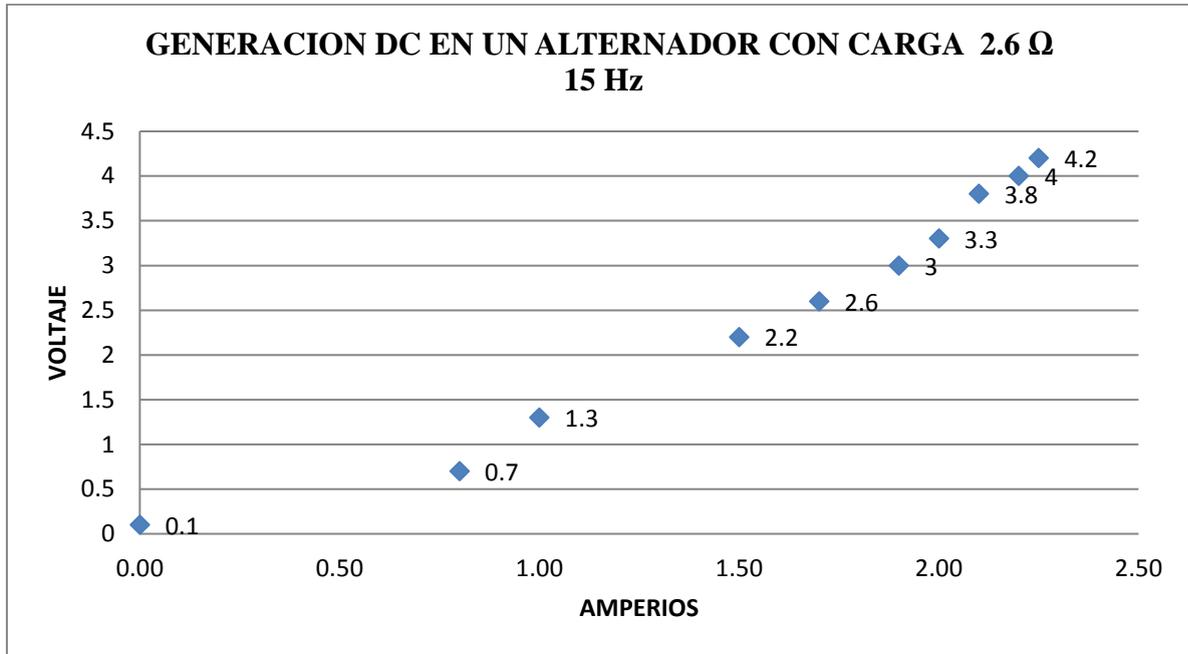
**Grafica 24** Corriente y voltaje de excitación en el alternador, con carga  $2.6 \Omega$  a 60 Hz

**Descripción:**

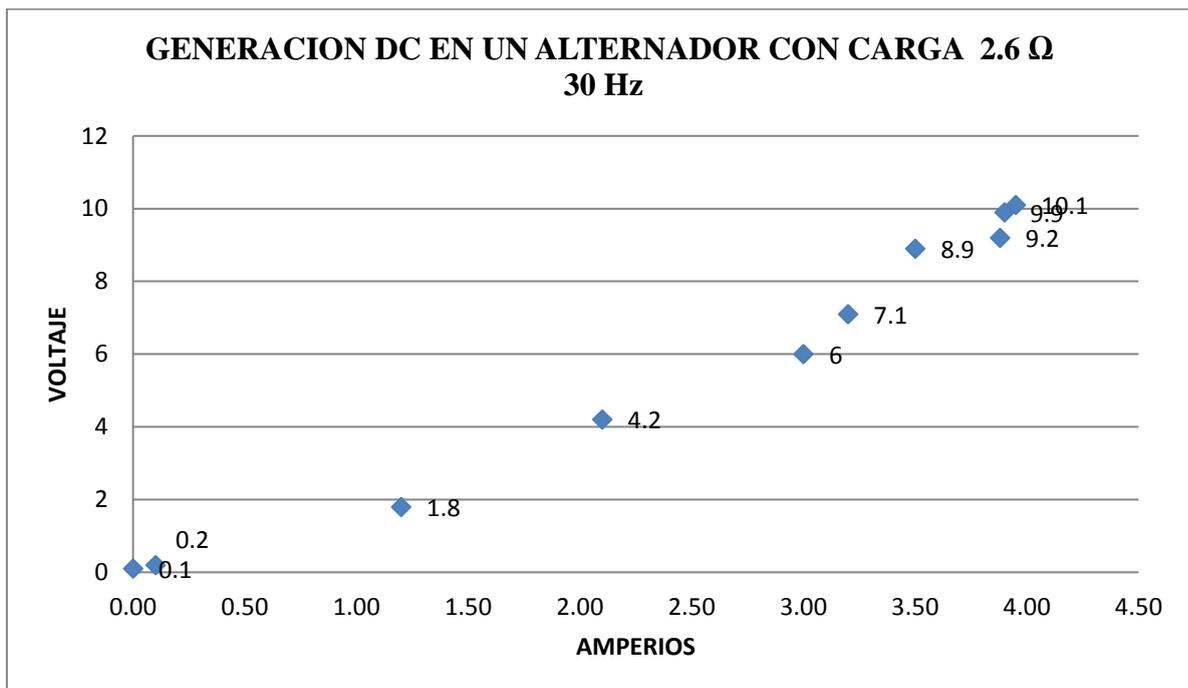
Los resultados graficados son los datos obtenidos con una carga de  $2.6 \Omega$  en el módulo; donde podemos apreciar que el gráficos N° 21, 22, 23 y 24 tienen la misma tendencia en cuanto a voltaje y amperaje con valores de 18V Y 3.65A respectivamente en las frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60Hz.

c) **Generación DC en el alternador, con carga de 2.6 Ω en el modulo**

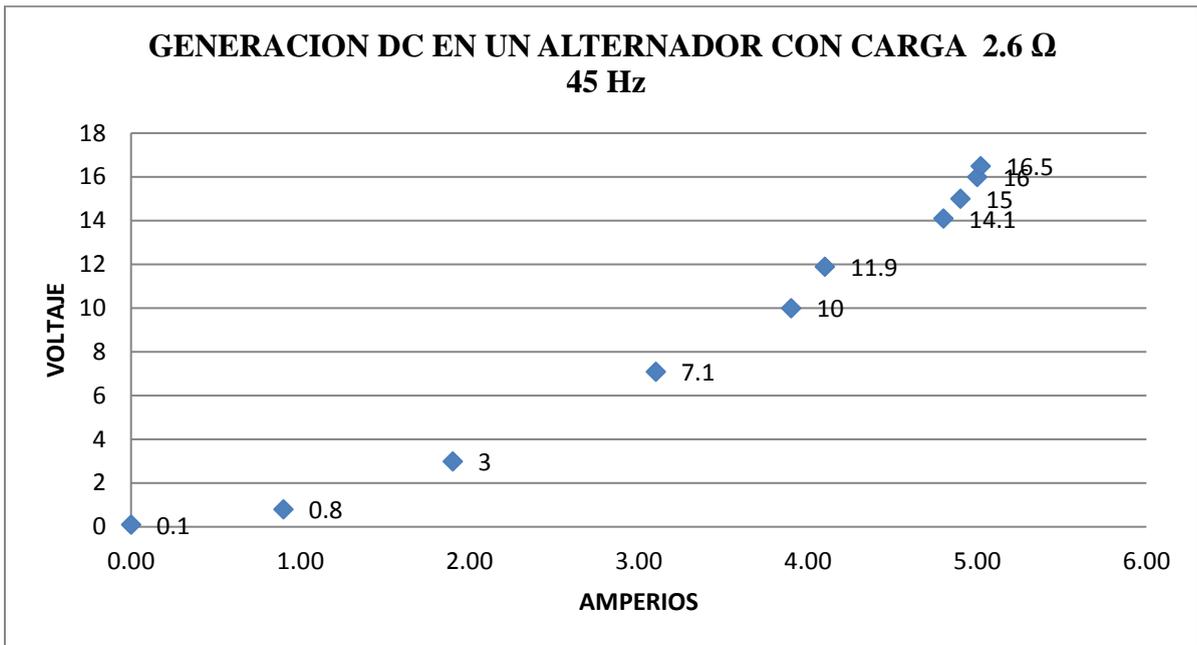
Generación DC e el alternador, con carga de 2.6 Ω en el módulo a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



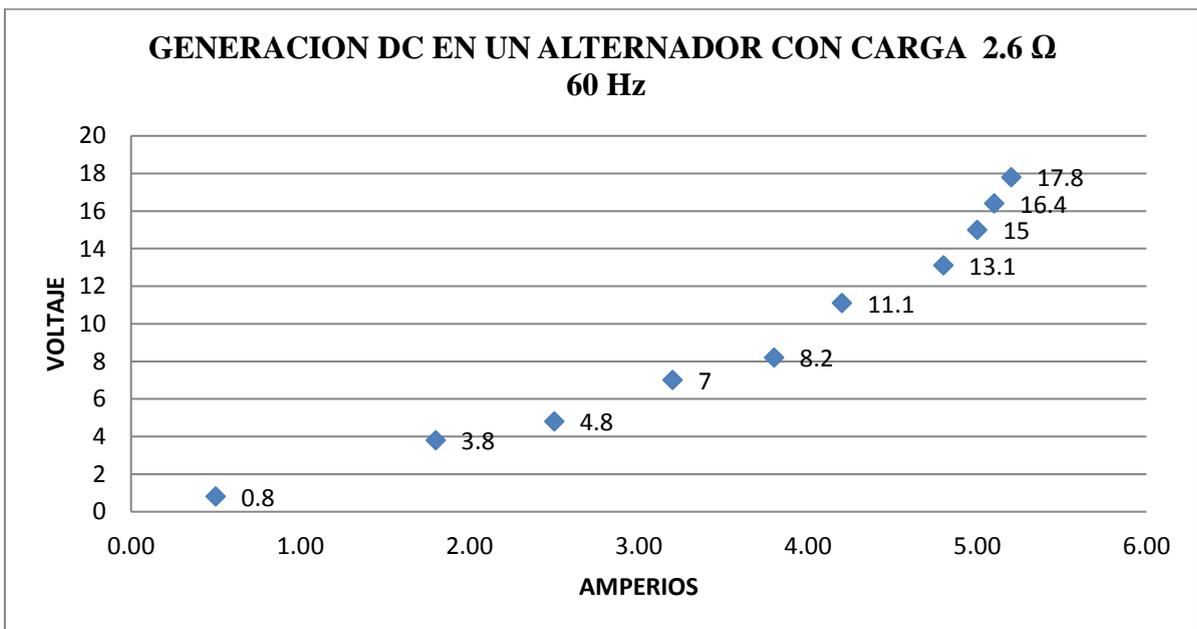
**Grafica 25** Corriente y voltaje de generación en el alternador, con carga 2.6 Ω a 15 Hz.



**Grafica 26** Corriente y voltaje de generación en el alternador, con carga 2.6 Ω a 30 Hz.



**Grafica 27** Corriente y voltaje de generación en el alternador, con carga  $2.6 \Omega$  a 45 Hz.



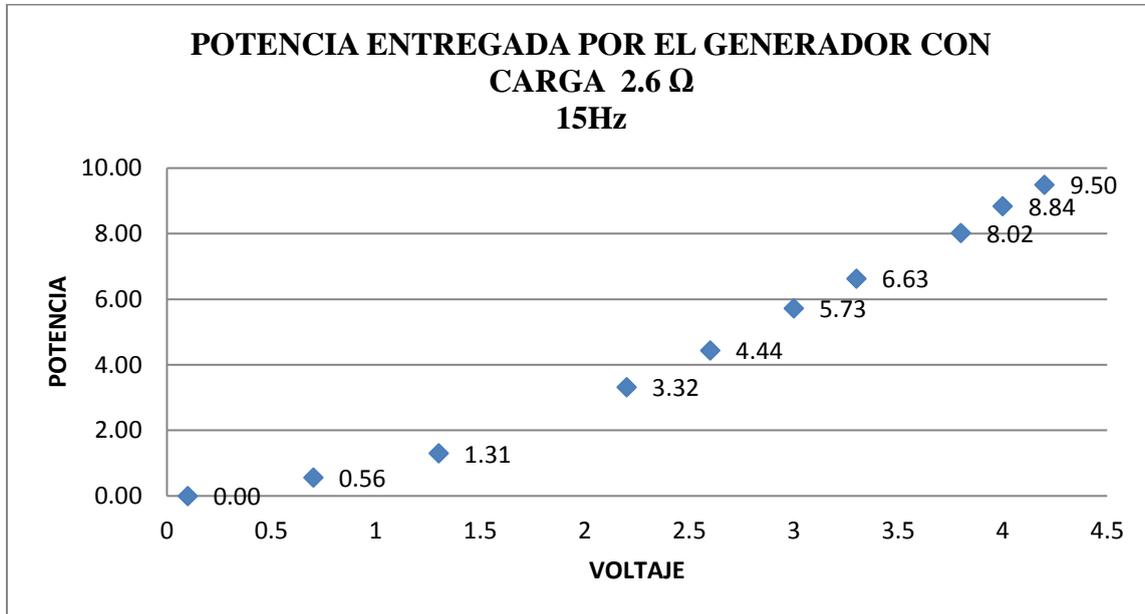
**Grafica 28** Corriente y voltaje de generación en el alternador, con carga  $2.6 \Omega$  a 60 Hz.

**Descripción:**

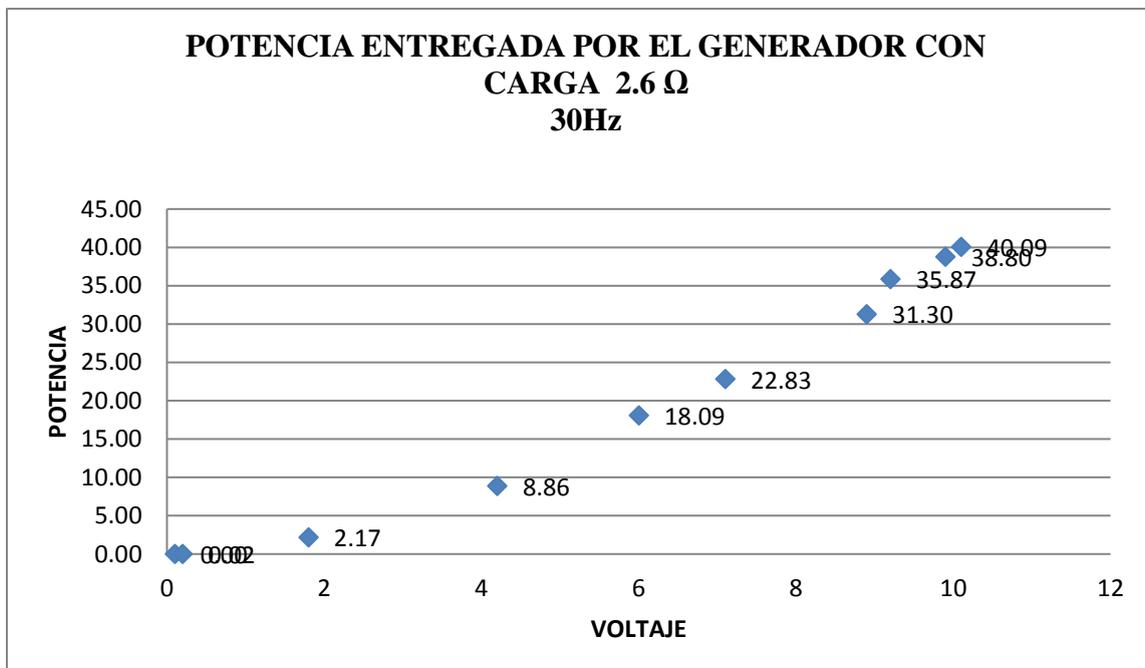
Los resultados graficados son los datos obtenidos son muestra de Voltaje y Corriente generada por nuestro alternador, es las gráficas N°25, 26, 27 y 28 se nota un incremento de corriente (A) y voltaje (V) muy notable, debido a que se uniformiza la generación con respecto al incremento de frecuencia. En la gráfica N° 25 obtuvimos 4.2 A y 2.25V, mientras que en la gráfica N° 28, 5.2 A y 17,8 V; respectivamente.

**d) Potencia Entregada por el Generador, con carga de 2.6 Ω en el Modulo**

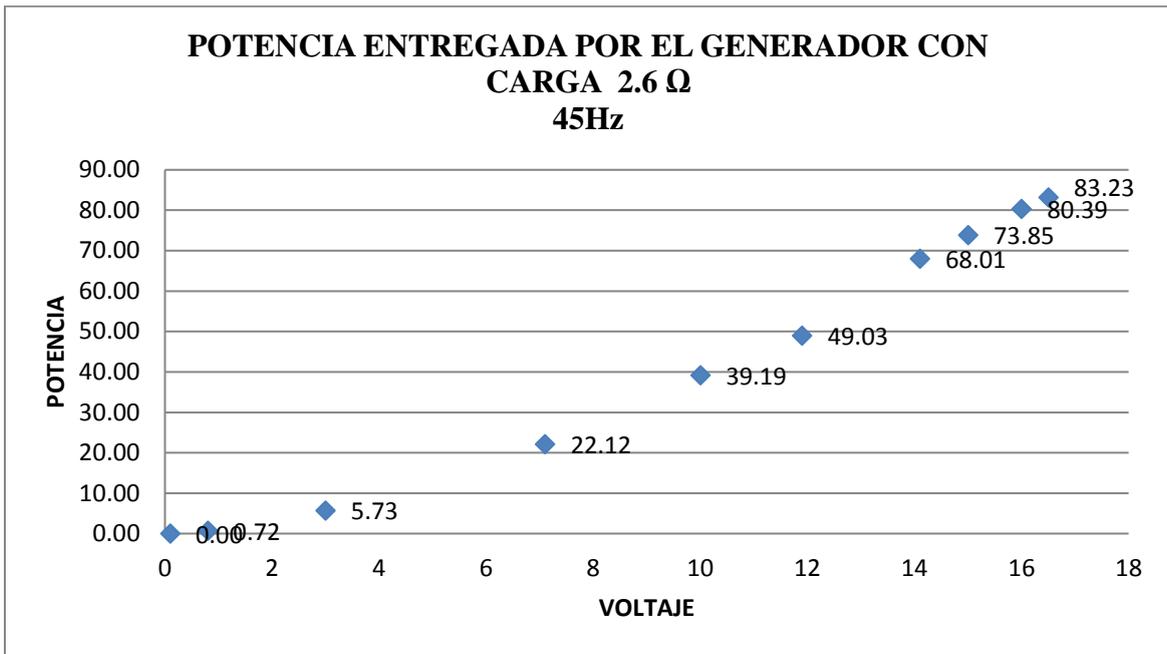
Potencia entregada por el generador, con carga de 2.6 Ω en el módulo a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



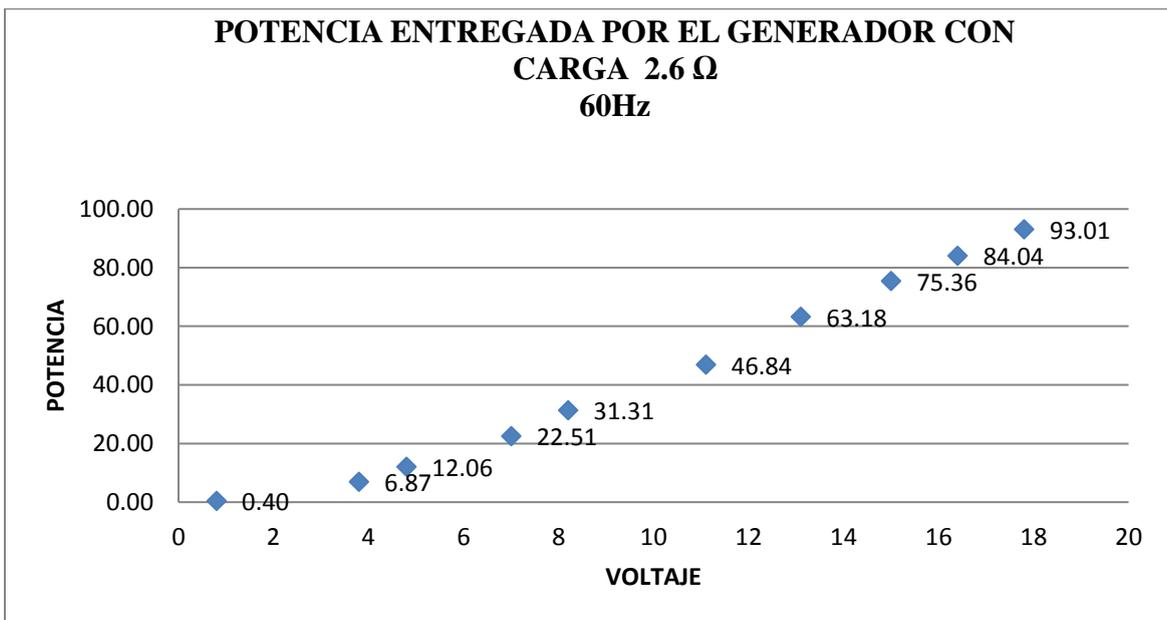
**Grafica 29** Potencia de generación en el alternador con carga a 15 Hz.



