

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**



**“MÓDULO DIDÁCTICO PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS Y  
COMPENSAR EL FACTOR DE POTENCIA MEDIANTE LA MÁQUINA  
SÍNCRONA”**

**Tesis presentada por los Bachilleres:  
FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, MIGUEL ÁNGEL  
CHOQUE BARRIENTOS, RAÚL FREDDY**

**Para optar el Título Profesional de:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Asesor: Ing. Chirinos Apaza, Luis**

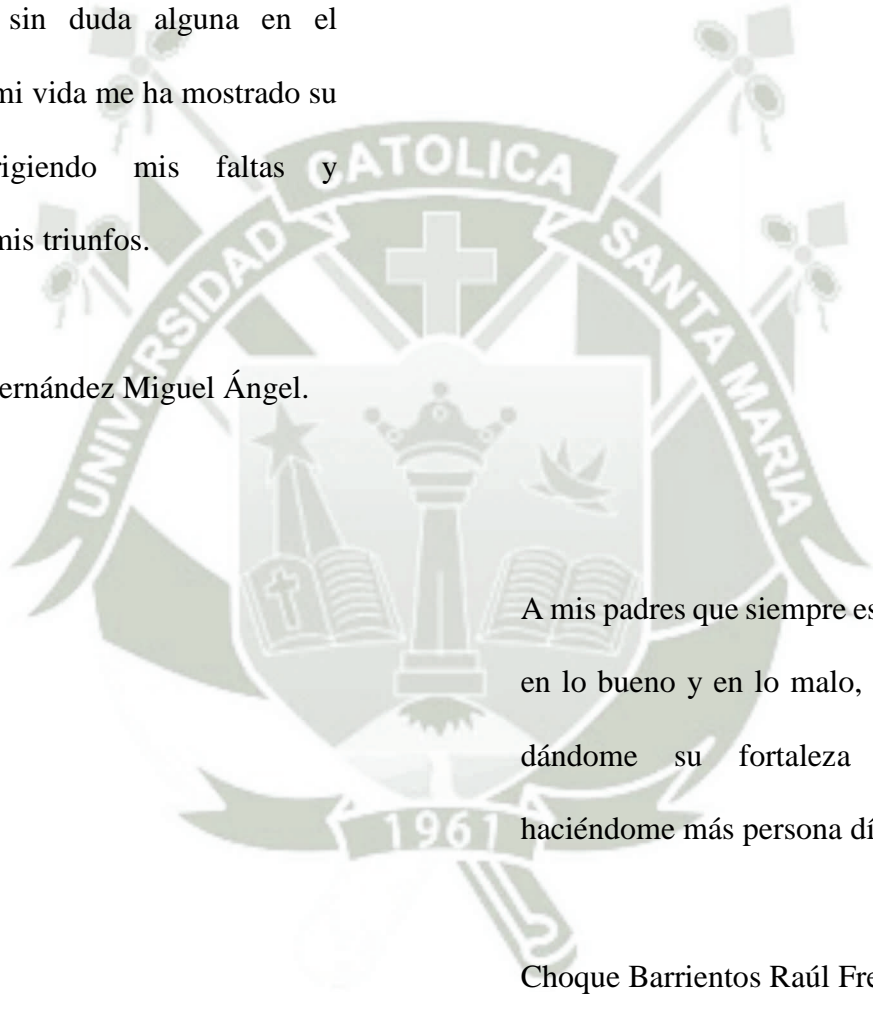
**AREQUIPA – PERÚ  
2017**

## DEDICATORIA

Dedicado:

A mi madre por toda su confianza y apoyo que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha mostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

Fernández Fernández Miguel Ángel.



A mis padres que siempre están conmigo en lo bueno y en lo malo, apoyándome dándome su fortaleza guiándome, haciéndome más persona día a día.

Choque Barrientos Raúl Freddy.

## AGRADECIMIENTO

A los profesores:

De la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica de la Universidad Católica de Santa María, por brindarnos sus conocimientos y experiencias en el transcurso de nuestra preparación como profesionales, gracias a ellos somos forjadores de nuestro futuro profesionalmente siendo posible asumir retos difíciles y enfrentarlos de forma asertiva para poder superarlos.

A nuestro asesor:

Ing. Luis A. Chirinos Apaza, por guiarnos en el transcurso de la elaboración de este trabajo recibiendo sus consejos, apoyándonos de manera incondicional con tolerancia y paciencia logrando dar fin a esta etapa planteada muchas gracias.