**Grafica 30** Potencia de generación en el alternador con carga a 30 Hz.



**Grafica 31** Potencia de generación en el alternador con carga a 45 Hz.



**Grafica 32** Potencia de generación en el alternador con carga a 60 Hz.

**Descripción:**

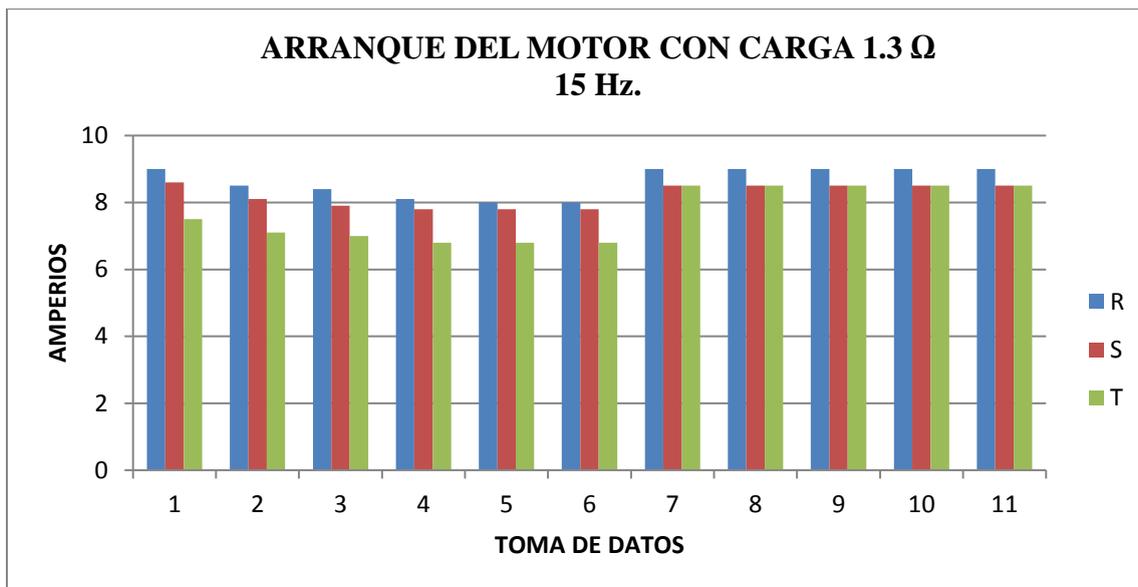
Los resultados en cuanto a potencia entregada por el generador, son directamente proporcional a la variación de Frecuencia entregada al motor a través del variador de Velocidad.

En estas 4 gráficas se observa notoriamente el aumento de voltaje y potencia con respecto al incremento de frecuencia (15, 30, 45 y 60 Hz), en las gráficas N°29, 30, 31 y 32. Obteniendo como registro de menor y mayor potencia de 9.5 W y 93.01 W a 15Hz y 60Hz, respectivamente.

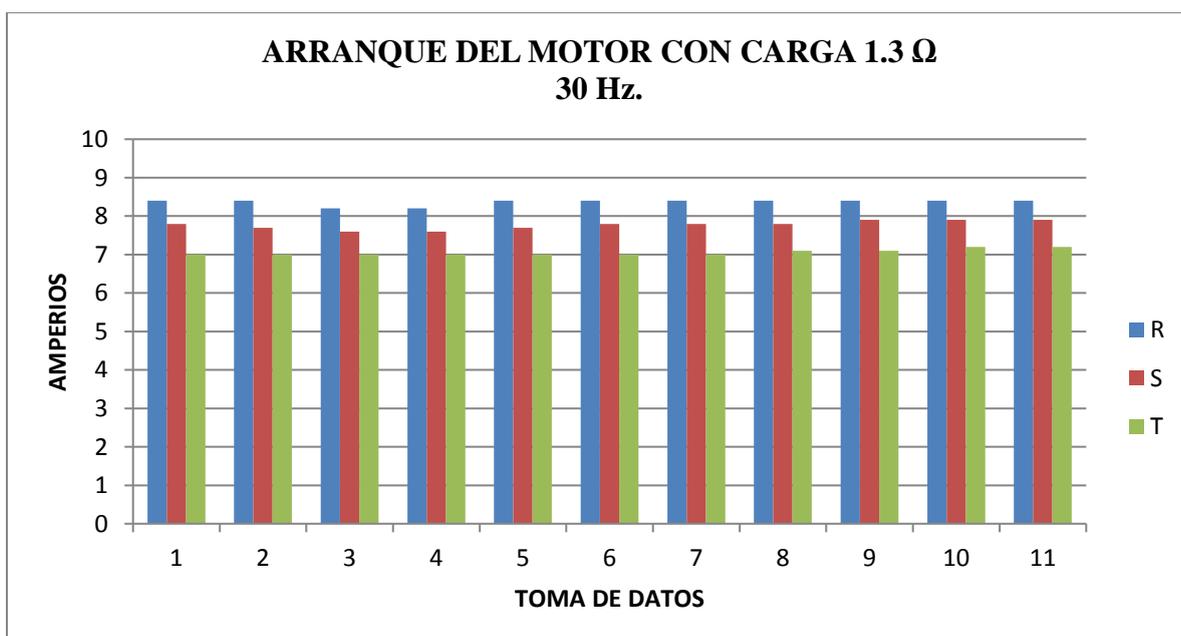
## 2.6. CARGA 1.3 Ω

### a) Arranque de motor con carga en el módulo de 1.3 Ω

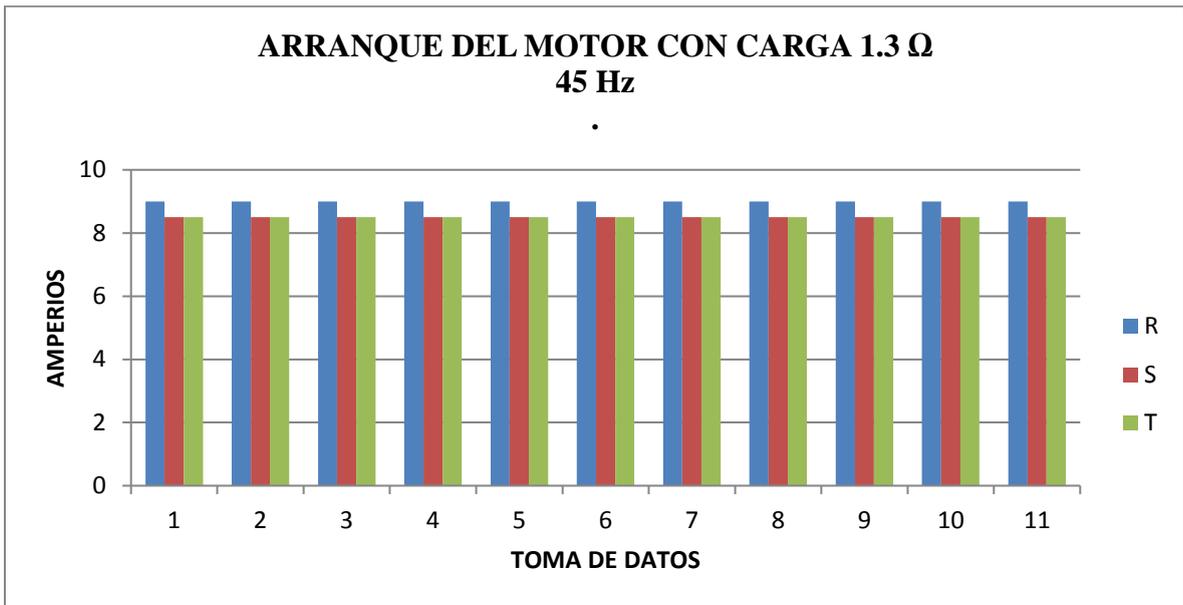
Se realizó el arranque de un motor con carga en el módulo de 1.3 Ω a diferentes frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente, se tomó 11 datos de la variación del excitador.



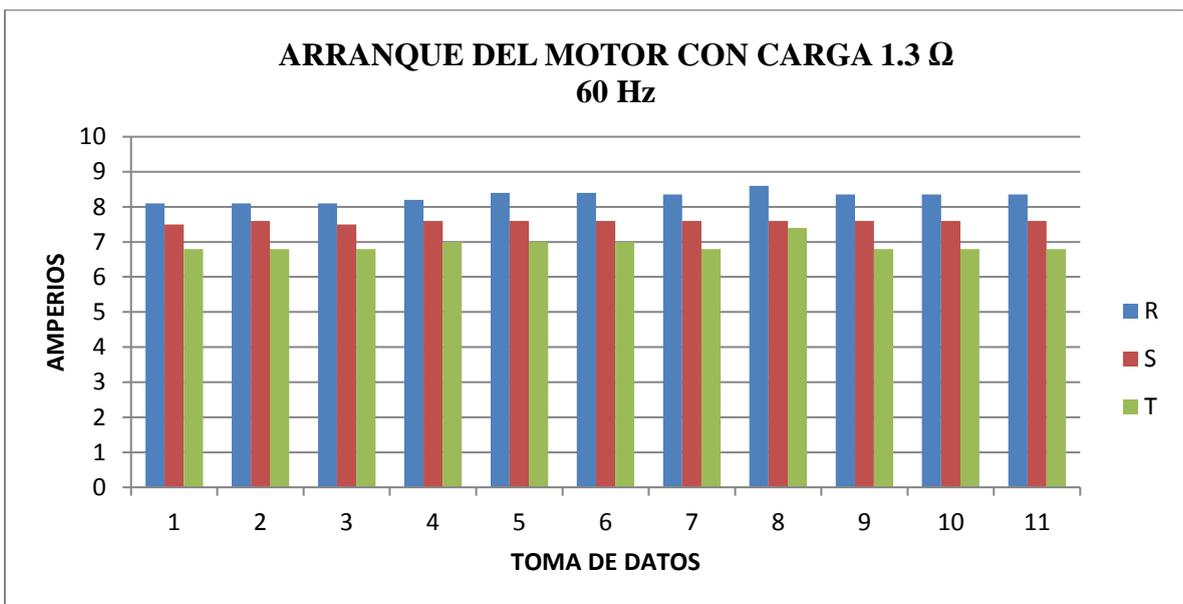
**Grafica 33** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga a 15 Hz.



**Grafica 34** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga a 30 Hz.



**Grafica 35** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga a 45 Hz.



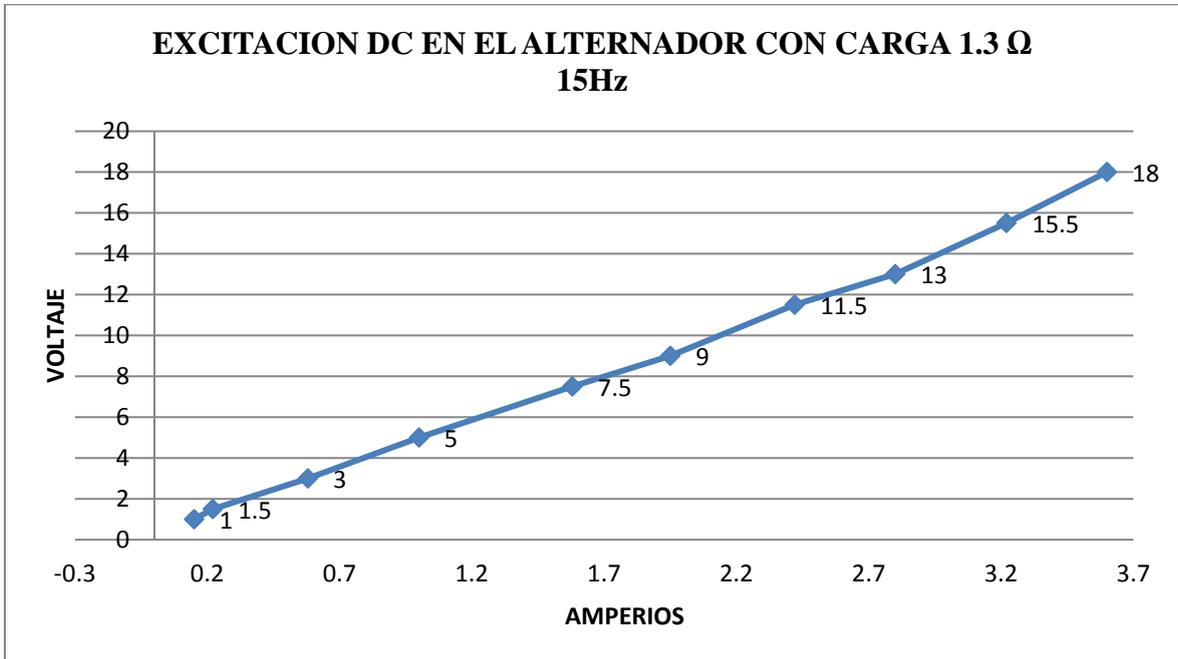
**Grafica 36** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 60 Hz.

**Descripción:**

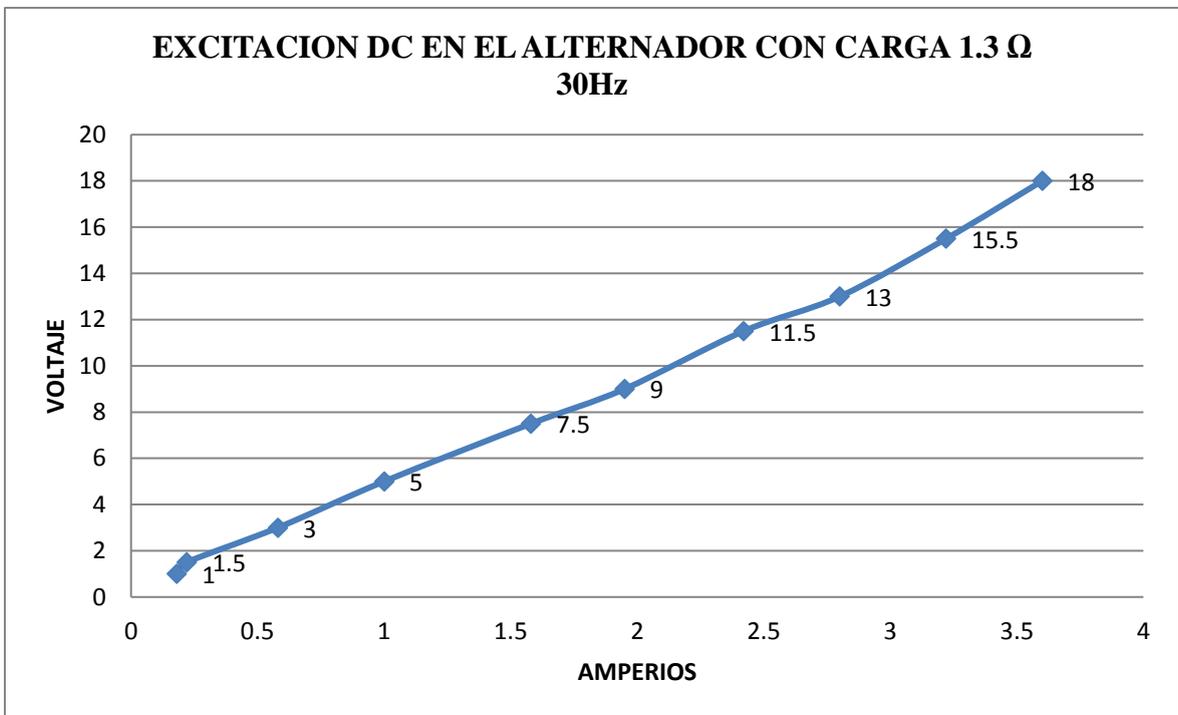
Los resultados graficados son los datos obtenidos del arranque del motor con una carga de 1.3 Ω, en cada una de las Gráficas (N° 33, 34, 35 y 36), se puede observar el comportamiento individual de cada una de las fases que alimenta nuestro motor, las cuales al aumentar la frecuencia baja mínimamente su consumo de Amperio (A) de 15Hz a 45Hz tiene un consumo inicial de 8.1A y según se aumenta la excitación llega a 8.5 A y logra regularizarse a una frecuencia de 60 HZ con un promedio de 7.6 A como se observa en la Gráfica N° 36.

**b) Excitación DC en el alternador, con carga en el módulo de 1.3 Ω**

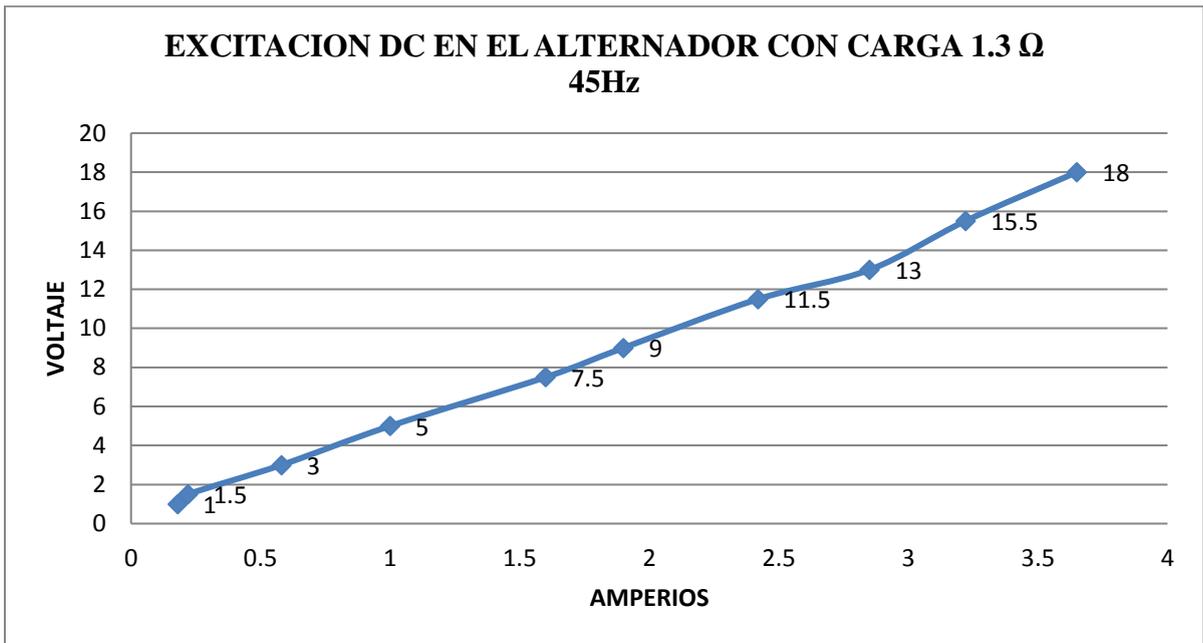
Variación del excitador en el alternador, con carga en el módulo de 1.3 Ω a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente



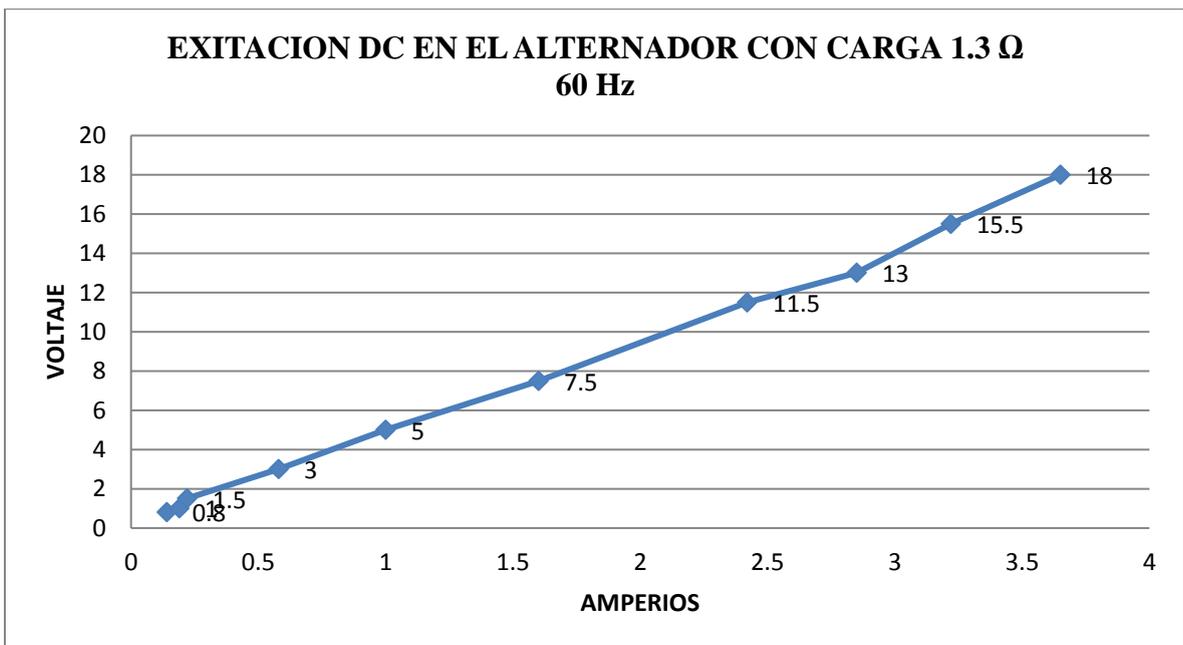
**Grafica 37** Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga a 15 Hz.