## PRESENTACIÓN

En la realización de este trabajo de investigación se manifiesta el diseño, construcción y finalmente el análisis del módulo de la máquina síncrona como generador y motor el cual se instalará en los ambientes del laboratorio de máquinas eléctricas de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Católica de Santa María, este módulo reforzará a los alumnos de pregrado con un mejor entendimiento en lo referente a las máquinas síncronas a través de prácticas propuestas como parte de este proyecto.

El módulo propuesto ha sido construido para realizar las pruebas necesarias acorde a las máquinas síncronas reforzando los conocimientos adquiridos en las máquinas eléctricas familiarizando al alumno en la comprensión y conceptos teórico-prácticos referidos a la transformación de energía, así como también desarrollar con más profundidad este tipo de máquina su importancia en la generación de energía como la obtención de parámetros eléctricos para lo cual se analiza el factor de potencia para diferentes condiciones de carga.

## RESUMEN

El trabajo presentado a continuación tiene como fin el diseño e implementación de un módulo didáctico para realizar prácticas sobre máquinas síncronas a diferentes condiciones de carga tomando como base la aplicación de electricidad y máquinas eléctricas.

Este módulo consta de una estructura metal mecánica con ruedas para su desplazamiento y un tablero acondicionado de manera que pueda efectuarse las conexiones necesarias para la realización de las prácticas planteadas incluyendo algunos elementos del laboratorio de electricidad y máquinas rotativas de la universidad.

La primera práctica consiste en realizar un ensayo directo sobre el alternador con los terminales en circuito abierto para estimar los parámetros necesarios y con ello trazar las curvas de la maquina síncrona luego realizar el cálculo de la impedancia sincrónica.

La segunda práctica se realiza el ensayo sobre el alternador con los terminales en corto circuito obteniendo los parámetros para trazar la curva característica de corto circuito calculando también su impedancia sincrónica.

En la tercera práctica se obtiene la curva característica de ensayo con valores de corriente de excitación de carga y corriente excitación de vacío a tensión constante cualquiera que sea la carga y el factor de potencia.

En la cuarta práctica se obtiene las características externas con corriente de excitación constante este ensayo permite determinar la caída de tensión en terminales del alternador a diferentes valores de carga y el factor de potencia.

En la quinta práctica se obtiene la curva característica de intensidad de carga y factor de potencia nulo y constante considerando la tensión de salida en terminales en función de la corriente de excitación.

En la sexta práctica se familiariza con la maniobra de sincronización de dos alternadores entre sí o a la red se hace el control de la entrega de potencia activa y reactiva, se determina la corriente de sincronización.

En la séptima práctica se determina los métodos de arranque del motor síncrono para la obtención de las curvas en V corrección del factor de potencia de la red.

**PALABRAS CLAVES:** máquina sincrónica, factor de potencia, potencia reactiva, excitación de campo, voltaje inducido.



## ABSTRACT

The work presented below aims at the design and implementation of a didactic module to perform practices on synchronous machines under different load conditions based on the application of electricity and electric machines.

This module consists of a mechanical metal structure with wheels for its displacement and a board conditioned so that the necessary connections can be made to carry out the practices posed, including some elements of the electrical laboratory and rotating machines of the university.

The first practice is to perform a direct test on the alternator with the terminals in open circuit to estimate the necessary parameters and thus draw the curves of the synchronous machine then perform the calculation of the synchronous impedance.

The second practice is the test on the alternator with the terminals in short circuit obtaining the parameters to draw the characteristic curve of short circuit also calculating its synchronous impedance.

In the third practice, the test characteristic curve is obtained with values of charge excitation current and vacuum excitation current at constant voltage, regardless of the load and the power factor.

In the fourth practice the external characteristics are obtained with constant excitation current. This test allows to determine the voltage drop in alternator terminals at different load values and the power factor.

In the fifth practice, we obtain the characteristic curve of charge current and null and constant power factor considering the output voltage in terminals as a function of the excitation current.

In the sixth practice is familiarized with the synchronization maneuver of two alternators with each other or the network is made the control of active and reactive power delivery, the synchronization current is determined.

In the seventh practice, the methods of starting the synchronous motor to obtain the curves in V correction of the power factor of the network are determined.

**KEY WORDS:** synchronous machine, power factor, reactive power, field excitation, induced voltage.



## **ALCANCE**

Contribuir a la formación de los estudiantes así como también la investigación en los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica a través de la realización del módulo didáctico para determinar los parámetros y compensar el factor de potencia mediante la maquina síncrona. Desarrollando guías de práctica las cuales se desarrollaran en el módulo ya mencionado.

## **JUSTIFICACIÓN**

El trabajo de investigación realizado es de aplicación en el área de máquinas eléctricas de nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica.

### **Justificación social**

Este trabajo aporta a la preparación educativa de los alumnos en las prácticas que se desarrollan en el laboratorio y a los egresados para que puedan realizar sus tesis en el área de electricidad.

### **Justificación técnica**

Este trabajo aporta a los proyectos de investigación de pregrado y postgrado que se puedan realizar en el área de electricidad para ello se han elaborado guías de práctica para cada caso de estudio del motor - generador síncrono que servirán a los alumnos en general para hacer investigaciones.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>II</b>
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VI</b>

### CAPÍTULO I

<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO</b> .....	<b>2</b>
1.1.1. Título de la tesis .....	2
1.1.2. Descripción .....	2
<b>1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>4</b>
1.2.1. Objetivo general .....	4
1.2.2. Objetivos específicos .....	4

### CAPITULO II

<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1. CONCEPTOS GENERALES DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS</b> .....	<b>9</b>
2.1.1. Generador .....	9
2.1.2. Motor .....	9
2.1.3. Transformador .....	10
<b>2.2. CONCEPTOS GENERALES DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS</b> .....	<b>10</b>
2.2.1. Corriente Eléctrica .....	10
2.2.2. Corriente Alterna Monofásica .....	11
2.2.3. Generador Alterno Monofásico .....	12
2.2.4. Corriente Directa .....	13
2.2.5. Corriente Alterna Trifásica .....	14
<b>2.3. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS</b> .....	<b>15</b>
2.3.1. Fundamentos de Magnetismo .....	16
2.3.2. La Inducción Electromagnética .....	17
2.3.3. La Ley De Inducción Electromagnética De Faraday .....	17
2.3.4. Voltaje Inducido en un Conductor .....	19
2.3.5. Potencia y Par de un Motor Eléctrico .....	21
<b>2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS</b> .....	<b>22</b>
2.4.1. Motores Eléctricos DC .....	24
2.4.2. Motores Eléctricos AC .....	32
2.4.3. Motores Síncronos. ....	44
2.4.4. Motores de Arrollamiento en Serie .....	45

<b>2.5. DEFINICIÓN DE MÁQUINA SÍNCRONA.....</b>	<b>46</b>
2.5.1. Motor Eléctrico .....	47
2.5.2. Generador Eléctrico .....	48
<b>2.6. UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS .....</b>	<b>49</b>
<b>2.7. LA MÁQUINA SÍNCRONA, CON UN INDUCIDO MÓVIL (ROTOR) Y UN INDUCTOR FIJO (ESTATOR) .....</b>	<b>50</b>
2.7.1. La Máquina Síncrona, con un Inductor Móvil (Rotor) E Inducido Fijo (ESTATOR).....	51
<b>2.8. CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>52</b>
2.8.1. Controlando La Frecuencia Del Voltaje Generado en una MS .....	56

### CAPÍTULO III

<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO MOTOR - GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO .....</b>	<b>61</b>
--	-----------