**Grafica 38** Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga a 30 Hz.



**Grafica 39** Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga a 45 Hz.



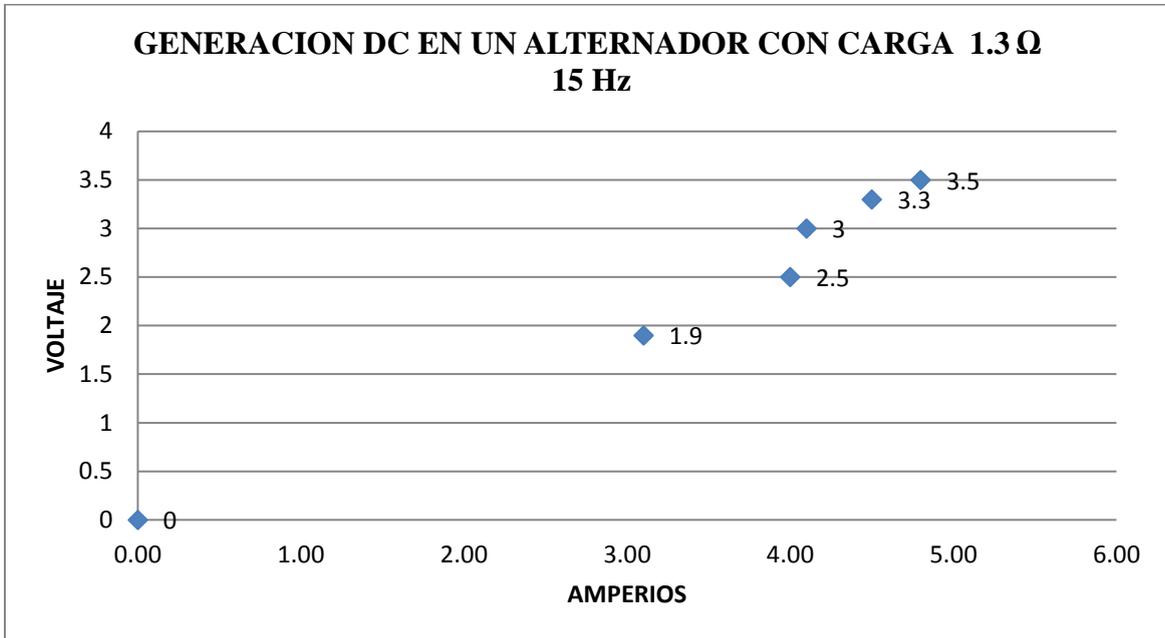
**Grafica 40** Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga a 60 Hz.

**Descripción:**

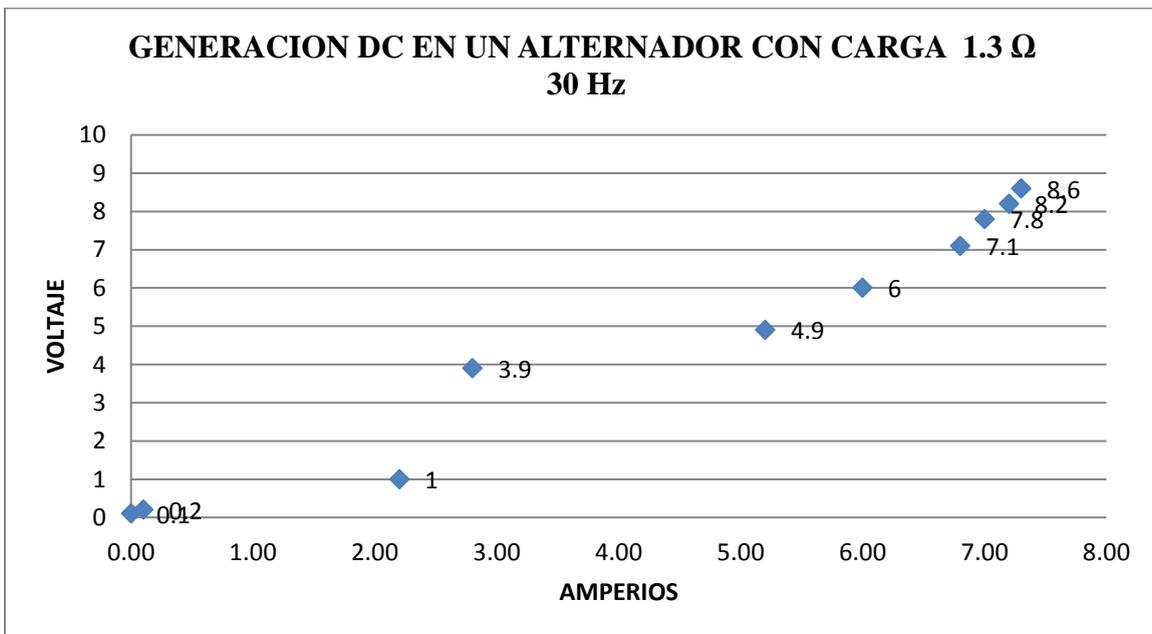
Los resultados graficados son los datos obtenidos con una carga de 1.3 Ω en el módulo; donde podemos apreciar que el gráficos N° 37, 38, 39 y 40 tienen la misma tendencia en cuanto a voltaje y amperaje con valores de 18V Y 3.65A respectivamente en las frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60Hz.

c) Generación DC en el alternador, con carga de  $1.3 \Omega$  en el modulo

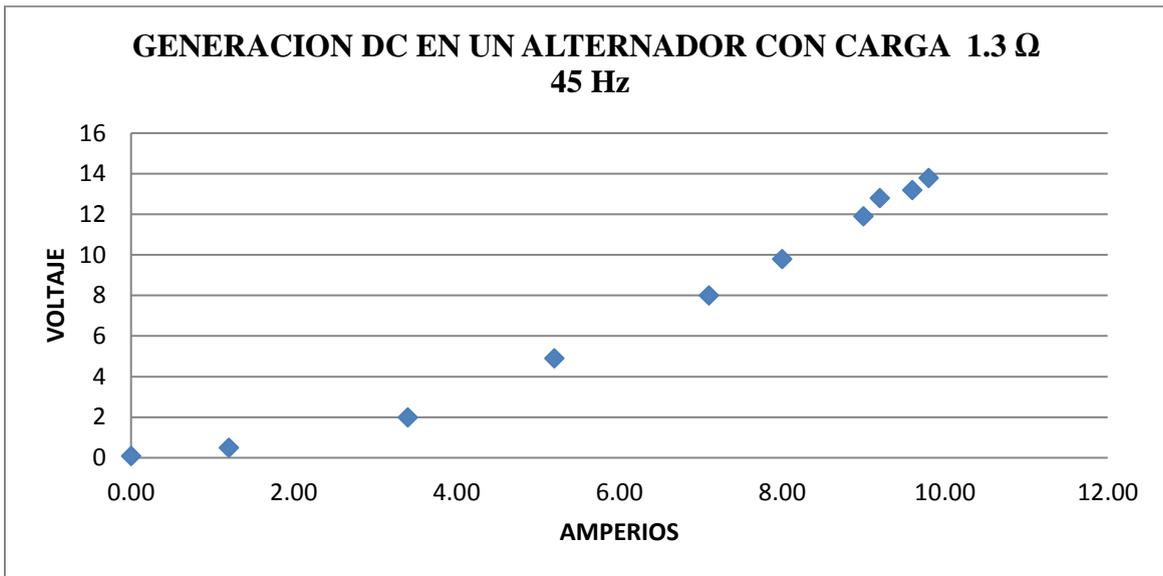
Generación DC e el alternador, con carga de  $1.3 \Omega$  en el módulo a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



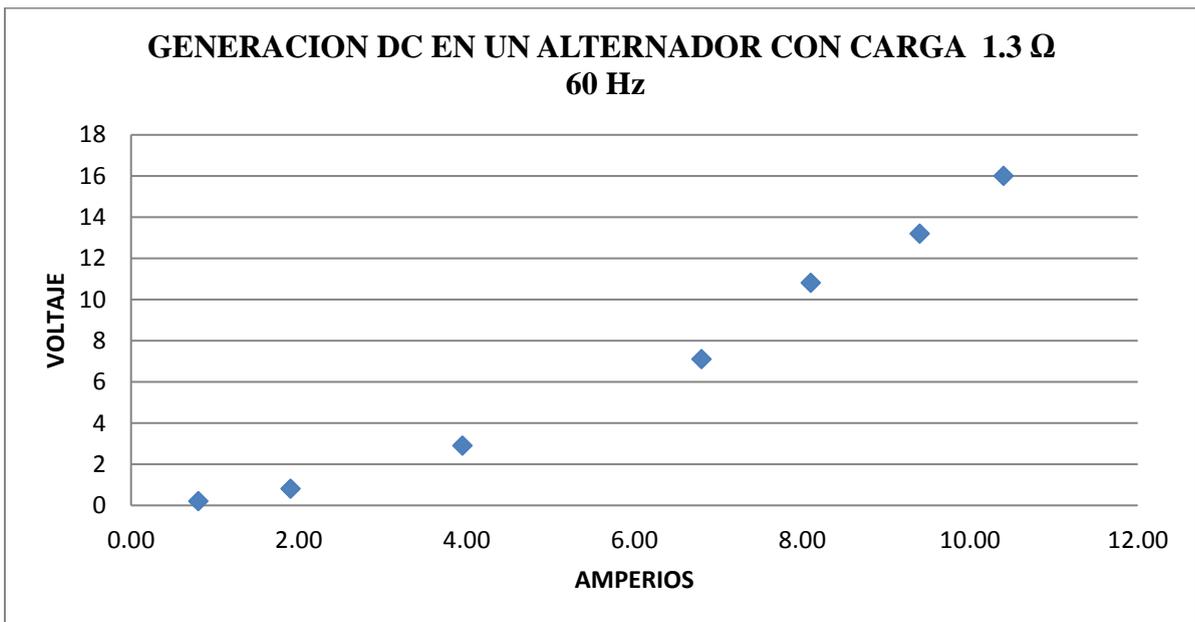
**Grafica 41** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 15 Hz.



**Grafica 42** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 30 Hz.



**Grafica 43** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 45 Hz.



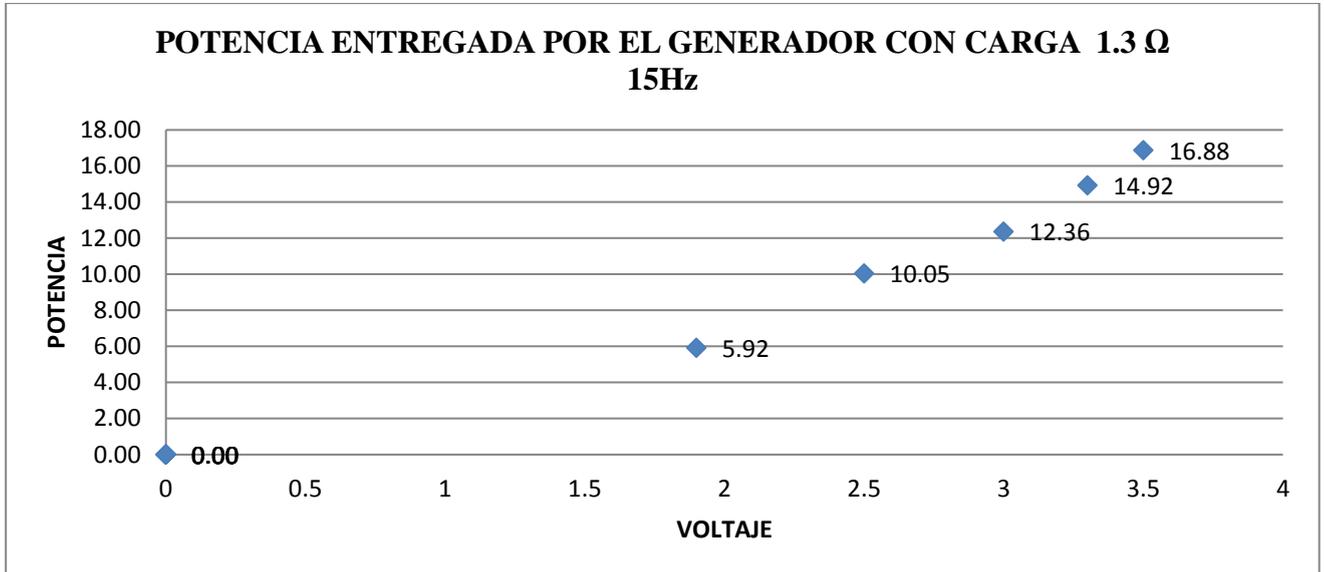
**Grafica 44** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 60 Hz.

**Descripción:**

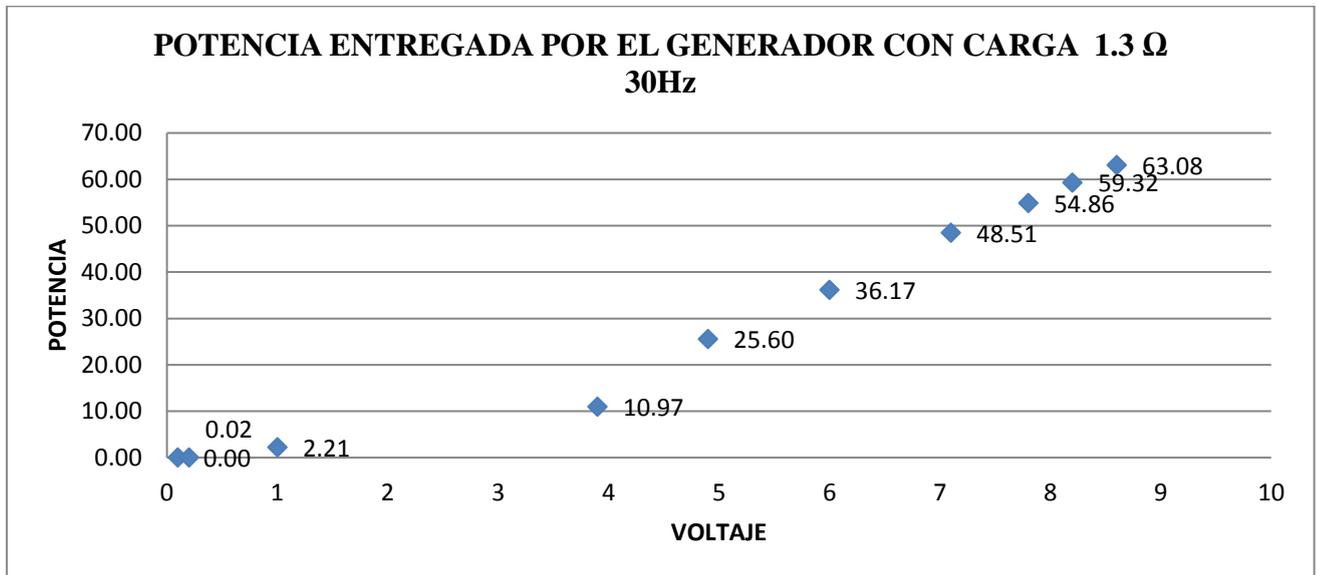
Los resultados graficados son los datos obtenidos son muestra de Voltaje y Corriente generada por nuestro alternador, es las gráficas N°41, 42, 43 y 44 se nota un incremento de corriente (A) y voltaje (V) muy notable, debido a que se uniformiza la generación con respecto al incremento de frecuencia. En la gráfica N° 43 obtuvimos 4.8 A y 3.5V, mientras que en la gráfica N° 44, 11.4 A y 18.5 V; respectivamente.

**d) Potencia Entregada por el Generador, con carga de 1.3 Ω en el Modulo**

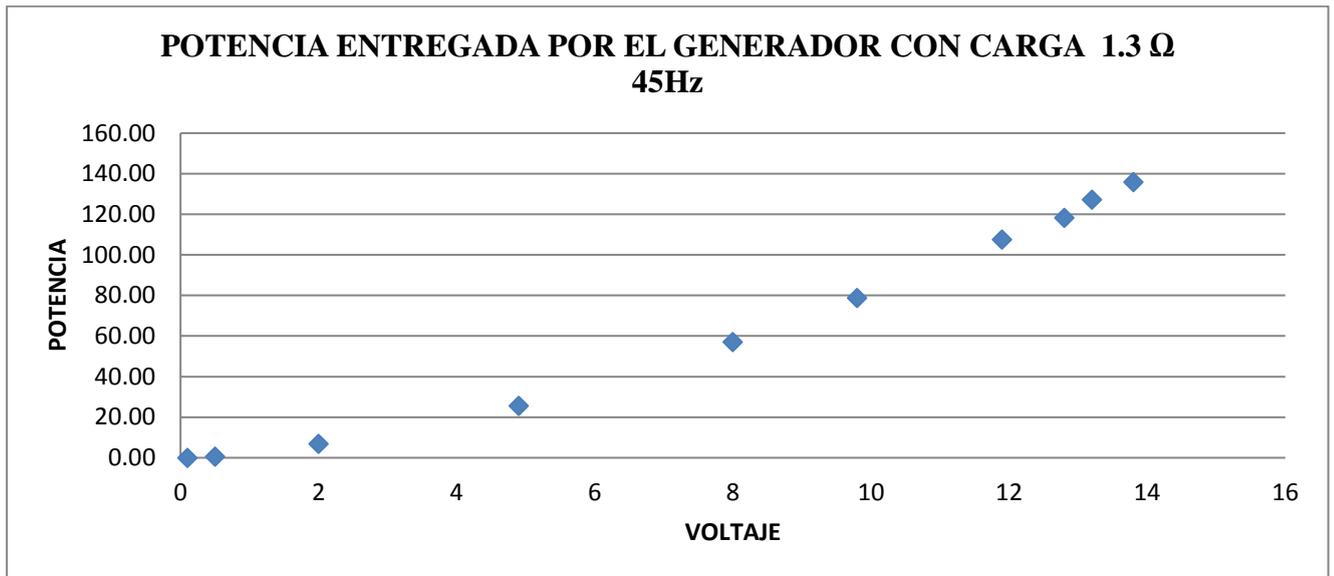
Potencia entregada por el generador, con carga de 2.6 Ω en el módulo a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



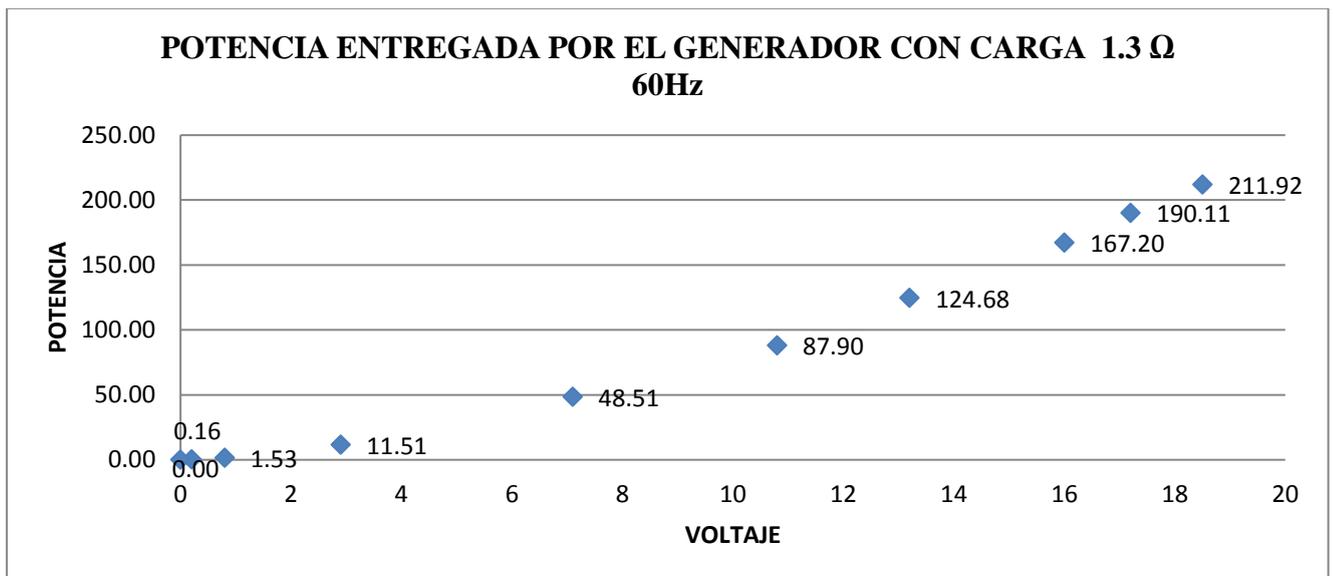
**Grafica 45** Potencia de generación en el alternador con carga a 15 Hz.



**Grafica 46** Potencia de generación en el alternador con carga a 30 Hz.



**Grafica 47** Potencia de generación en el alternador con carga a 45 Hz.



**Grafica 48** Potencia de generación en el alternador con carga a 60 Hz.

**Descripción:**

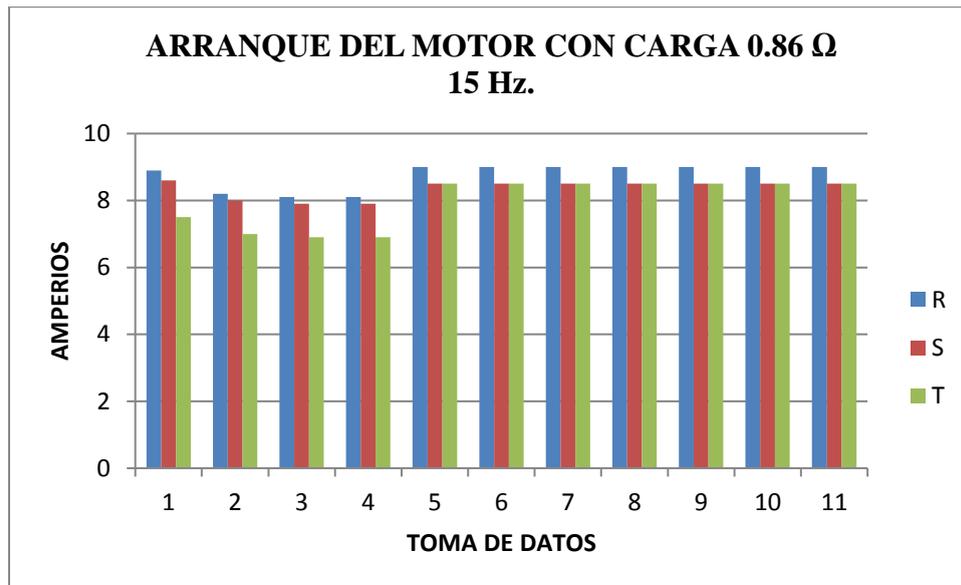
Los resultados en cuanto a potencia entregada por el generador, son directamente proporcional a la variación de Frecuencia entregada al motor a través del variador de Velocidad.

En estas 4 gráficas se observa notoriamente el aumento de voltaje y potencia con respecto al incremento de frecuencia (15, 30, 45 y 60 HZ), en las gráficas N°45, 46, 47 y 48. Obteniendo como registro de menor y mayor potencia de 16.88W y 211.92 W a 15Hz y 60Hz, respectivamente.

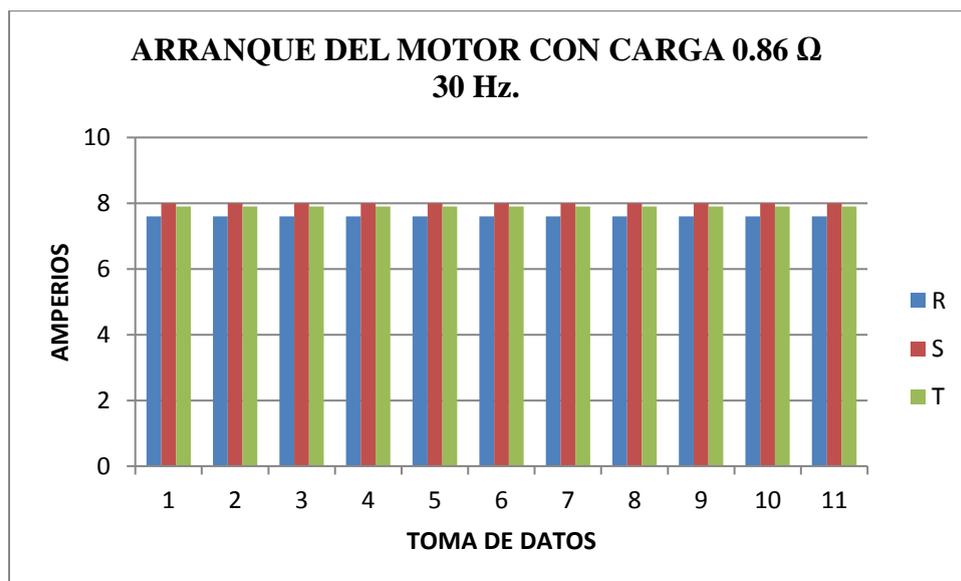
## 2.7. CARGA A 0.86 Ω

### a) Arranque de motor con carga en el módulo de 0.86 Ω

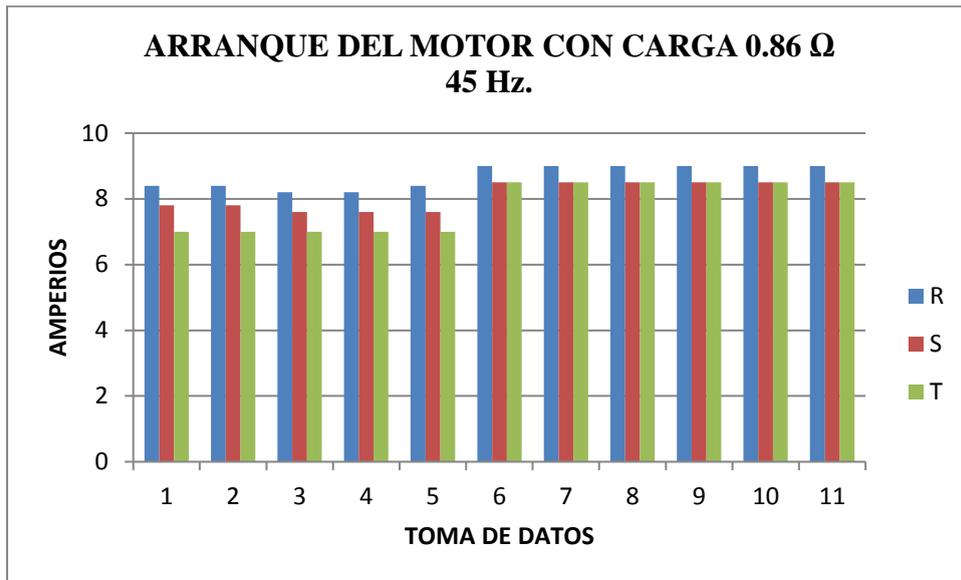
Se realizó el arranque de un motor con carga en el módulo de 0.86 Ω a diferentes frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente, se tomó 11 datos de la variación del excitador.



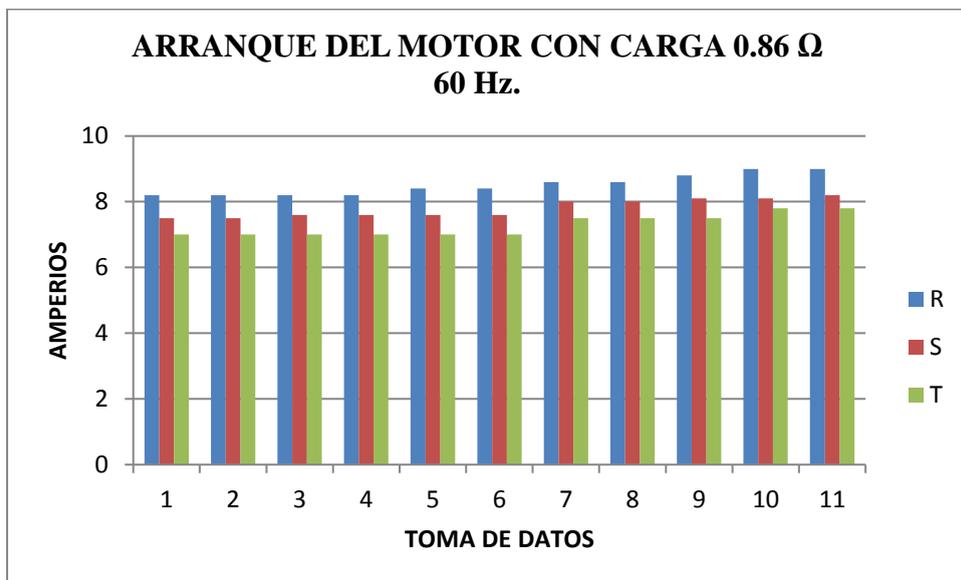
**Grafica 49** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 15 Hz.



**Grafica 50** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 30 Hz.



**Grafica 51** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 45 Hz.



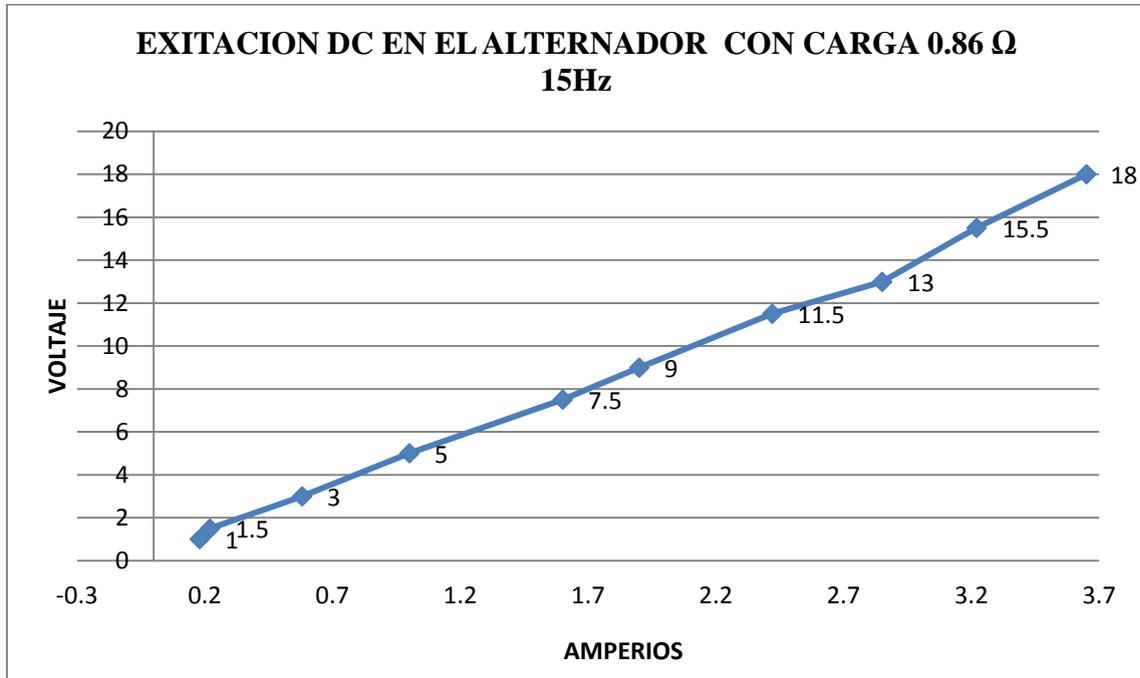
**Grafica 52** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 60 Hz.

**Descripción:**

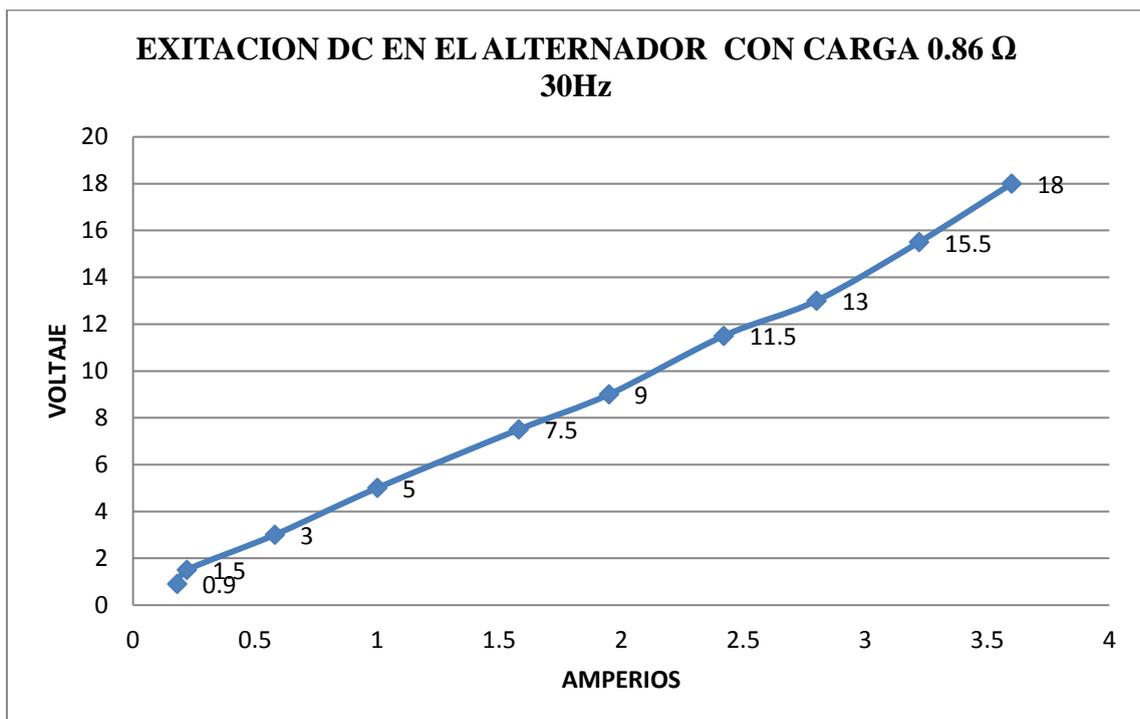
Los resultados graficados son los datos obtenidos del arranque del motor con una carga de 0.86 Ω, en cada una de las Gráficas (N° 49, 50, 51 y 52), se puede observar el comportamiento individual de cada una de las fases que alimenta nuestro motor, las cuales al aumentar la frecuencia baja mínimamente su consumo de Amperio (A), de 15Hz a 45Hz tiene un consumo inicial de 8.0 A y según se aumenta la excitación llega a 8.5 A y logra regularizarse a una frecuencia de 60 HZ con un promedio de 8.2 A como se observa en la Gráfica N° 52.

**b) Excitación DC en el alternador, con carga en el módulo de 0.86 Ω**

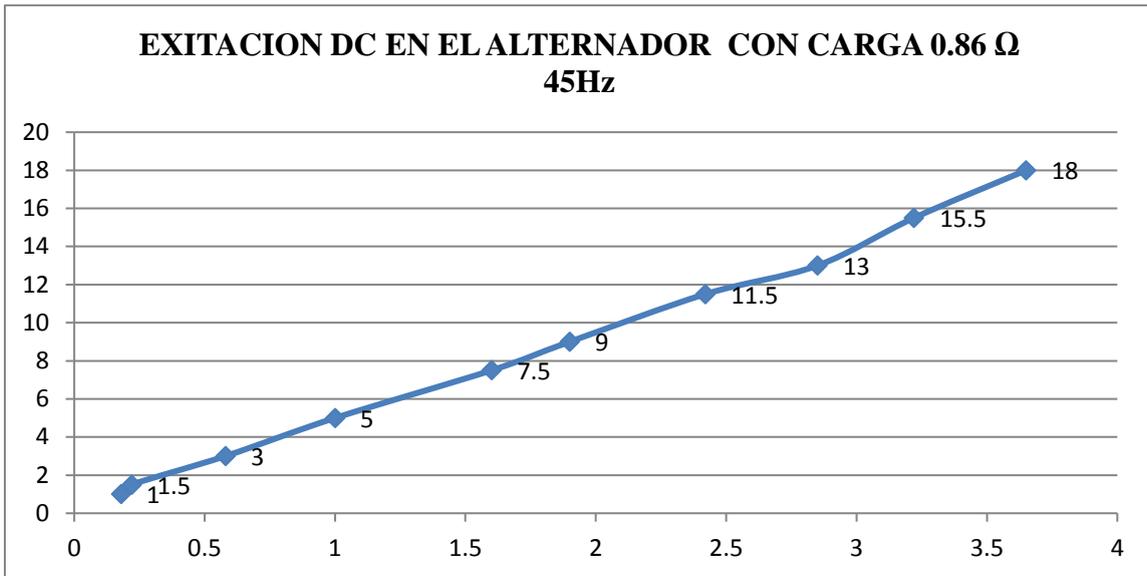
Variación del excitador en el alternador, con carga en el módulo de 0.86 Ω a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente



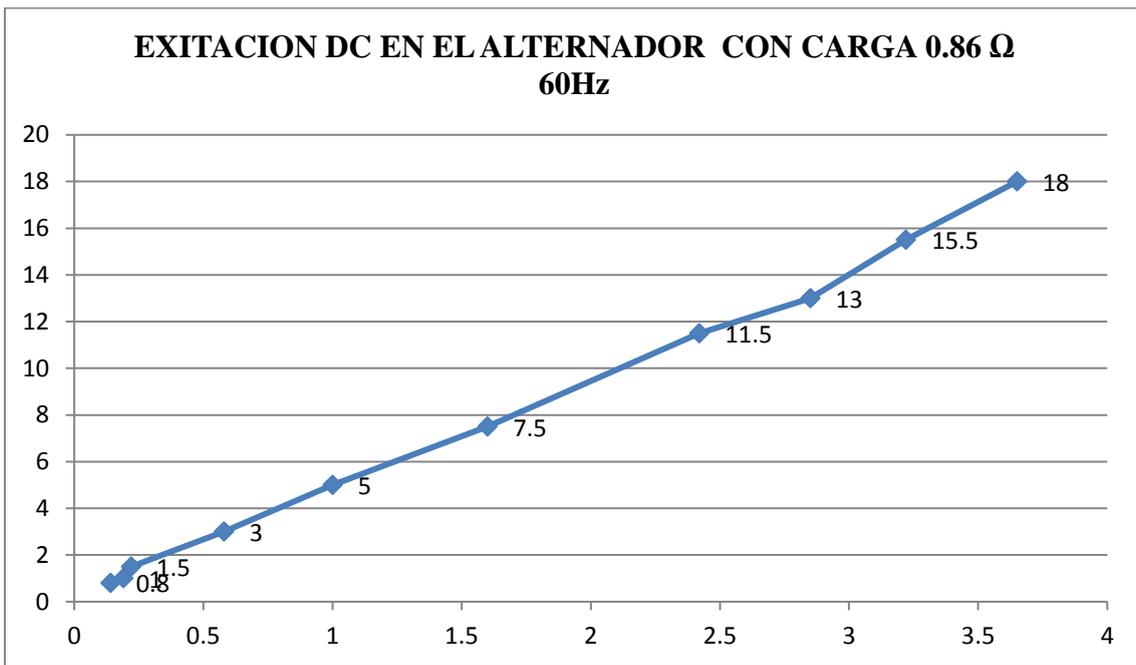
**Grafica 53** Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga a 15 Hz.



**Grafica 54** Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga a 30 Hz.



**Grafica 55** Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga a 45 Hz.



**Grafica 56** Corriente y voltaje de excitación en el alternador, con carga a 60 Hz.

**Descripción:**

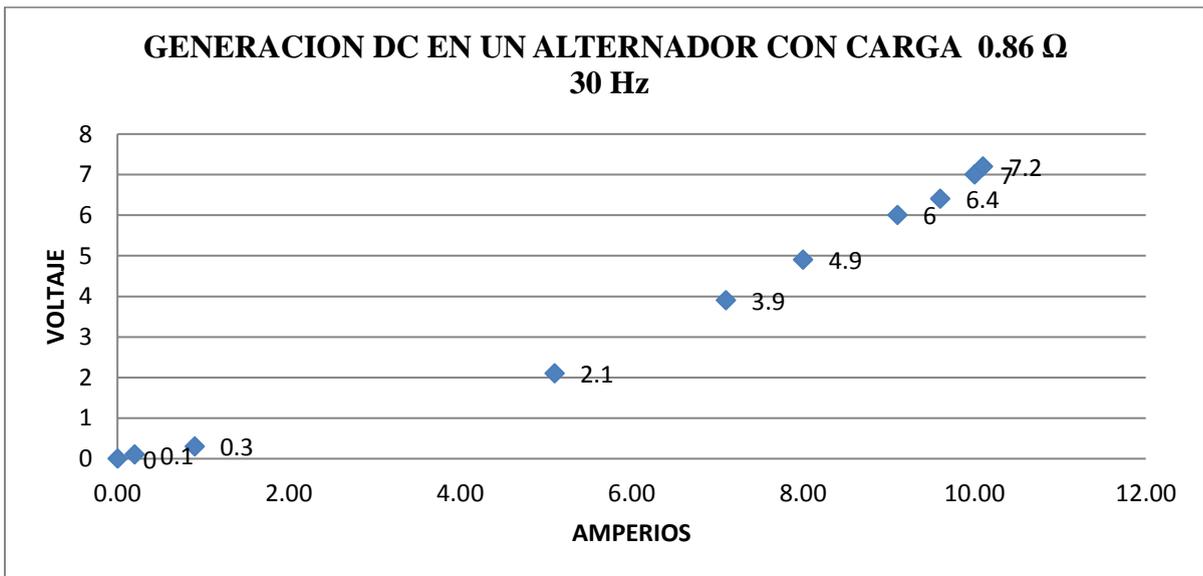
Los resultados graficados son los datos obtenidos con una carga de 0.86 Ω en el módulo; donde podemos apreciar que el gráficos N° 21, 22, 23 y 24 tienen la misma tendencia en cuanto a voltaje y amperaje con valores de 18V Y 3.65A respectivamente en las frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60Hz

c) **Generación DC en el alternador, con carga de  $0.86 \Omega$  en el modulo**

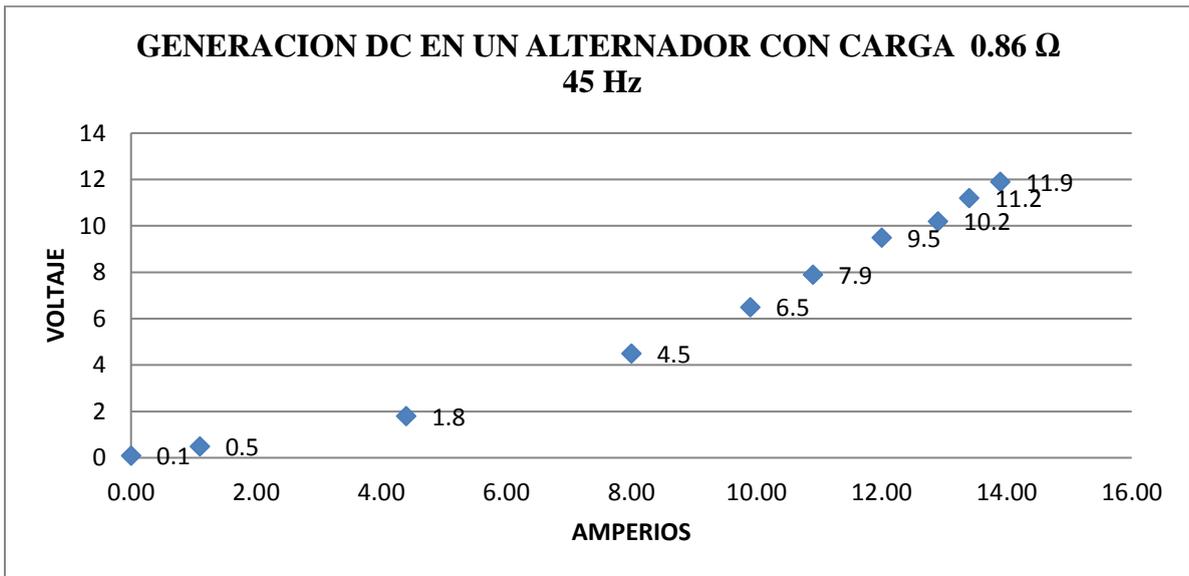
Generación DC e el alternador, con carga de  $0.86 \Omega$  en el módulo a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



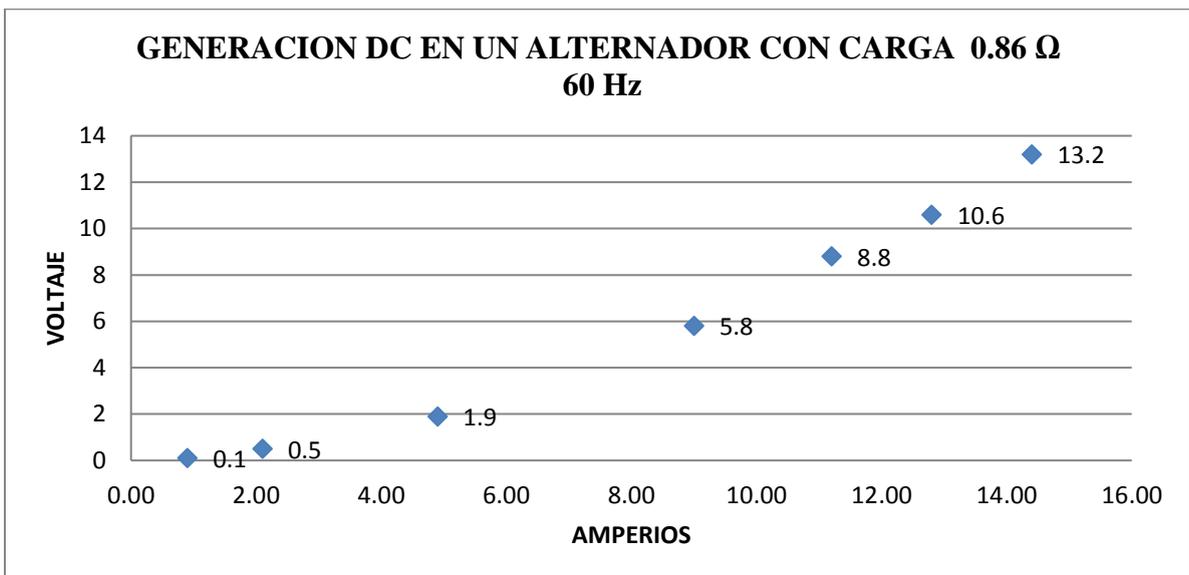
**Grafica 57** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 15 Hz.