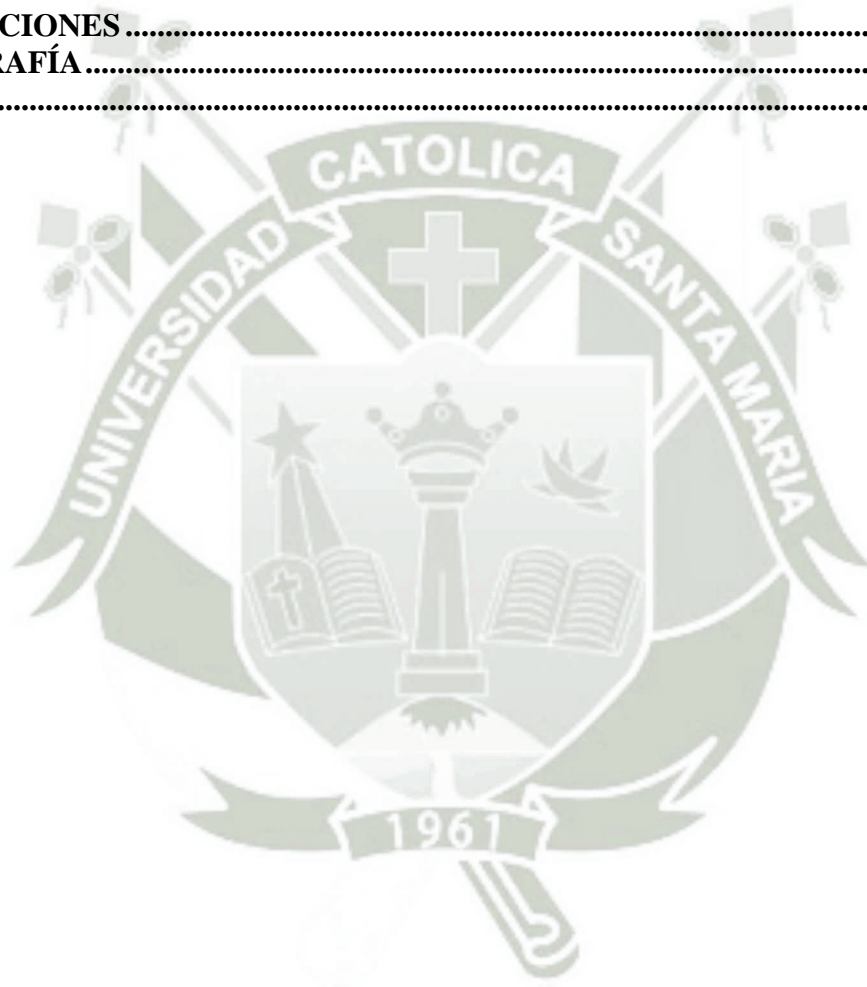
<b>3.1. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS ELÉCTRICOS .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2. PARA EL ENSAYO DE CORTO CIRCUITO:.....</b>	<b>63</b>
<b>3.3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS .....</b>	<b>65</b>
<b>3.4. ENSAYO DE VACÍO .....</b>	<b>65</b>
<b>3.5. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO CON CARGA VARIABLE.....</b>	<b>72</b>
<b>3.6. ENSAYO DE SINCRONIZACIÓN.....</b>	<b>75</b>
<b>3.7. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE SINCRONIZACIÓN. ....</b>	<b>77</b>

### CAPITULO IV

<b>GUÍAS DE PRÁCTICAS PARA EL MÓDULO MOTOR GENERADOR SÍNCRONO, INSTALACIONES GENERALES Y APARATOS .....</b>	<b>84</b>
---	-----------

<b>4.1. FINALIDAD DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....</b>	<b>84</b>
<b>4.2. TIPO DE PRÁCTICAS RECOMENDABLES. ....</b>	<b>85</b>
<b>4.3. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE CIRCUITO ABIERTO O VACÍO DEL GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO.....</b>	<b>93</b>
<b>4.4. PRACTICA DE LABORATORIO N° 2 ENSAYO DE CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO .....</b>	<b>101</b>
<b>4.5. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 3 ENSAYO DE CARGA CON TENSIÓN CONSTANTE DEL ALTERNADOR TRIFÁSICO .....</b>	<b>107</b>

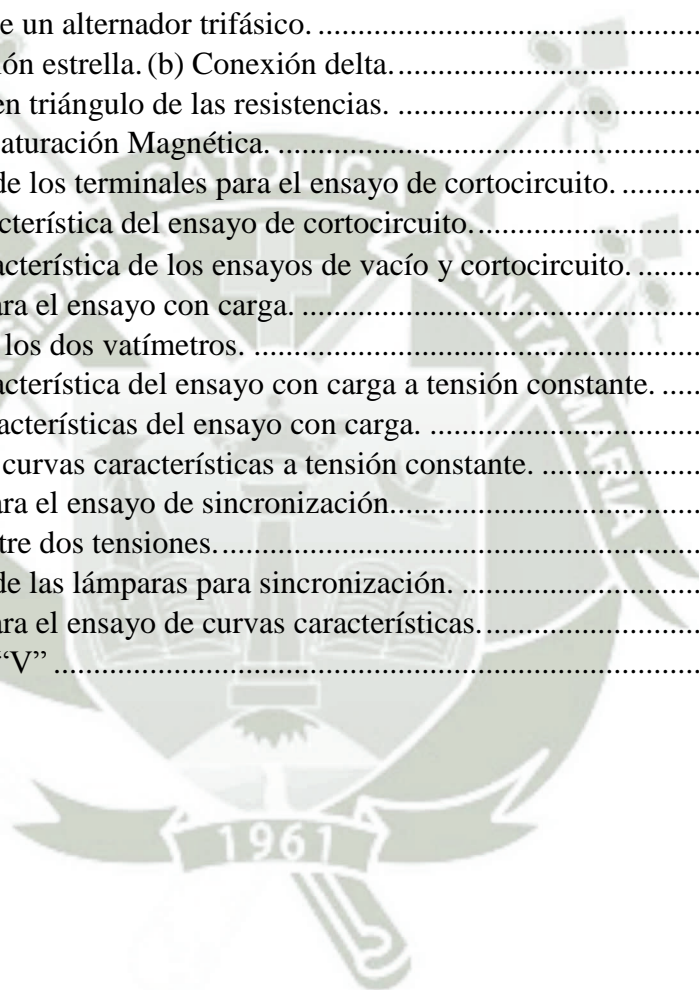
<b>4.6. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 4 ENSAYO DE CARGA O DE CARACTERÍSTICAS EXTERNAS CON EXITACIÓN CONSTANTE DEL GENERADOR TRIFÁSICO.....</b>	<b>114</b>
<b>4.7. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 5 ENSAYO DE CARGA A FACTOR DE POTENCIA NULO Y CONSTANTE DEL GENERADOR TRIFÁSICO .....</b>	<b>118</b>
<b>4.8. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 6 SINCRONIZACION Y REPARTO DE CARGAS DE GENERADOR EN PARALELO.....</b>	<b>121</b>
<b>4.9. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 7 ENSAYO DE UN MOTOR SINCRONO Y DETERMINACIÓN DE LAS “CURVAS EN V” .....</b>	<b>129</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>137</b>
<b>OBSERVACIONES .....</b>	<b>138</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>140</b>



## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Formas de onda de corriente .....	11
Figura N° 2: Generador alterno monofásico. ....	12
Figura N° 3: Forma de la onda monofásica obtenida con generador alterno monofásico .....	13
Figura N° 4: Generador de corriente directa. ....	13
Figura N° 5: Esquema de un alternador trifásico. ....	15
Figura N° 6: Forma de la onda trifásica obtenida con generador alterno trifásico. ....	15
Figura N° 7: Flujo magnético alrededor de un conductor. ....	16
Figura N° 8: Inducción electromagnética. ....	17
Figura N° 9: Flujo magnético que atraviesa una espira. ....	18
Figura N° 10: Fuerza magnética en un conductor debido a la circulación de corriente y campo magnético. ....	20
Figura N° 11: Diferencias constructivas debido a la velocidad de operación del motor eléctrico. ....	22
Figura N° 12: Clasificación de motores eléctricos DC según NEMA. ....	23
Figura N° 13: Clasificación de los motores eléctricos AC según NEMA. ....	23
Figura N° 14: Partes principales de un motor DC. ....	25
Figura N° 15: Esquema de montaje general de un motor DC. ....	26
Figura N° 16: Partes del rotor de un motor DC. ....	26
Figura N° 17: Esquema eléctrico de un motor DC. ....	27
Figura N° 18: Esquema de funcionamiento de un motor eléctrico. ....	27
Figura N° 19: Esquemas eléctricos de motores DC .....	29
Figura N° 20: Conexiones de algunos motores .....	30
Figura N° 21: Partes principales de motor eléctrico AC trifásico de inducción. ....	33
Figura N° 22: Disposición geométrica y montaje del estator en un motor AC trifásico de inducción. ....	34
Figura N° 23: Construcción del rotor de un motor AC trifásico de inducción jaula de Ardilla. ....	35
Figura N° 24: Montaje del rotor en un motor AC trifásico de inducción jaula de Ardilla. ....	36
Figura N° 25: Recinto de motor AC trifásico de inducción. ....	36
Figura N° 26: Rotores para tipos de motores AC .....	39
Figura N° 27: Rotores de las dos clases tipos de motores AC de tipo inducción. ....	40
Figura N° 28: Conexión de un motor eléctrico AC de arrollamiento en serie. ....	46
Figura N° 29: Máquina síncrona, con Inducido móvil e Inductor fijo. Fuente: Internet. ....	50
Figura N° 30: Máquina síncrona, con Inductor móvil e Inducido fijo. Fuente: Internet. ....	51
Figura N° 31: Partes constructivas de la máquina síncrona .....	53
Figura N° 32: Arrastre como generador - motor. ....	53
Figura N° 33: Ángulo delta. ....	54
Figura N° 34: Variación del flujo de inducción. ....	55
Figura N° 35: Variación del campo magnético. ....	56
Figura N° 36: Control automático de generación. ....	58
Figura N° 37: Curva de histéresis .....	62
Figura N° 38: Línea de saturación. ....	63
Figura N° 39: Curva de saturación magnética .....	64