**Grafica 58** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 30 Hz.



**Grafica 59** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 45 Hz.



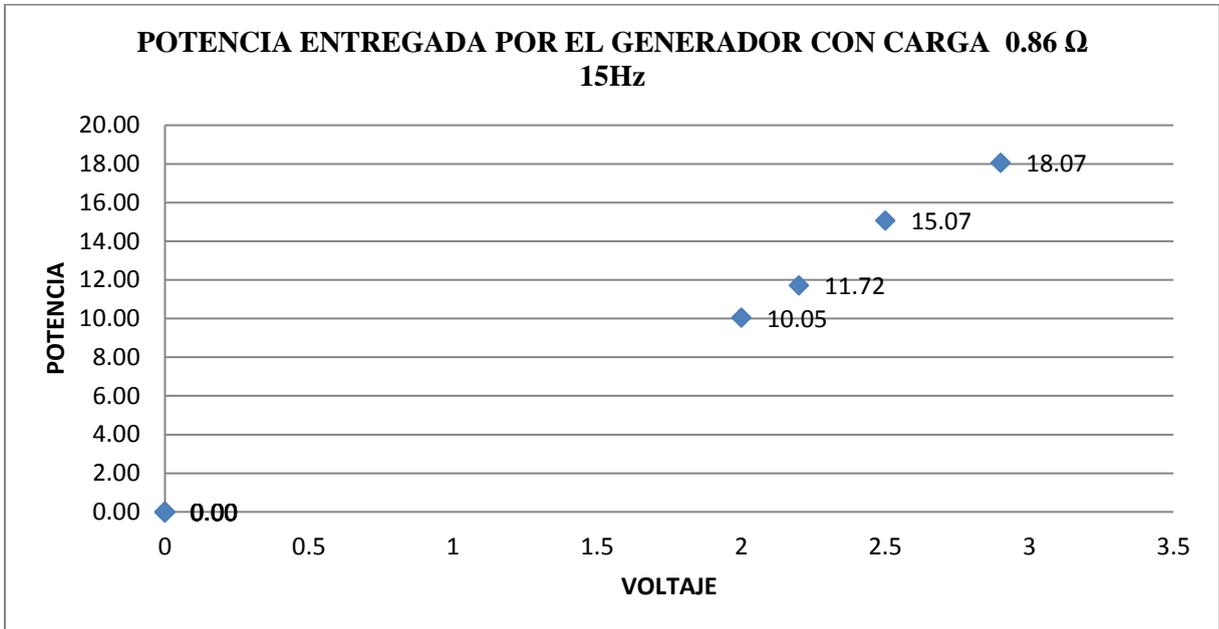
**Grafica 60** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 60 Hz.

**Descripción:**

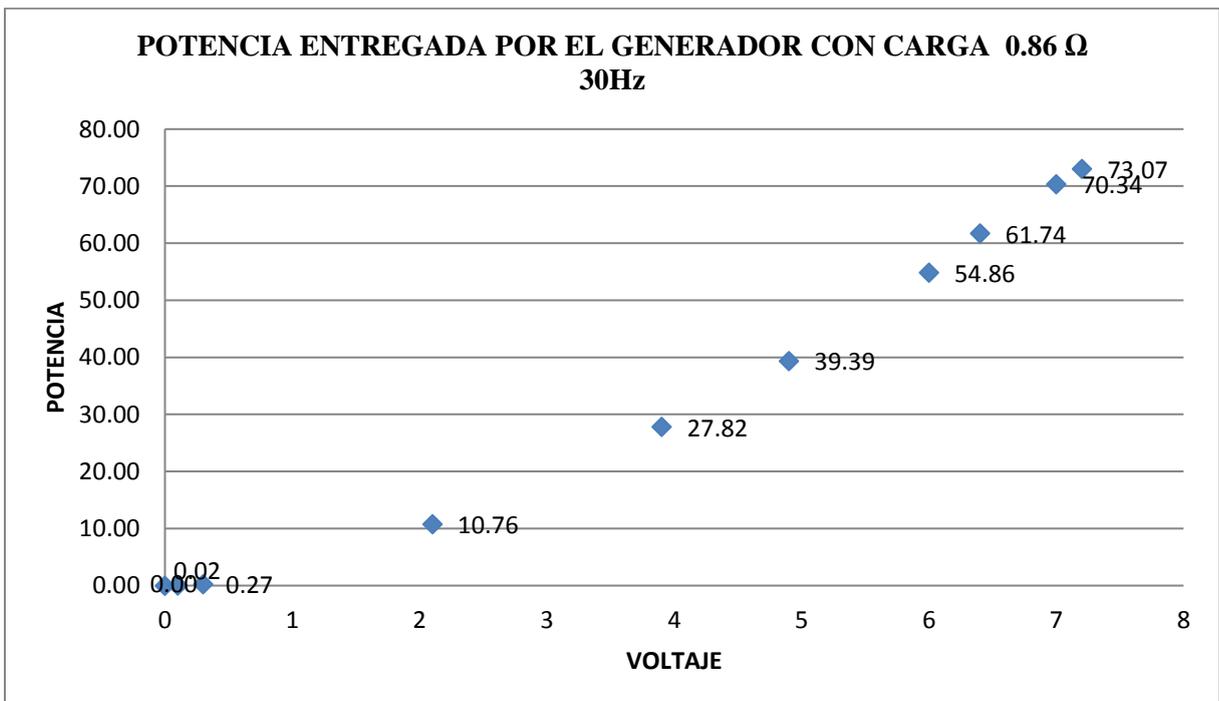
Los resultados graficados son los datos obtenidos son muestra de Voltaje y Corriente generada por nuestro alternador, es las gráficas N°57, 58, 59 y 60 se nota un incremento de corriente (A) y voltaje (V) muy notable, debido a que se uniformiza la generación con respecto al incremento de frecuencia. En la gráfica N° 59 obtuvimos 6.2 A y 2.9V, mientras que en la gráfica N° 60, 16 A y 16.2 V; respectivamente.

**d) Potencia Entregada por el Generador, con carga de  $0.86 \Omega$  en el Modulo**

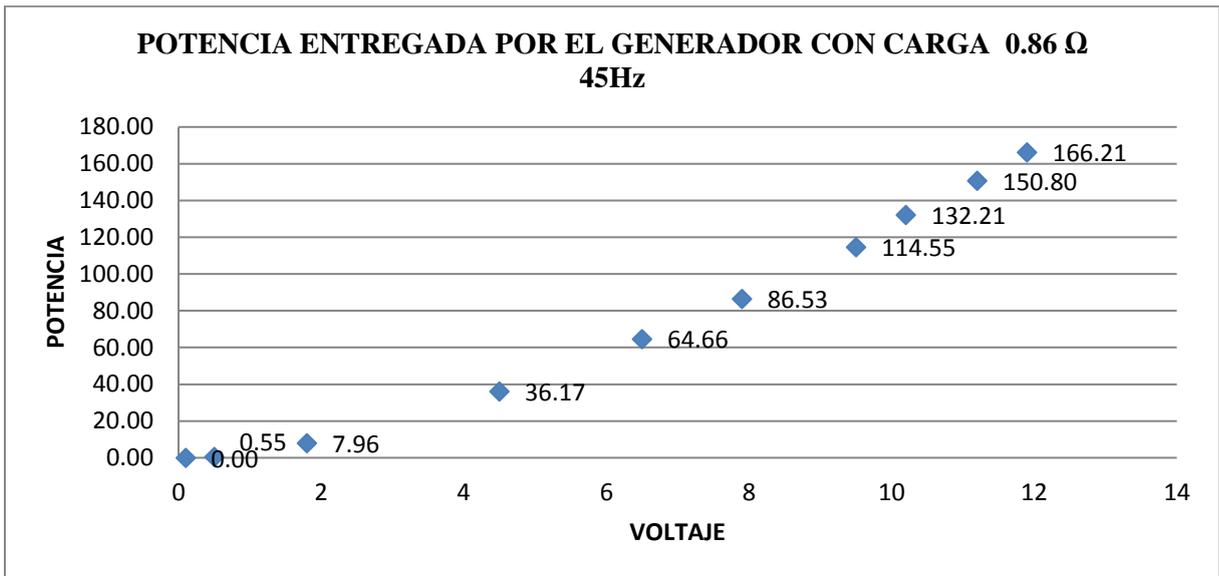
Potencia entregada por el generador, con carga de  $0.86 \Omega$  en el módulo a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



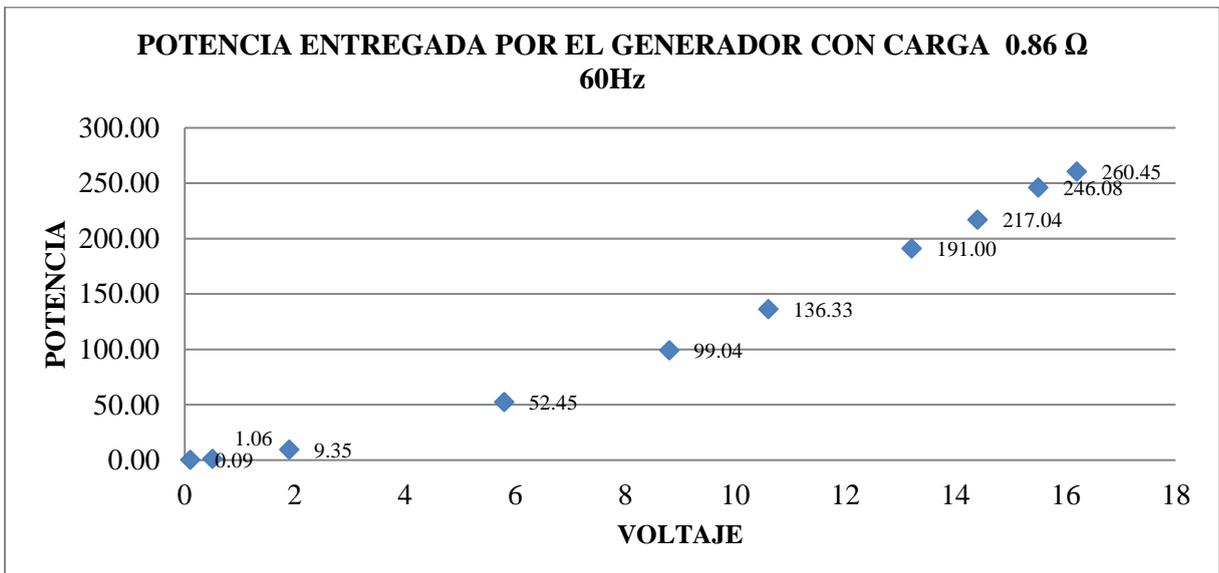
**Grafica 61** Potencia de generación en el alternador con carga a 15 Hz.



**Grafica 62** Potencia de generación en el alternador con carga a 30 Hz.



**Grafica 63** Potencia de generación en el alternador con carga a 45 Hz.



**Grafica 64** Potencia de generación en el alternador con carga a 60 Hz.

**Descripción:**

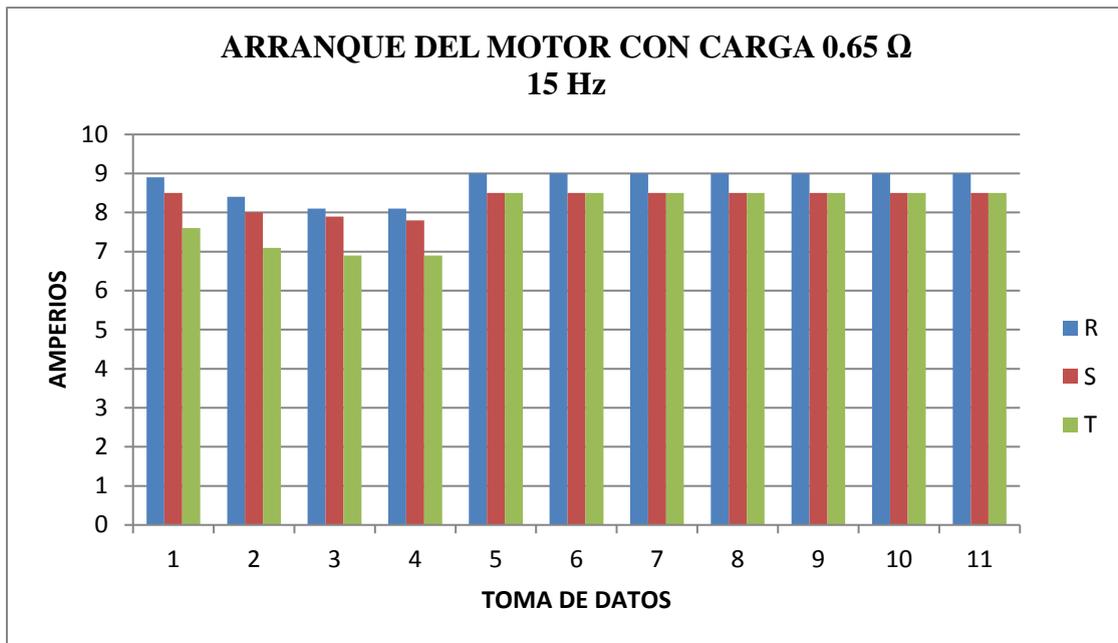
Los resultados en cuanto a potencia entregada por el generador, son directamente proporcional a la variación de Frecuencia entregada al motor a través del variador de Velocidad.

En estas 4 gráficas se observa notoriamente el aumento de voltaje y potencia con respecto al incremento de frecuencia (15, 30, 45 y 60 HZ), en las gráficas N°61, 62, 63 y 64. Obteniendo como registro de menor y mayor potencia de 18.07W y 260.45 W a 15Hz y 60Hz, respectivamente con una carga de  $0.86 \Omega$ .

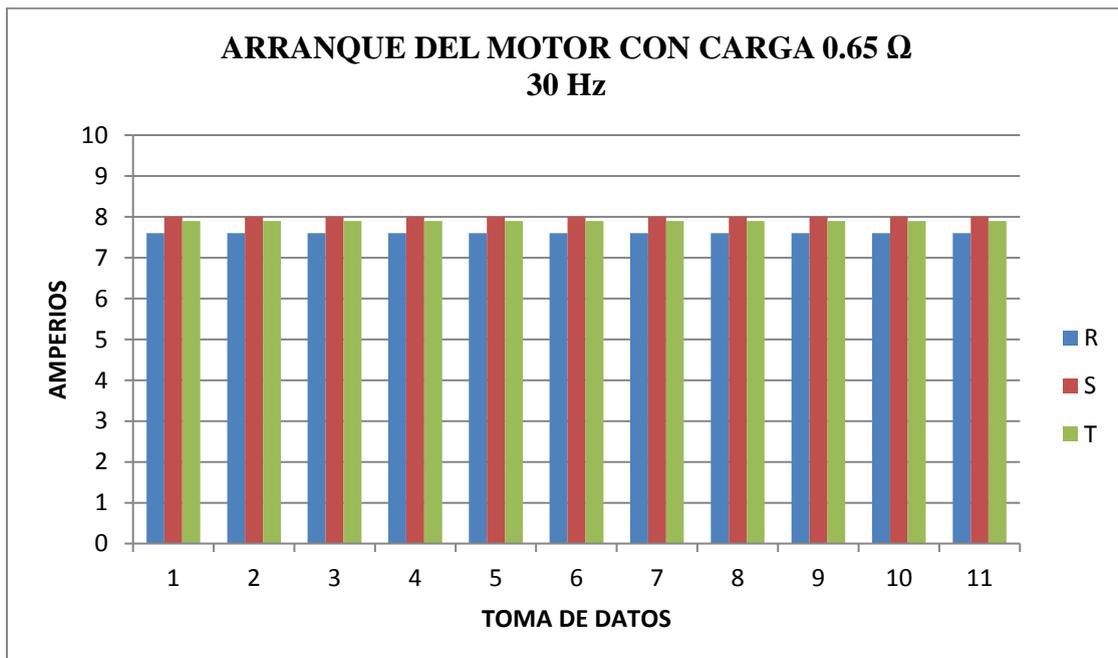
#### 4.5. CON CARGA 0.65 Ω

##### a) Arranque de motor con carga en el módulo de 0.65 Ω

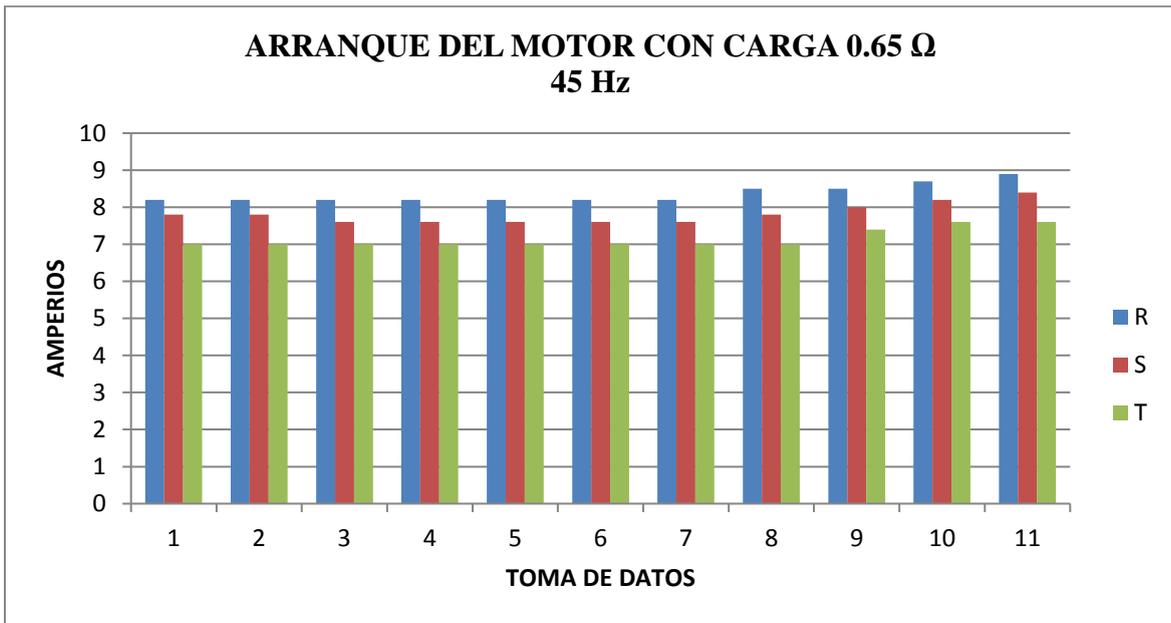
Se realizó el arranque de un motor con carga en el módulo de 0.65 Ω a diferentes frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente, se tomó 11 datos de la variación del excitador.



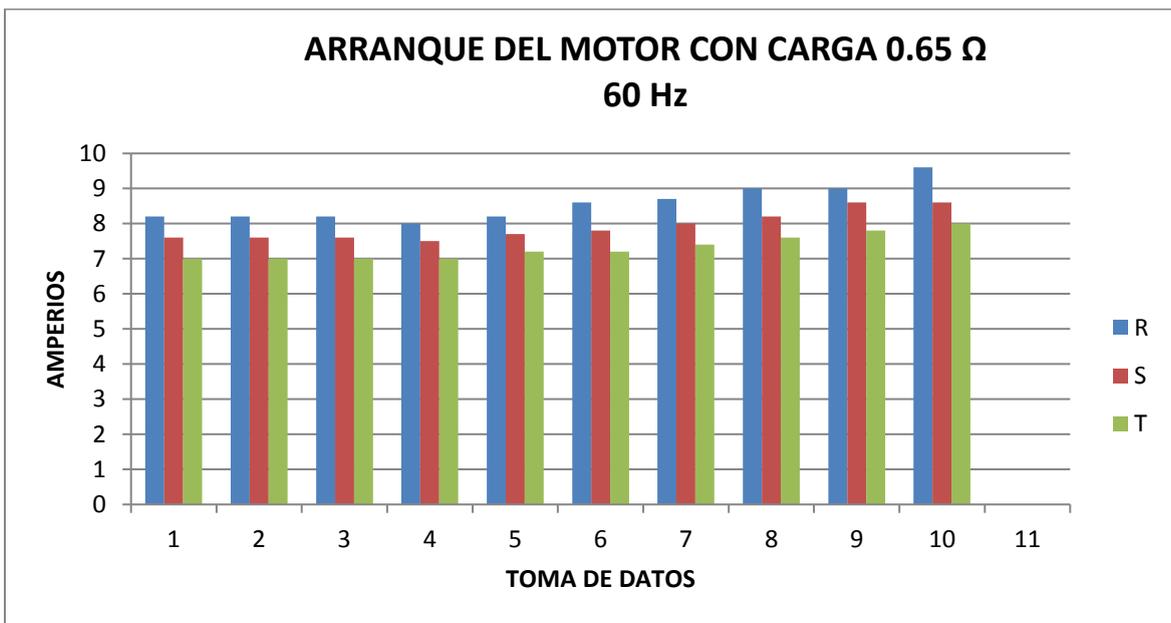
**Grafica 65** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 15 Hz.



**Grafica 66** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 30 Hz.



**Grafica 67** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 45 Hz.



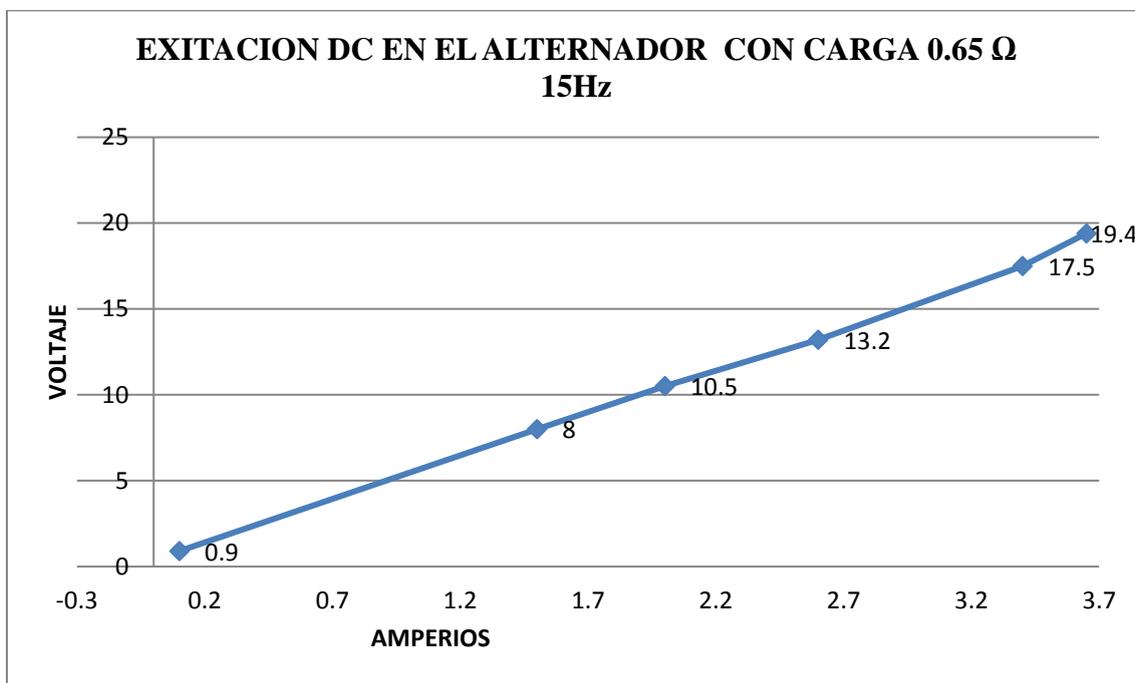
**Grafica 68** Arranque de motor asíncrono trifásico 380 voltios con carga 60 Hz.

**Descripción:**

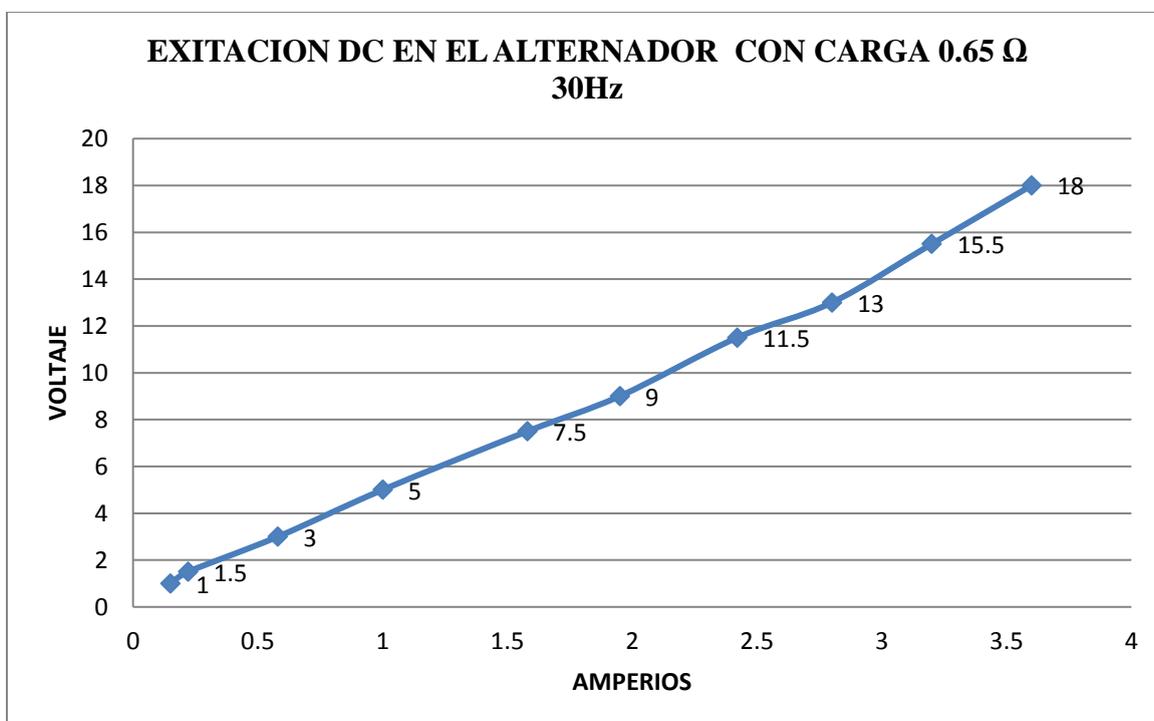
Los resultados graficados son los datos obtenidos del arranque del motor con una carga de 0.65 Ω, en cada una de las Gráficas (N° 65, 66, 67 y 68), se puede observar el comportamiento individual de cada una de las fases que alimenta nuestro motor, las cuales al aumentar la frecuencia baja mínimamente su consumo de Amperio (A), de 15Hz a 45Hz tiene un consumo inicial de 8.0A y según se aumenta la excitación llega a 8.5 A y logra regularizarse a una frecuencia de 60 HZ con un promedio de 8.6 A como se observa en la Gráfica N° 68.

**b) Excitación DC en el alternador, con carga en el módulo de  $0.65 \Omega$**

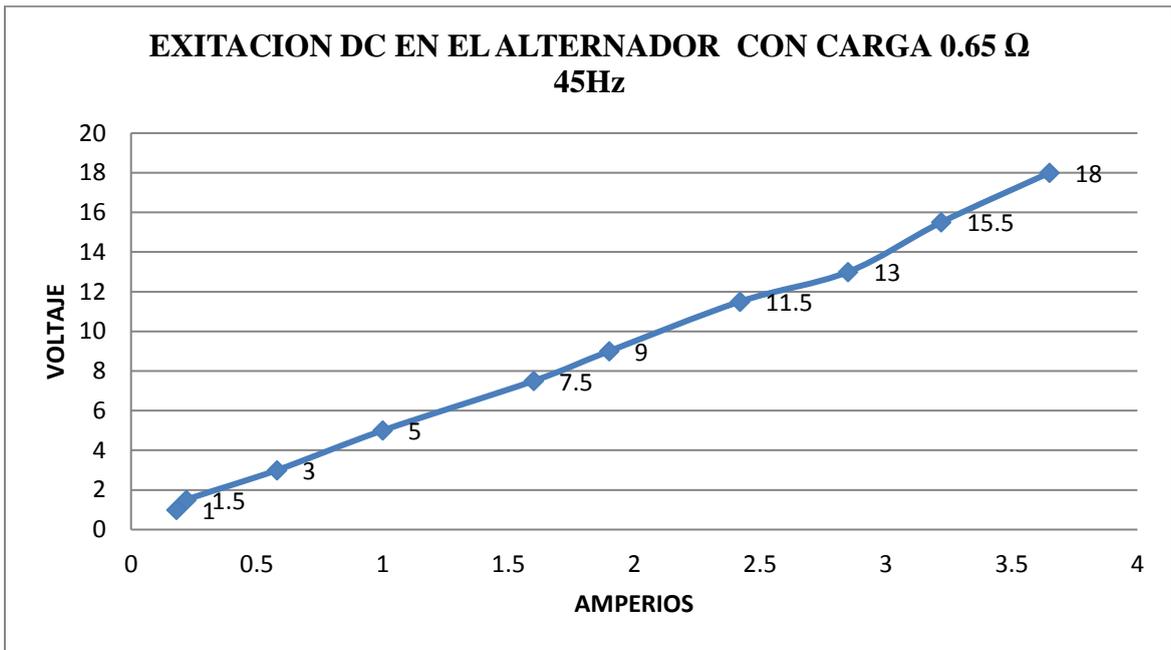
Variación del excitador en el alternador, con carga en el módulo de  $0.65 \Omega$  a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente



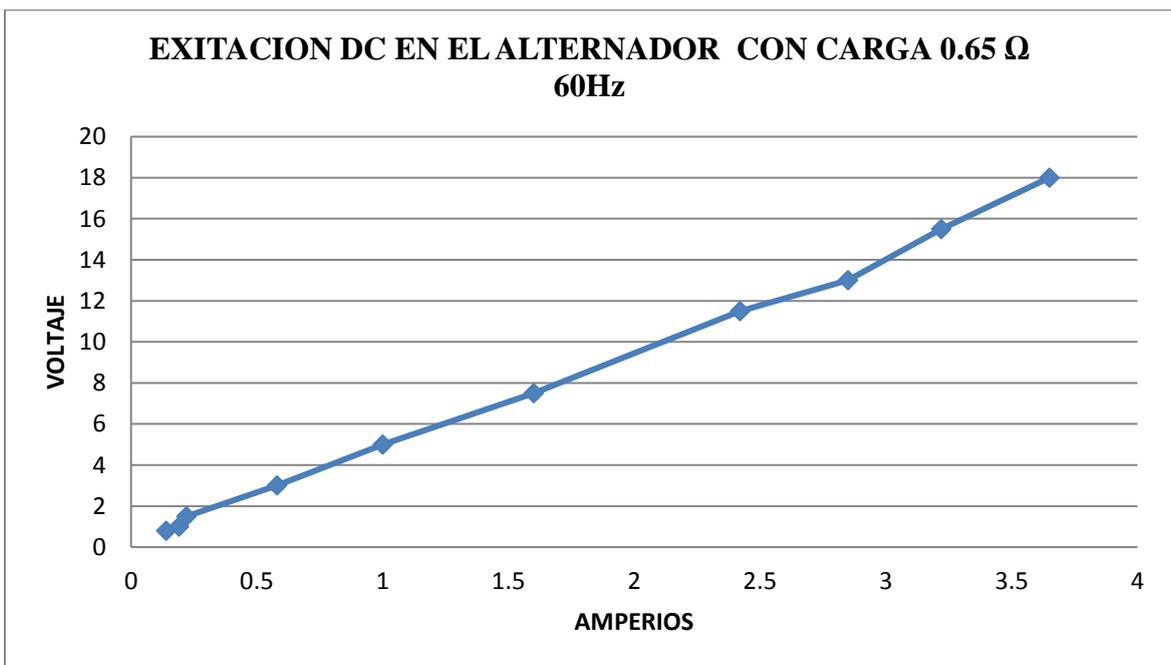
**Grafica 69** Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga a 15 Hz.



**Grafica 70** Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga a 30 Hz.



**Grafica 71** Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga a 45 Hz.



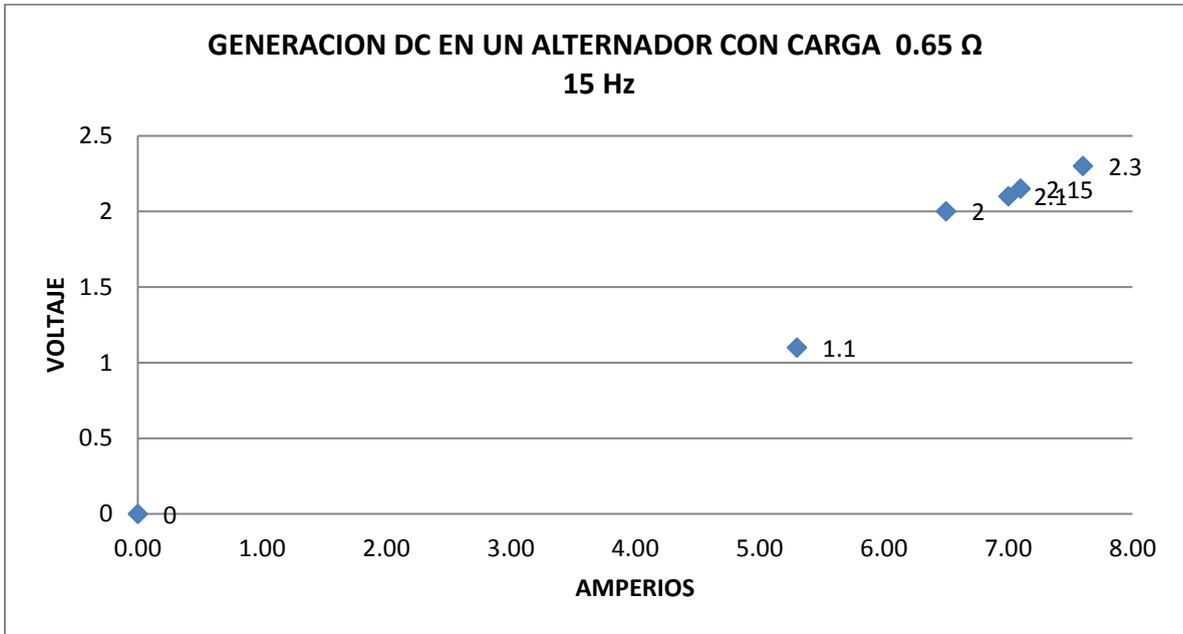
**Grafica 72** Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga a 60 Hz.

**Descripción:**

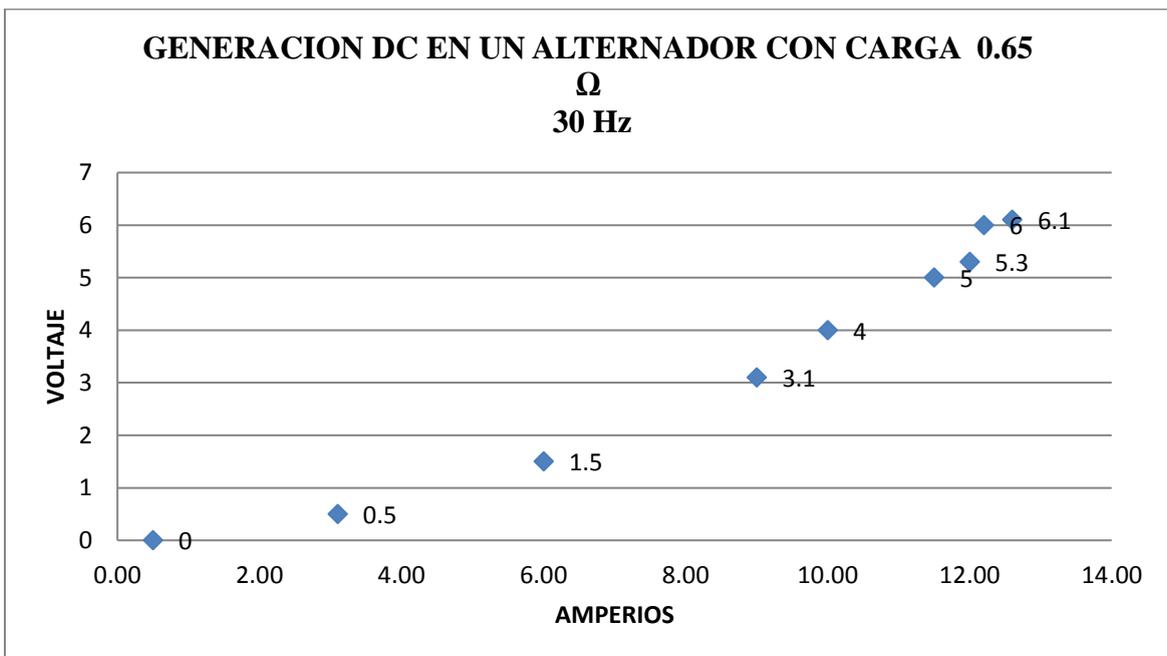
Los resultados graficados son los datos obtenidos con una carga de 0.65 Ω en el alternador; donde podemos apreciar que el gráficos N° 69, 70, 71 y 72 tienen la misma tendencia en cuanto a voltaje y amperaje con valores de 18V Y 3.65A respectivamente en las frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60Hz.

c) **Generación DC en el alternador, con carga de  $0.65 \Omega$  en el modulo**

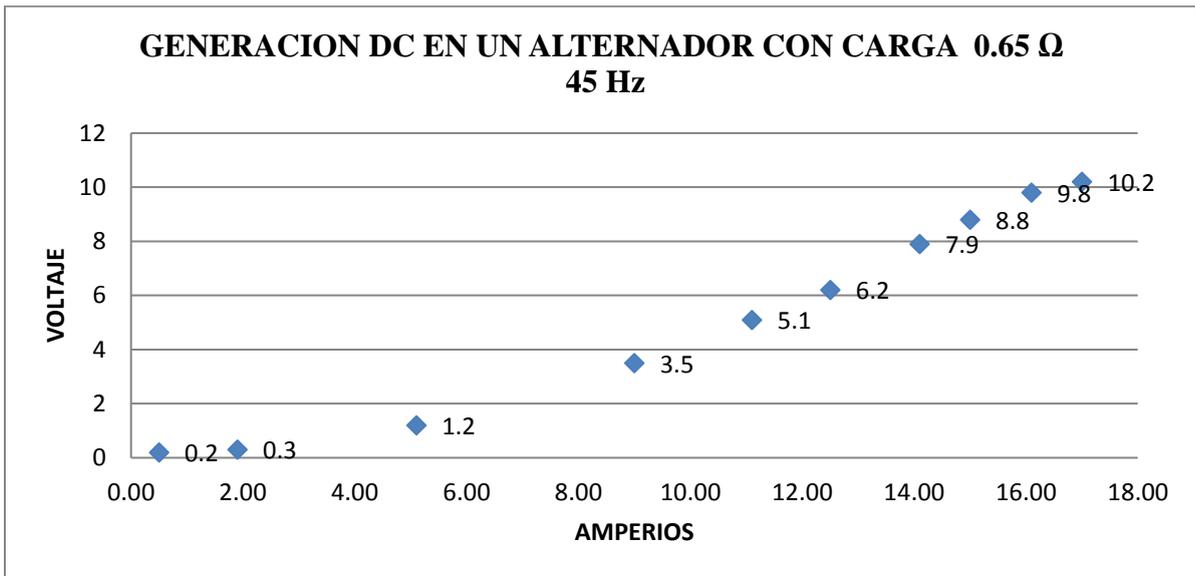
Generación DC e el alternador, con carga de  $0.65 \Omega$  en el módulo a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



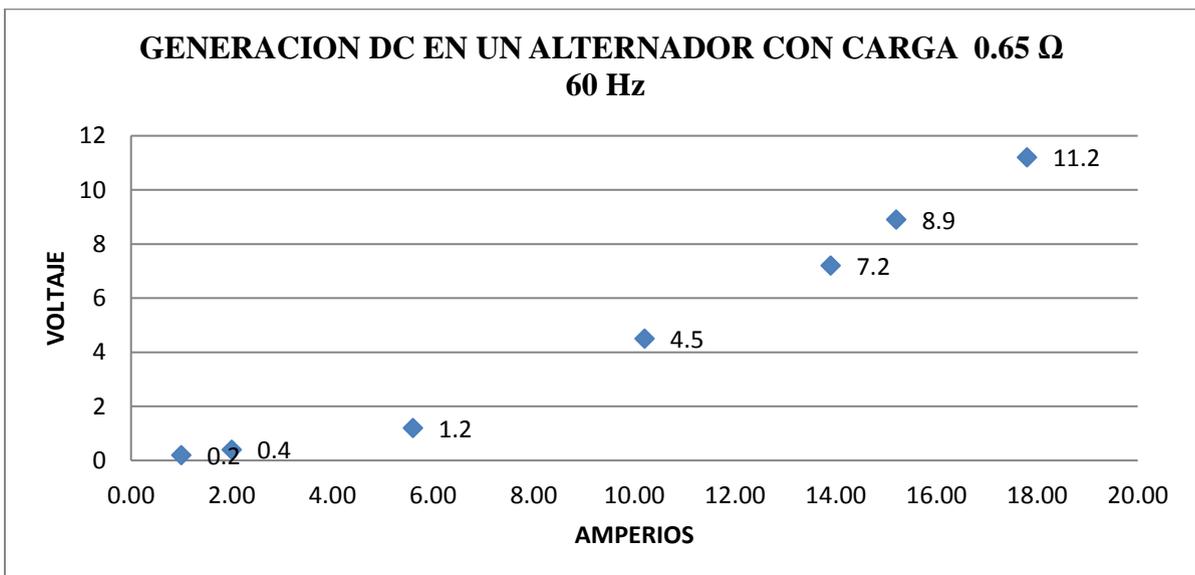
**Gráfica 73** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 15 Hz.