Figura N° 40: Principio de un alternador trifásico .....	66
Figura N° 41: a) Conexión Estrella.      b) Conexión Triángulo Fuente:.....	67
Figura N° 42: Ensayo de vacío de un generador síncrono trifásico. ....	68
Figura N° 43: Fases conectadas en triángulo. ....	69
Figura N° 44: Curva característica de circuito abierto y cortocircuito de un generador síncrono .....	72
Figura N° 45: Curvas características para distintos valores de $\cos \Phi$ .....	74
Figura N° 46: Conexión de alternadores en paralelo. ....	77
Figura N° 47: Ondas Senoidales de $V_1$ y $V_2$ del alternador.....	80
Figura N° 48: Conexiones de las lámparas de sincronización. ....	81
Figura N° 49: (a) Disposición paralelo o serie del motor-generador (b) Conexiones del generador síncrono trifásico. ....	84
Figura N° 50: Principio de un alternador trifásico. ....	94
Figura N° 51: (a) Conexión estrella. (b) Conexión delta. ....	95
Figura N° 52: Conexión en triángulo de las resistencias. ....	97
Figura N° 53: Curva de Saturación Magnética. ....	100
Figura N° 54: Conexión de los terminales para el ensayo de cortocircuito. ....	103
Figura N° 55: Curva característica del ensayo de cortocircuito.....	103
Figura N° 56: Curva Característica de los ensayos de vacío y cortocircuito. ....	106
Figura N° 57: Montaje para el ensayo con carga. ....	109
Figura N° 58: Método de los dos vatímetros. ....	110
Figura N° 59: Curva Característica del ensayo con carga a tensión constante. ....	111
Figura N° 60: Curvas características del ensayo con carga. ....	115
Figura N° 61: Familia de curvas características a tensión constante. ....	120
Figura N° 62: Montaje para el ensayo de sincronización.....	123
Figura N° 63: Desfase entre dos tensiones.....	127
Figura N° 64: Conexión de las lámparas para sincronización. ....	128
Figura N° 65: Montaje para el ensayo de curvas características.....	132
Figura N° 66: Curvas en “V” .....	136



## INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: Presenta la comparación de los cuatro tipos de motores DC respecto de algunas de sus características de diseño y operación.....	28
TABLA N° 2: Comparación de las características de los cuatro tipos de motores DC. ....	31
TABLA N° 3: Definiciones de los tres tipos de motores AC reconocidos por NEMA* .....	37
TABLA N° 4: Principio de funcionamiento de los tres tipos de motores AC reconocidos por NEMA .....	38
TABLA N° 5: Definiciones de motores AC de tipo inducción.....	39
TABLA N° 6: Velocidades nominales de giro para motores de inducción .....	42
TABLA N° 7: Características de motores de inducción y aplicaciones 2 y 3 fases, según la clasificación NEMA. ....	43
TABLA N° 8: Características y aplicaciones de motores síncronos.....	45
TABLA N° 9: Datos Técnicos de las Máquinas Utilizadas. ....	61
TABLA N° 10: Valores de resistencias del estator del motor síncrono.....	70
TABLA N° 11: Datos de la prueba de aislamiento al generador síncrono .....	70
TABLA N° 12: Valores obtenidos de impedancia síncrona en el ensayo de cortocircuito .....	71
TABLA N° 13: Valores obtenidos en laboratorio en el ensayo bajo carga a excitación constante (generador síncrono). ....	74
TABLA N° 14: Medición de la resistencia de los devanados U, V y W en el motor síncrono trifásico.....	98
TABLA N° 15: Característica de vacío.....	98
TABLA N° 16: Magnetización .....	99
TABLA N° 17: Desmagnetización .....	99
TABLA N° 18: Parámetros de Corto Circuito. ....	104
TABLA N° 19: Datos de corriente de corto circuito. ....	105
TABLA N° 20: Intensidad de Corriente para $\cos\varphi = 1$ .....	112
TABLA N° 21: Intensidad de Corriente para $\cos\varphi = 0.8$ inductivo.....	113
TABLA N° 22: Intensidad de Corriente $\cos\varphi = 0.8$ capacitivo .....	113
TABLA N° 23: Intensidad de Corriente .....	116
TABLA N° 24: Curva de carga con factor de potencia nula .....	120
TABLA N° 25: Corriente de Excitación y Absorbida .....	134



## CAPÍTULO I GENERALIDADES

### 1.1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

#### 1.1.1. Título de la tesis

MÓDULO DIDÁCTICO PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS Y COMPENSAR EL FACTOR DE POTENCIA MEDIANTE LA MÁQUINA SÍNCRONA.

#### 1.1.2. Descripción

##### a) Área del conocimiento:

El problema a resolver se encuentra en al área general de la Ingeniería Mecánica Eléctrica específicamente en el laboratorio de electricidad y maquinas eléctricas rotativas.