**Gráfica 74** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 30 Hz.



**Grafica 75** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 45 Hz.



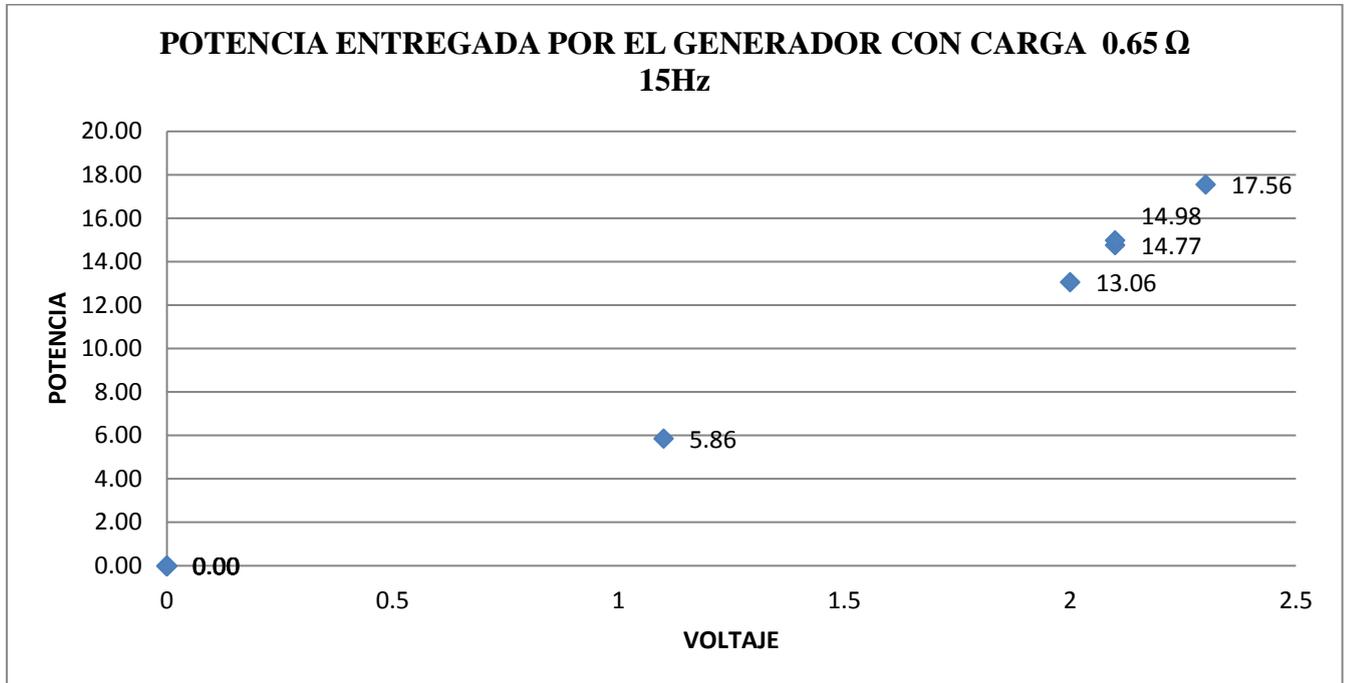
**Grafica 76** Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga a 60 Hz.

**Descripción:**

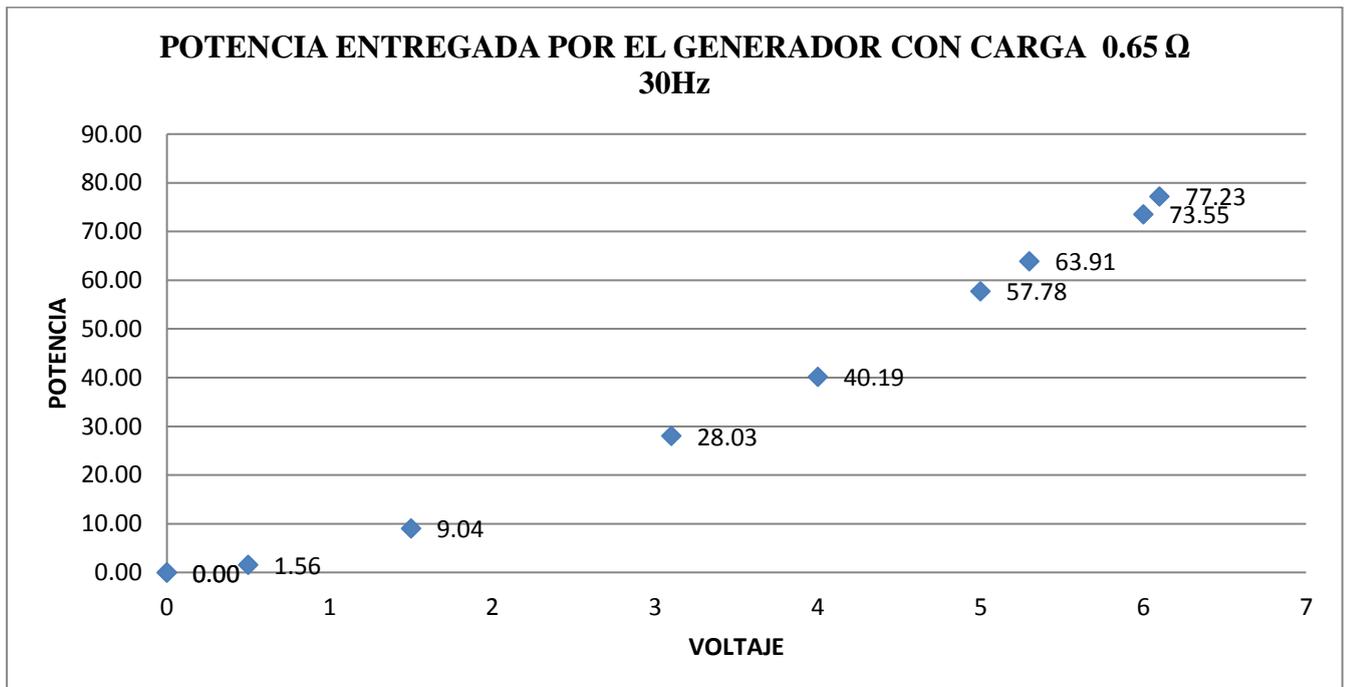
Los resultados graficados son los datos obtenidos son muestra de Voltaje y Corriente generada por nuestro alternador, es las gráficas N°73, 74, 75 y 76 se nota un incremento de corriente (A) y voltaje (V) muy notable, debido a que se uniformiza la generación con respecto al incremento de frecuencia. En la gráfica N° 73 obtuvimos 7.6 A y 2.3 V, mientras que en la gráfica N° 76, 19.5 A y 13.8 V; respectivamente.

**d) Potencia Entregada por el Generador, con carga de  $0.65 \Omega$  en el Modulo**

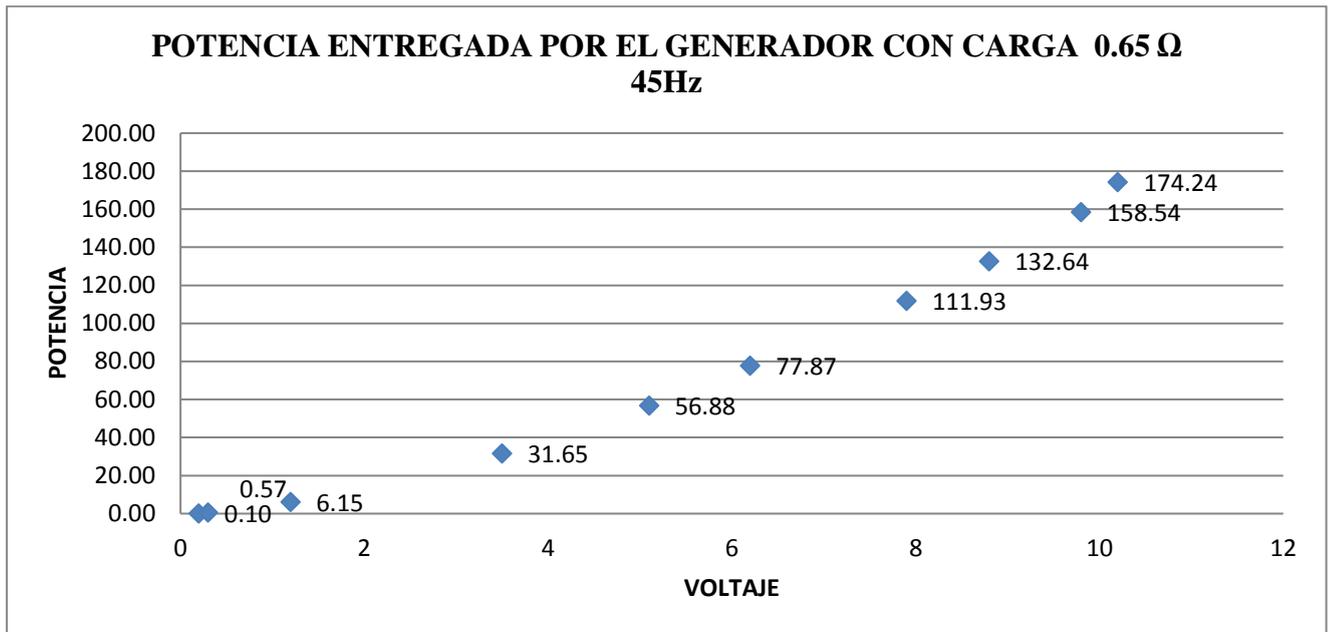
Potencia entregada por el generador, con carga de  $0.65\Omega$  en el módulo a frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60 Hz respectivamente.



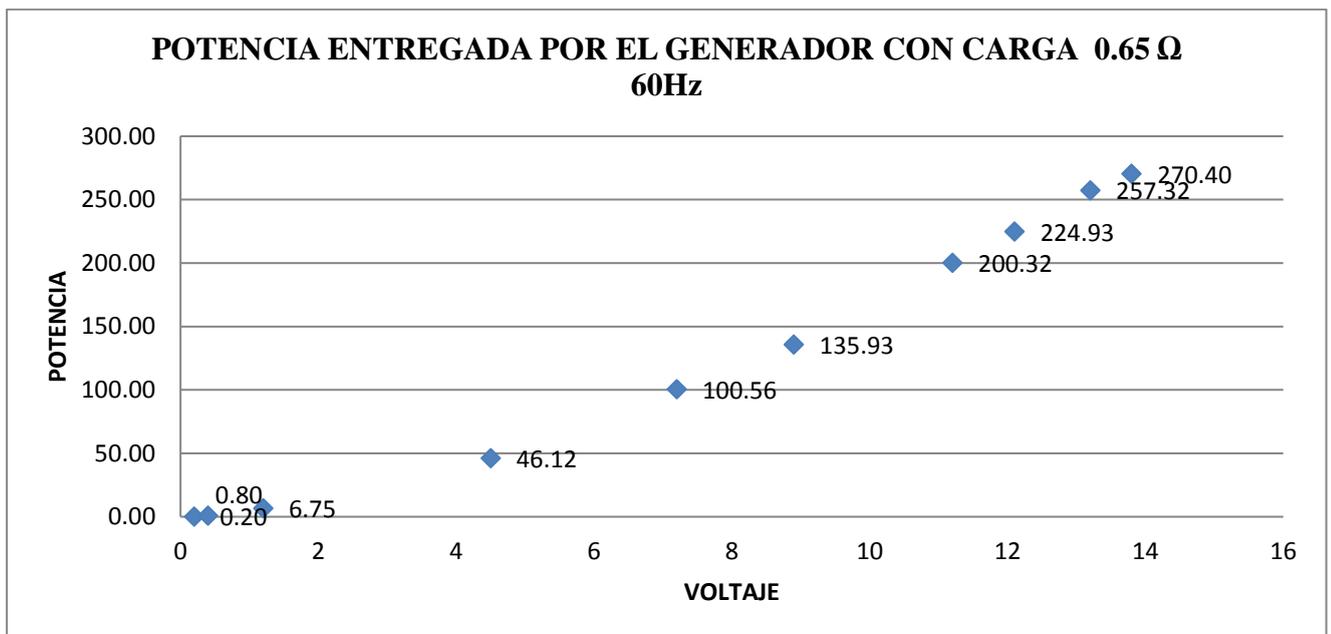
**Grafica 77** Potencia de generación en el alternador con carga a 15 Hz.



**Grafica 78** Potencia de generación en el alternador con carga a 30 Hz.



**Grafica 79** Potencia de generación en el alternador con carga a 45 Hz.



**Grafica 80** Potencia de generación en el alternador con carga a 60 Hz.

**Descripción:**

Los resultados en cuanto a potencia entregada por el generador, son directamente proporcional a la variación de Frecuencia entregada al motor a través del variador de Velocidad.

En estas 4 gráficas se observa notoriamente el aumento de voltaje y potencia con respecto al incremento de frecuencia (15, 30, 45 y 60 HZ), en las gráficas N°61, 62, 63 y 64. Obteniendo como registro de menor y mayor potencia de 17.56W y 270.40 W a 15Hz y 60Hz, respectivamente con una carga de 0.65 Ω .

# CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

Se concluyó:

- ❖ Se determinó que en el arranque de motor con el modulo sin carga los amperios obtenidos es de 8.5 A, 7.8 A, 8.5A Y 7.5 A con frecuencias de 15Hz, 30Hz, 45Hz y 60Hz respectivamente, para la excitación DC en el alternador tiene la misma tendencia en cuanto a voltaje y amperaje; la generación DC en el alternador solo se obtiene el voltaje “V” variando desde 6V hasta 20V respecto a la variación de frecuencia y al no obtener amperaje no existe potencia entrega por el generador solo Voltaje.
- ❖ Se determinó que con diferentes cargas de  $2,6\Omega$   $1,3\Omega$ ,  $0,86\Omega$  y  $0,65\Omega$  los amperios obtenidos en el arranque de motor oscilan para 15Hz de 8.2A a 8.5A; para 60Hz de 7.5A a 8.2A correspondiente a sus cargas, para la excitación DC en el alternador tiene la misma tendencia en cuanto a voltaje y amperaje para todas las cargas y todas las frecuencias; en la generación DC en el alternador oscilan para 15Hz de 4.2V a 2.3V; para 60Hz de 17.8V a 11.2V correspondiente a sus cargas y la potencia entregada por el Generador dio como resultado para una oscilación respecto a sus carga de 9.5W a 17.56W para 15Hz y de 93.01 a 270.40W para una frecuencia de 60Hz.
- ❖ Se determinó que la presente tesis, se convierta en una herramienta de uso didáctico para el desarrollo de los ensayos experimentales de los cursos Laboratorio de Máquinas Eléctricas y Laboratorio de Electricidad, correspondientes al Plan de Estudios de la Escuela de Ingeniería en Energía; La implementación del variador en este módulo despertó el interés por usar y aplicar todas las funciones con la que cuenta este variador de velocidad ya que la variación de la frecuencia es 1 parámetro de una rama de parámetros existentes en el manual lo cual pueden hacer diferentes módulos didácticos utilizados en la enseñanza de máquinas eléctricas.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Dentro de la implementación de un proyecto de uso didáctico como lo fue éste, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo; por lo tanto:

- ❖ Se recomienda extender la variable de estudio a otros tipos de parámetros eléctricos pero en corriente alterna incluyendo cargas capacitivas e inductivas.
- ❖ Se recomienda replicar estos tipos de proyecto orientados a otras asignaturas para calcular el consumo de energía eléctrica por efectos de reducción del pico del par de arranque, accesibilidad y control desde cualquier punto a través del puerto RS485 Modbus que permite enlazarse con otros equipos, ya que puede ser empleado en la plantas industriales e Hidroeléctricas ya que en este consigue intencionalmente una variación en el caudal de descarga de la bomba y así varia las revoluciones en la turbina, de esa manera ir implementando en los laboratorios de prácticas de la EAP Ingeniería en Energía.
- ❖ Se recomienda para un uso más completo del variador, usar todos los parámetros que indica en el manual lo cual es más extenso y puede ser usado para temas didácticos de así como para un proyecto de tesis.

## Referencias Bibliografía

- Aller, J. M. (2008). *Universidad Simon Bolivar*. (EQUINOCCIO, Ed.) Recuperado el 12 de Noviembre de 2016, de Departamento de Conversion y Transporte de Energia: <http://prof.usb.ve/jaller/Maquinas1.pdf>.
- Carlos, A. R. (Abril de 2012). *Universidad Nacional del Callao*. Recuperado el 18 de agosto de 2017, de Informe Final de trabajo de Investigacion: [http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes\\_Finales\\_Investigacion/IF\\_ABRIL\\_2012/IF\\_ALFARO%20RODRIGUEZ\\_FIEE.pdf](http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_ABRIL_2012/IF_ALFARO%20RODRIGUEZ_FIEE.pdf)
- Cisnero, O., & Yugsi, E. (Enero de 2013). *Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi*. Recuperado el 11 de Julio de 2017, de Universidad Tecnica de Cotopaxi: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1664/1/T-UTC-1538.pdf>
- Electric, S. (2015). *Schneider Electric*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de Schneider Electric: [http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo04\\_1907.pdf](http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo04_1907.pdf)
- Instruments, T. (2015). *Texas Instruments*. Recuperado el 22 de Octubre de 2016, de alldatasheet: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Lm2596>
- Kosow, I. L. (2003). *Maquinas Electricas y Transformadores* (5ta ed.). New York: Reverte S. A.
- Lorenzo, Z. C., & Jose, P. R. (2016). *“Diseño e Implementación del controlador electrónico de tensión para potencia variable en un Generador trifásico de un kilowatt”*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Mora, J. F. (2003). *Maquinas Electricas* (5ta ed.). España: Edicion Mc Graw- Hill.
- Nizama, J. C. (Julio de 2013). *Universidad Nacional de Piura*. Recuperado el 18 de Octubre de 2016, de Pirhua: [http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1761/IME\\_171.pdf?sequence=1](http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1761/IME_171.pdf?sequence=1)

- Politecnico, C. I. (2009). *Etitudela*. Recuperado el 09 de Octubre de 2016, de Etitudela:  
[www.etitudela.com/profesores/jmgn/DSMR/.../teoriadelosvariadoresdevelocidad.doc](http://www.etitudela.com/profesores/jmgn/DSMR/.../teoriadelosvariadoresdevelocidad.doc)
- Tecnologica, U. N. (2016). *Universidad Nacional Tecnologica*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de Facultad Regional de Avellaneda:  
[http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planestudio/quintonivel/electronicaII/apuntes/variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planestudio/quintonivel/electronicaII/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf)
- Weinbissinger, F. (Julio de 2010). *socomec*. Recuperado el 18 de Octubre de 2016, de Innovative Power Solution :  
[http://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/DOCUMENTATION/UPS\\_hors\\_cata/white-paper/Asynchronous\\_Motors\\_ES.pdf](http://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/DOCUMENTATION/UPS_hors_cata/white-paper/Asynchronous_Motors_ES.pdf)
- Wikipedia. (5 de junio de 2017). *Wikipedia*. Recuperado el 18 de Agosto de 2017, de Comportamiento\_organizacional:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Comportamiento\\_organizacional](https://es.wikipedia.org/wiki/Comportamiento_organizacional)

## ANEXOS

**ANEXO A PRESUPUESTO ANALITICO TOTAL**

ANEXO A-1

TABLA 6:

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
2.3.0	<b>BIENES</b>				
	Variador VFD022EL23A	Unidad	1	1850.00	1850.00
	Electroenchufe	Unidad	1	150.00	150.00
	Transformador 380-220V	Unidad	1	200.00	200.00
	<b>Sub Total</b>				<b>S/. 2200.00</b>
2.3.2	<b>SERVICIOS</b>				
	Internet	Hora	45	1.00	45.00
	Impresión	Unidad	160	0.50	80.00
	Fotocopiado	unidad	420	0.10	42.00
	Espira lado	Unidad	10	2.50	25.00
	<b>Sub Total</b>				<b>S/. 192.00</b>
2.3.99	<b>IMPREVISTOS</b>				
	Dispositivo USB	Unidad	2	25.00	50.00
	Calculadora	Unidad	1	15.00	15.00
	Papel Bond	Millar	1	11.00	11.00
	Lapiceros	Unidad	5	1.00	5.00
	Resaltador	unidad	5	2.50	12.50
	Movilidad	Unidad	1	200.00	200.00
	<b>Sub Total</b>				<b>S/. 293.5</b>
<b>TOTAL</b>					<b>S/. 2685.50</b>

## ANEXO B TABLA DE DATOS

ANEXO B-1

TABLA: 7

Frecuencia 15 Hz Sin carga			
	R	S	T
1	9	8.5	8.5
2	9	8.5	8.5
3	9	8.5	8.5
4	9	8.5	8.5
5	9	8.5	8.5
6	9	8.5	8.5
7	9	8.5	8.5
8	9	8.5	8.5
9	9	8.5	8.5
10	9	8.5	8.5
11	9	8.5	8.5

TABLA: 8

Frecuencia 30 Hz Sin carga			
	R	S	T
1	7.6	8	7.9
2	7.6	8	7.9
3	7.6	8	7.9
4	7.6	8	7.9
5	7.6	8	7.9
6	7.6	8	7.9
7	7.6	8	7.9
8	7.6	8	7.9
9	7.6	8	7.9
10	7.6	8	7.9
11	7.6	8	7.9

TABLA: 9

Frecuencia 45 Hz Sin carga			
	R	S	T
1	9	8.5	8.5
2	9	8.5	8.5
3	9	8.5	8.5
4	9	8.5	8.5
5	9	8.5	8.5
6	9	8.5	8.5
7	9	8.5	8.5
8	9	8.5	8.5
9	9	8.5	8.5
10	9	8.5	8.5
11	9	8.5	8.5

TABLA: 10

Frecuencia 60 Hz Sin carga			
	R	S	T
1	8.35	7.6	6.8
2	8.35	7.6	6.8
3	8.35	7.6	6.8
4	8.35	7.6	6.8
5	8.35	7.6	6.8
6	8.35	7.6	6.8
7	8.35	7.6	6.8
8	8.35	7.6	6.8
9	8.35	7.6	6.8
10	8.35	7.6	6.8
11	8.35	7.6	6.8

ANEXO B-2

TABLA: 11

Frecuencia 15 Hz. Sin Carga	
0.12	0.7
0.19	1
0.58	3
1.00	5
1.58	7.5
2.00	9
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

TABLA: 12

Frecuencia 30 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.15	0.9
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.58	7.5
1.95	9
2.42	11.5
2.80	13
3.22	15.5
3.60	18

TABLA: 13

Frecuencia 45 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.18	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
1.90	9
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

TABLA: 14

Frecuencia 60 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.14	0.8
0.19	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

ANEXO B-3

TABLA: 15

Frecuencia 15 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.00	0.3
0.00	0.5
0.00	1
0.00	2.5
0.00	3.8
0.00	4.5
0.00	5.1
0.00	5.5
0.00	5.9
0.00	6

TABLA: 16

Frecuencia 30 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.00	0.6
0.00	2.1
0.00	3
0.00	5.5
0.00	8.4
0.00	9.8
0.00	11.3
0.00	11.9
0.00	12.5
0.00	13

TABLA: 17

Frecuencia 45 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.00	1.2
0.00	2.3
0.00	4.9
0.00	8.9
0.00	13.1
0.00	15.2
0.00	17.9
0.00	20
0.00	20
0.00	20
0.00	20

TABLA: 18

Frecuencia 60 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.00	1.8
0.00	2.3
0.00	2.8
0.00	6.5
0.00	11.8
0.00	18
0.00	20
0.00	20
0.00	20
0.00	20

ANEXO B-4

TABLA: 19

Frecuencia 15 Hz. Sin Carga		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0.3	0.00
0.00	0.5	0.00
0.00	1	0.00
0.00	2.5	0.00
0.00	3.8	0.00
0.00	4.5	0.00
0.00	5.1	0.00
0.00	5.5	0.00
0.00	5.9	0.00
0.00	6	0.00

TABLA: 20

Frecuencia 30 Hz. Sin Carga		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0.6	0.00
0.00	2.1	0.00
0.00	3	0.00
0.00	5.5	0.00
0.00	8.4	0.00
0.00	9.8	0.00
0.00	11.3	0.00
0.00	11.9	0.00
0.00	12.5	0.00
0.00	13	0.00

TABLA: 21

Frecuencia 45 Hz. Sin Carga		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	1.2	0.00
0.00	2.3	0.00
0.00	4.9	0.00
0.00	8.9	0.00
0.00	13.1	0.00
0.00	15.2	0.00
0.00	17.9	0.00
0.00	20	0.00
0.00	20	0.00
0.00	20	0.00
0.00	20	0.00

TABLA: 22

Frecuencia 60 Hz. Sin Carga		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	1.8	0.00
0.00	2.3	0.00
0.00	2.8	0.00
0.00	6.5	0.00
0.00	11.8	0.00
0.00	18	0.00
0.00	20	0.00
0.00	20	0.00
0.00	20	0.00
0.00	20	0.00

ANEXO B-5

TABLA: 23

Frecuencia 15 Hz-2.6Ω			
	R	S	T
1	8	7.5	7
2	8.5	8	7.3
3	8.6	8.2	7.1
4	8.4	8.4	7.1
5	8.4	8.5	8.5
6	8.4	8.5	8.5
7	8.4	8.5	8.5
8	8.4	8.5	8.5
9	8.4	8.5	8.5
10	8.4	8.5	8.5
11	8.4	8.5	8.5

TABLA: 24

Frecuencia 30 Hz-2.6Ω			
	R	S	T
1	8.5	8.1	7.1
2	8.4	8	7
3	8.2	7.8	6.9
4	8.2	7.8	7
5	7.6	8	7.9
6	7.6	8	7.9
7	7.6	8	7.9
8	7.6	8	7.9
9	7.6	8	7.9
10	7.6	8	7.9
11	7.6	8	7.9

TABLA: 25

Frecuencia 45 Hz-2.6Ω			
	R	S	T
1	8.4	7.8	7
2	8.4	7.8	7
3	8.4	7.8	7
4	8.3	7.8	7
5	8.2	7.6	7
6	8.2	7.6	7
7	8.2	7.6	7
8	8.2	7.6	7
9	9	8.5	8.5
10	9	8.5	8.5
11	9	8.5	8.5

TABLA: 26

Frecuencia 60 Hz-2.6Ω			
	R	S	T
1	8.2	7.6	6.8
2	8.2	7.6	6.8
3	8.2	7.6	6.8
4	8.2	7.6	6.8
5	8.2	7.6	6.8
6	8.2	7.6	6.8
7	8.35	7.6	6.8
8	8.35	7.6	6.8
9	8.35	7.6	6.8
10	8.2	7.6	7
11	8.35	7.6	6.8

ANEXO B-6

TABLA: 27

Frecuencia 15 Hz-2.6Ω	
Amperios	Voltaje
0.18	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
1.90	9
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

TABLA: 28

Frecuencia 30 Hz-2.6Ω	
Amperios	Voltaje
0.18	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
1.90	9
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

TABLA: 29

Frecuencia 45 Hz-2.6Ω	
Amperios	Voltaje
0.18	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
1.90	9
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

TABLA: 30

Frecuencia 60 Hz-2.6Ω	
Amperios	Voltaje
0.14	0.8
0.19	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

ANEXO B-7

TABLA: 31

Frecuencia 15 Hz-2.6Ω	
Amperios	Voltaje
0.00	0.1
0.80	0.7
1.00	1.3
1.50	2.2
1.70	2.6
1.90	3
2.00	3.3
2.10	3.8
2.20	4
2.25	4.2

TABLA: 32

Frecuencia 30 Hz-2.6Ω	
Amperios	Voltaje
0.00	0.1
0.10	0.2
1.20	1.8
2.10	4.2
3.00	6
3.20	7.1
3.50	8.9
3.88	9.2
3.90	9.9
3.95	10.1

TABLA: 33

Frecuencia 45 Hz-2.6Ω	
Amperios	Voltaje
0.00	0.1
0.90	0.8
1.90	3
3.10	7.1
3.90	10
4.10	11.9
4.80	14.1
4.90	15
5.00	16
5.02	16.5

TABLA: 34

Frecuencia 60 Hz-2.6Ω	
Amperios	Voltaje
0.50	0.8
1.80	3.8
2.50	4.8
3.20	7
3.80	8.2
4.20	11.1
4.80	13.1
5.00	15
5.10	16.4
5.20	17.8

ANEXO B-8

TABLA: 35

Frecuencia 15 Hz-2.6Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0.1	0.00
0.80	0.7	0.56
1.00	1.3	1.31
1.50	2.2	3.32
1.70	2.6	4.44
1.90	3	5.73
2.00	3.3	6.63
2.10	3.8	8.02
2.20	4	8.84
2.25	4.2	9.50

TABLA: 36

Frecuencia 30 Hz-2.6Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0.1	0.00
0.10	0.2	0.02
1.20	1.8	2.17
2.10	4.2	8.86
3.00	6	18.09
3.20	7.1	22.83
3.50	8.9	31.30
3.88	9.2	35.87
3.90	9.9	38.80
3.95	10.1	40.09

TABLA: 37

Frecuencia 45 Hz-2.6Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0.1	0.00
0.90	0.8	0.72
1.90	3	5.73
3.10	7.1	22.12
3.90	10	39.19
4.10	11.9	49.03
4.80	14.1	68.01
4.90	15	73.85
5.00	16	80.39
5.02	16.5	83.23

TABLA: 38

Frecuencia 60 Hz-2.6Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.50	0.8	0.40
1.80	3.8	6.87
2.50	4.8	12.06
3.20	7	22.51
3.80	8.2	31.31
4.20	11.1	46.84
4.80	13.1	63.18
5.00	15	75.36
5.10	16.4	84.04
5.20	17.8	93.01

ANEXO B-9

TABLA: 39

Frecuencia 15 Hz-1.3Ω			
	R	S	T
1	9.0	8.6	7.5
2	8.5	8.1	7.1
3	8.4	7.9	7
4	8.1	7.8	6.8
5	8	7.8	6.8
6	8	7.8	6.8
7	9	8.5	8.5
8	9	8.5	8.5
9	9	8.5	8.5
10	9	8.5	8.5
11	9	8.5	8.5

TABLA: 40

Frecuencia 30 Hz-1.3Ω			
	R	S	T
1	8.4	7.8	7
2	8.4	7.7	7
3	8.2	7.6	7
4	8.2	7.6	7
5	8.4	7.7	7
6	8.4	7.8	7
7	8.4	7.8	7
8	8.4	7.8	7.1
9	8.4	7.9	7.1
10	8.4	7.9	7.2
11	8.4	7.9	7.2

TABLA: 41

Frecuencia 45 Hz-1.3Ω			
	R	S	T
1	9	8.5	8.5
2	9	8.5	8.5
3	9	8.5	8.5
4	9	8.5	8.5
5	9	8.5	8.5
6	9	8.5	8.5
7	9	8.5	8.5
8	9	8.5	8.5
9	9	8.5	8.5
10	9	8.5	8.5
11	9	8.5	8.5

TABLA: 42

Frecuencia 60 Hz-1.3Ω			
	R	S	T
1	8.1	7.5	6.8
2	8.1	7.6	6.8
3	8.1	7.5	6.8
4	8.2	7.6	7
5	8.4	7.6	7
6	8.4	7.6	7
7	8.35	7.6	6.8
8	8.6	7.6	7.4
9	8.35	7.6	6.8
10	8.35	7.6	6.8
11	8.35	7.6	6.8

ANEXO B-10

TABLA: 43

Frecuencia 15 Hz-1.3Ω	
Amperios	Voltaje
0.15	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.58	7.5
1.95	9
2.42	11.5
2.80	13
3.22	15.5
3.60	18

TABLA: 44

Frecuencia 30 Hz-1.3Ω	
Amperios	Voltaje
0.18	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.58	7.5
1.95	9
2.42	11.5
2.80	13
3.22	15.5
3.60	18

TABLA: 45

Frecuencia 45 Hz-1.3Ω	
Amperios	Voltaje
0.18	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
1.90	9
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

TABLA: 46

Frecuencia 60 Hz-1.3Ω	
Amperios	Voltaje
0.14	0.8
0.19	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

ANEXO B-11

TABLA: 47

Frecuencia 15 Hz-1.3Ω	
Amperios	Voltaje
0.00	0
3.10	1.9
4.00	2.5
4.10	3
4.50	3.3
4.80	3.5

TABLA: 48

Frecuencia 30 Hz-1.3Ω	
Amperios	Voltaje
0.00	0.1
0.10	0.2
2.20	1
2.80	3.9
5.20	4.9
6.00	6
6.80	7.1
7.00	7.8
7.20	8.2
7.30	8.6

TABLA: 49

Frecuencia 45 Hz-1.3Ω	
Amperios	Voltaje
0.00	0.1
1.20	0.5
3.40	2
5.20	4.9
7.10	8
8.00	9.8
9.00	11.9
9.20	12.8
9.60	13.2
9.80	13.8

TABLA: 50

Frecuencia 60 Hz-1.3Ω	
Amperios	Voltaje
0.80	0.2
1.90	0.8
3.95	2.9
6.80	7.1
8.10	10.8
9.40	13.2
10.40	16
11.00	17.2
11.40	18.5

ANEXO B-12

TABLA: 51

Frecuencia 15 Hz-1.3Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0	0.00
3.10	1.9	5.92
4.00	2.5	10.05
4.10	3	12.36
4.50	3.3	14.92
4.80	3.5	16.88
0.00	0	0.00
0.00	0	0.00
0.00	0	0.00
0.00	0	0.00

TABLA: 52

Frecuencia 30 Hz-1.3Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0.1	0.00
0.10	0.2	0.02
2.20	1	2.21
2.80	3.9	10.97
5.20	4.9	25.60
6.00	6	36.17
6.80	7.1	48.51
7.00	7.8	54.86
7.20	8.2	59.32
7.30	8.6	63.08

TABLA: 53

Frecuencia 45 Hz-1.3Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0.1	0.00
1.20	0.5	0.60
3.40	2	6.83
5.20	4.9	25.60
7.10	8	57.07
8.00	9.8	78.78
9.00	11.9	107.62
9.20	12.8	118.33
9.60	13.2	127.33
9.80	13.8	135.89

TABLA: 54

Frecuencia 60 Hz-1.3Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.80	0.2	0.16
1.90	0.8	1.53
3.95	2.9	11.51
6.80	7.1	48.51
8.10	10.8	87.90
9.40	13.2	124.68
10.40	16	167.20
11.00	17.2	190.11
11.40	18.5	211.92
0.00	0	0.00

ANEXO B-13

TABLA: 55

Frecuencia 15 Hz-0.86Ω			
	R	S	T
1	8.9	8.6	7.5
2	8.2	8	7
3	8.1	7.9	6.9
4	8.1	7.9	6.9
5	9	8.5	8.5
6	9	8.5	8.5
7	9	8.5	8.5
8	9	8.5	8.5
9	9	8.5	8.5
10	9	8.5	8.5
11	9	8.5	8.5

TABLA: 56

Frecuencia 30 Hz-0.86Ω			
	R	S	T
1	7.6	8	7.9
2	7.6	8	7.9
3	7.6	8	7.9
4	7.6	8	7.9
5	7.6	8	7.9
6	7.6	8	7.9
7	7.6	8	7.9
8	7.6	8	7.9
9	7.6	8	7.9
10	7.6	8	7.9
11	7.6	8	7.9

TABLA: 57

Frecuencia 45 Hz-0.86Ω			
	R	S	T
1	8.4	7.8	7
2	8.4	7.8	7
3	8.2	7.6	7
4	8.2	7.6	7
5	8.4	7.6	7
6	9	8.5	8.5
7	9	8.5	8.5
8	9	8.5	8.5
9	9	8.5	8.5
10	9	8.5	8.5
11	9	8.5	8.5

TABLA: 58

Frecuencia 60 Hz-0.86Ω			
	R	S	T
1	8.2	7.5	7
2	8.2	7.5	7
3	8.2	7.6	7
4	8.2	7.6	7
5	8.4	7.6	7
6	8.4	7.6	7
7	8.6	8	7.5
8	8.6	8	7.5
9	8.8	8.1	7.5
10	9	8.1	7.8
11	9	8.2	7.8

ANEXO B-14

TABLA: 59

Frecuencia 15 Hz-0.86Ω	
Amperios	Voltaje
0.18	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
1.90	9
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

TABLA: 60

Frecuencia 30 Hz-0.86Ω	
Amperios	Voltaje
0.18	0.9
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.58	7.5
1.95	9
2.42	11.5
2.80	13
3.22	15.5
3.60	18

TABLA: 62

Frecuencia 45 Hz-0.86Ω	
Amperios	Voltaje
0.18	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
1.90	9
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

TABLA: 63

Frecuencia 60 Hz-0.86Ω	
Amperios	Voltaje
0.14	0.8
0.19	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

ANEXO B-15

TABLA: 64

Frecuencia 15 Hz-0.86Ω	
Amperios	Voltaje
0.00	0
5.00	2
5.30	2.2
6.00	2.5
6.20	2.9

TABLA: 65

Frecuencia 30 Hz-0.86Ω	
Amperios	Voltaje
0.00	0
0.20	0.1
0.90	0.3
5.10	2.1
7.10	3.9
8.00	4.9
9.10	6
9.60	6.4
10.00	7
10.10	7.2

TABLA: 65

Frecuencia 45 Hz-0.86Ω	
Amperios	Voltaje
0.00	0.1
1.10	0.5
4.40	1.8
8.00	4.5
9.90	6.5
10.90	7.9
12.00	9.5
12.90	10.2
13.40	11.2
13.90	11.9

TABLA: 66

Frecuencia 60 Hz-0.86Ω	
Amperios	Voltaje
0.90	0.1
2.10	0.5
4.90	1.9
9.00	5.8
11.20	8.8
12.80	10.6
14.40	13.2
15.00	14.4
15.80	15.5
16.00	16.2

ANEXO B-16

TABLA: 67

Frecuencia 15 Hz-0.86Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0	0.00
5.00	2	10.05
5.30	2.2	11.72
6.00	2.5	15.07
6.20	2.9	18.07
0.00	0	0.00
0.00	0	0.00
0.00	0	0.00
0.00	0	0.00
0.00	0	0.00

TABLA: 68

Frecuencia 30 Hz-0.86Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0	0.00
0.20	0.1	0.02
0.90	0.3	0.27
5.10	2.1	10.76
7.10	3.9	27.82
8.00	4.9	39.39
9.10	6	54.86
9.60	6.4	61.74
10.00	7	70.34
10.10	7.2	73.07

TABLA: 69

Frecuencia 45 Hz-0.86Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0.1	0.00
1.10	0.5	0.55
4.40	1.8	7.96
8.00	4.5	36.17
9.90	6.5	64.66
10.90	7.9	86.53
12.00	9.5	114.55
12.90	10.2	132.21
13.40	11.2	150.80
13.90	11.9	166.21

TABLA: 70

Frecuencia 60 Hz-0.86Ω		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.90	0.1	0.09
2.10	0.5	1.06
4.90	1.9	9.35
9.00	5.8	52.45
11.20	8.8	99.04
12.80	10.6	136.33
14.40	13.2	191.00
15.00	14.4	217.04
15.80	15.5	246.08
16.00	16.2	260.45

ANEXO B-17

TABLA: 70

Frecuencia 15 Hz -0.65Ω			
	R	S	T
1	8.9	8.5	7.6
2	8.4	8	7.1
3	8.1	7.9	6.9
4	8.1	7.8	6.9
5	9	8.5	8.5
6	9	8.5	8.5
7	9	8.5	8.5
8	9	8.5	8.5
9	9	8.5	8.5
10	9	8.5	8.5
11	9	8.5	8.5

TABLA: 71

Frecuencia 30 Hz -0.65Ω			
	R	S	T
1	7.6	8	7.9
2	7.6	8	7.9
3	7.6	8	7.9
4	7.6	8	7.9
5	7.6	8	7.9
6	7.6	8	7.9
7	7.6	8	7.9
8	7.6	8	7.9
9	7.6	8	7.9
10	7.6	8	7.9
11	7.6	8	7.9

TABLA: 72

Frecuencia 45 Hz -0.65Ω			
	R	S	T
1	8.2	7.8	7
2	8.2	7.8	7
3	8.2	7.6	7
4	8.2	7.6	7
5	8.2	7.6	7
6	8.2	7.6	7
7	8.2	7.6	7
8	8.5	7.8	7
9	8.5	8	7.4
10	8.7	8.2	7.6
11	8.9	8.4	7.6

TABLA: 73

Frecuencia 60 Hz -0.65Ω			
	R	S	T
1	8.2	7.6	7
2	8.2	7.6	7
3	8.2	7.6	7
4	8	7.5	7
5	8.2	7.7	7.2
6	8.6	7.8	7.2
7	8.7	8	7.4
8	9	8.2	7.6
9	9	8.6	7.8
10	9.6	8.6	8

ANEXO B-18

TABLA: 74

Frecuencia 15 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.1	0.9
1.50	8
2.00	10.5
2.60	13.2
3.40	17.5
3.65	19.4

TABLA: 75

Frecuencia 30 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.15	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.58	7.5
1.95	9
2.42	11.5
2.80	13
3.20	15.5
3.60	18

TABLA: 75

Frecuencia 45 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.18	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
1.90	9
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

TABLA: 76

Frecuencia 60 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.14	0.8
0.19	1
0.22	1.5
0.58	3
1.00	5
1.60	7.5
2.42	11.5
2.85	13
3.22	15.5
3.65	18

ANEXO B-19

TABLA: 77

Frecuencia 15 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.00	0
5.30	1.1
6.50	2
7.00	2.1
7.10	2.15
7.60	2.3

TABLA: 78

Frecuencia 30 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.50	0
3.10	0.5
6.00	1.5
9.00	3.1
10.00	4
11.50	5
12.00	5.3
12.20	6
12.60	6.1

TABLA: 79

Frecuencia 45 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
0.50	0.2
1.90	0.3
5.10	1.2
9.00	3.5
11.10	5.1
12.50	6.2
14.10	7.9
15.00	8.8
16.10	9.8
17.00	10.2

TABLA: 80

Frecuencia 60 Hz. Sin Carga	
Amperios	Voltaje
1.00	0.2
2.00	0.4
5.60	1.2
10.20	4.5
13.90	7.2
15.20	8.9
17.80	11.2
18.50	12.1
19.40	13.2
19.50	13.8

ANEXO B-20

TABLA: 81

Frecuencia 15 Hz. Sin Carga		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.00	0	0.00
5.30	1.1	5.86
6.50	2	13.06
7.00	2.1	14.77
7.10	2.15	15.34
7.60	2.3	17.56

TABLA: 82

Frecuencia 30 Hz. Sin Carga		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.50	0	0.00
3.10	0.5	1.56
6.00	1.5	9.04
9.00	3.1	28.03
10.00	4	40.19
11.50	5	57.78
12.00	5.3	63.91
12.20	6	73.55
12.60	6.1	77.23

TABLA: 83

Frecuencia 45 Hz. Sin Carga		
Amperios	Voltaje	Potencia
0.50	0.2	0.10
1.90	0.3	0.57
5.10	1.2	6.15
9.00	3.5	31.65
11.10	5.1	56.88
12.50	6.2	77.87
14.10	7.9	111.93
15.00	8.8	132.64
16.10	9.8	158.54
17.00	10.2	174.24

TABLA: 84

Frecuencia 60 Hz. Sin Carga		
Amperios	Voltaje	Potencia
1.00	0.2	0.20
2.00	0.4	0.80
5.60	1.2	6.75
10.20	4.5	46.12
13.90	7.2	100.56
15.20	8.9	135.93
17.80	11.2	200.32
18.50	12.1	224.93
19.40	13.2	257.32
19.50	13.8	270.40