##### b) Identificación del Problema y Alternativas de Solución

La Universidad Católica de Santa María, siendo unas de las primeras universidades del sur del país, y acorde con las nuevas tecnologías de la época requiere estar implementando continuamente sus laboratorios. Por cuyo motivo es que se propone plantear como proyecto de tema de tesis **El Módulo Didáctico para Determinar los Parámetros y Compensar el Factor de Potencia Mediante la Máquina Síncrona.**

El cual servirá para estudiar el comportamiento de la máquina motor generador, y a su vez pueda ayudar a nuestra casa de estudios en el proceso de implementación de los laboratorios de máquinas eléctricas rotativas.

Este módulo nos permitirá evaluar, demostrar y analizar el comportamiento del motor generador para diferentes condiciones de carga eléctrica.

Con esta experiencia, proponemos guías de prácticas de laboratorio que servirán para que los alumnos puedan relacionar la teoría impartida en clases, con el comportamiento real de las máquinas eléctricas, por ende estaremos contribuyendo a su formación integral como ingenieros. Además, la demostración y análisis en el comportamiento de las máquinas eléctricas se pueden realizar en forma independiente y en forma conjunta acoplándolas mecánicamente, esto debido a la versatilidad de dicho módulo.

### **Interrogantes Básicas**

¿Cuál es el comportamiento de una maquina síncrona, al momento de su arranque?

¿Cuál es la variación del momento de torsión de un generador síncrono, en la medida en que cambia la carga eléctrica?

¿Cuánto momento de torsión puede desarrollar una máquina síncrona en condiciones de arranque?

¿Cuál es el comportamiento de la velocidad en un generador síncrono, cuando se aumenta la carga eléctrica sobre su eje?

¿Cuánto sería el valor de la eficiencia de un generador síncrono, tomando en cuenta la pérdida de potencia que se pierde durante el cambio de energía eléctrica a energía mecánica?

### c) Tipo de Investigación

El cuanto al tipo de investigación se considera que es experimental, porque se va llevar a la práctica, los diferentes conocimientos teóricos adquiridos en los cursos del área de electricidad impartida en la universidad.

## 1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1. Objetivo general

Realización de guías de prácticas que complementen la asignatura de máquinas eléctricas determinando los parámetros de operación del generador - motor síncrono para la obtención de curvas características de dicha máquina.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Construir el módulo didáctico para determinación de parámetros y compensar el factor de potencia mediante la máquina síncrona.
- Conocer los límites de operación del motor - generador síncrono regulando la salida del generador dependiendo de la carga.
- Implementar las guías de práctica para el módulo motor-generador síncrono.
- Ejecutar las prácticas propuestas y obtener los resultados, que servirán como parámetro de comparación, para que las prácticas se lleven a cabo en el módulo con los estudiantes.
- Implementar los laboratorios de electricidad de nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica con un módulo

para reforzar, profundizar y mejorar la información sobre este tipo de máquinas.

Las guías indicadas se presentan a continuación, tocando los objetivos que se lograran en cada caso.

- a)** Estructura, reconocimiento, características y operación en vacío de las maquinas síncronas.

Revisar y estudiar y aplicar la teoría necesaria para reconocer y ubicar a los diferentes componentes de las maquinas síncronas, tomando como lectura las resistencias internas con el instrumento adecuado y sin energizar el equipo. Aplicar la teoría estudiada para la operación inicial y sin carga de una maquina síncrona. Medir la corriente que toma en el arranque y la corriente de operación normal.

- b)** Ensayo de circuito abierto o vacío del generador síncrono trifásico.

Realizar el ensayo directo sobre el alternador con los terminales en circuito abierto (vacío) y corto circuito; a través de ello se podrá estimar los parámetros principales del circuito equivalente, trazar las curvas características de la maquina síncrona y cálculo de la impedancia sincrónica.

- c) Ensayo de cortocircuito del generador síncrono trifásico.

Realizar el ensayo directo sobre el alternador con los terminales en corto circuito; a través de ello se podrá estimar los parámetros principales del circuito equivalente, trazar la curva característica corto circuito de la máquina síncrona y cálculo de la impedancia sincrónica.<sup>1</sup>

- d) Ensayo de carga con tensión constante del generador síncrono trifásico.

Obtención de las características de regulación de la tensión (con tensión constante) de la máquina síncrona. Estas características permiten determinar la variación que ha de tener la corriente de excitación ( $I_{\text{excitación-carga}} - I_{\text{excitación-vacío}}$ ) para mantener la tensión de línea constante cualquiera que sea la carga y el factor de potencia.

- e) Ensayo de carga y características externas con excitación constante del generador síncrono trifásico.

Obtención de las características externas o de carga (con corriente de excitación constante) de la máquina síncrona. Este ensayo permiten determinar la caída de tensión de en terminales del generador a variaciones de la carga y/o variaciones de factor de potencia por efecto de la carga<sup>2</sup>.

- f) La máquina síncrona como regulación del factor de potencia

Verificar la operación del grupo motor generador de máquinas síncronas como compensador del factor de potencia de planta.

- g) Sincronización y reparto de cargas de generadores en paralelo en la red.

---

<sup>1</sup> Fernández, R. (2016). id.scribd.com. <https://es.scribd.com/document/230584200/INFORME-9>

<sup>2</sup>GÓZAR P, Christian E. (2013). Tesis.pucp.edu.pe. Diseño de fuentes de alimentación regulables para suministrar energía a los circuitos de campo y armadura de un motor dc shunt y al circuito de campo de un generador síncrono trifásico

Conseguir la familiarización con la maniobra de sincronización de dos generadores síncronos trifásicos entre sí o a la red. Control de la entrega de potencia activa o reactiva, métodos prácticos de sincronización de alternadores. Determinación de la corriente de sincronización.

**h)** Ensayo de motor síncrono y determinación de las “curvas en V”

Determinar los métodos de arranque del motor síncrono, obtención de las curvas características en V, corrección del factor de potencia de la red. Funcionamiento del Compensador síncrono.





## CAPITULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. CONCEPTOS GENERALES DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS.

Las máquinas eléctricas rotatorias tienen circuitos eléctricos y circuitos magnéticos interconectados a través de un medio que es el flujo magnético, las corrientes eléctricas fluyen a través de los circuitos eléctricos que son conductores eléctricos y bobinas, en tanto los flujos magnéticos “fluyen” a través de circuitos magnéticos que están hechos de núcleos de fierro. La interacción entre las corrientes y los flujos es la base del principio de conversión de la energía electromecánica, que tiene lugar en los generadores y en los motores eléctricos<sup>3</sup>.

#### 2.1.1. Generador

Que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. La acción se desarrolla por el movimiento de una bobina en un campo magnético, resultando una f.e.m. inducida que al aplicarla a un circuito externo produce una corriente que interacciona con el campo y desarrolla una fuerza mecánica que se opone al movimiento. En consecuencia, el generador necesita una energía mecánica de entrada para producir la energía eléctrica correspondiente.

#### 2.1.2. Motor

Que transforma la energía eléctrica en mecánica. La acción se desarrolla introduciendo una corriente en la maquina por medio de una fuente externa, que interacciona con el campo produciendo un movimiento de la maquina; aparece

---

<sup>3</sup> Enríquez Harper, Gilberto. Sin fecha. Máquinas eléctricas. Capítulo I, circuitos magnéticos. pág. 13

entonces una f.e.m. inducida que se opone a la corriente y que por ello se denomina fuerza contra electromotriz. En consecuencia, el motor necesita una energía eléctrica de entrada para producir la energía mecánica de salida<sup>4</sup>.

### 2.1.3. Transformador

Que transforma una energía eléctrica de entrada (de AC) con determinadas magnitudes de tensión y corriente en otra energía eléctrica de salida de (de AC) con magnitudes diferentes.

Los generadores y motores tienen un acceso mecánico y por ello son máquinas dotadas de movimiento, que normalmente es de rotación; por el contrario, los transformadores son máquinas eléctricas que tienen únicamente accesos eléctricos, y son máquinas estáticas.

Cada máquina en particular cumple el principio de reciprocidad electromagnética, lo cual quiere decir que son reversibles, pudiendo funcionar como generador o como motor (en la práctica, existe en realidad algunas diferencias en su construcción, que caracteriza uno otro modo de funcionamiento).

## 2.2. CONCEPTOS GENERALES DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

### 2.2.1. Corriente Eléctrica

La AC se caracteriza porque su sentido de circulación varía periódicamente, debido a que su polaridad varía periódicamente, es por tanto un tipo de corriente bidireccional, al contrario de la DC que es unidireccional. La

---

<sup>4</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>

comparación de la forma de onda de estos dos tipos de corriente se muestra en la figura 1.

### 2.2.2. Corriente Alterna Monofásica

Un generador monofásico es usado para generar AC monofásico, mediante el giro del mismo debido a una fuente externa que haga girar el rotor del generador (turbinas de gas, turbinas hidráulicas, etc.), este giro del devanado se presenta dentro de un campo magnético fijo en el estator del generador y debido a que durante el giro del devanado, este corta las líneas de flujo además de que se invierte la dirección del mismo, logrando ser un medio periodo positivo y en el otro medio periodo negativo<sup>5</sup>.

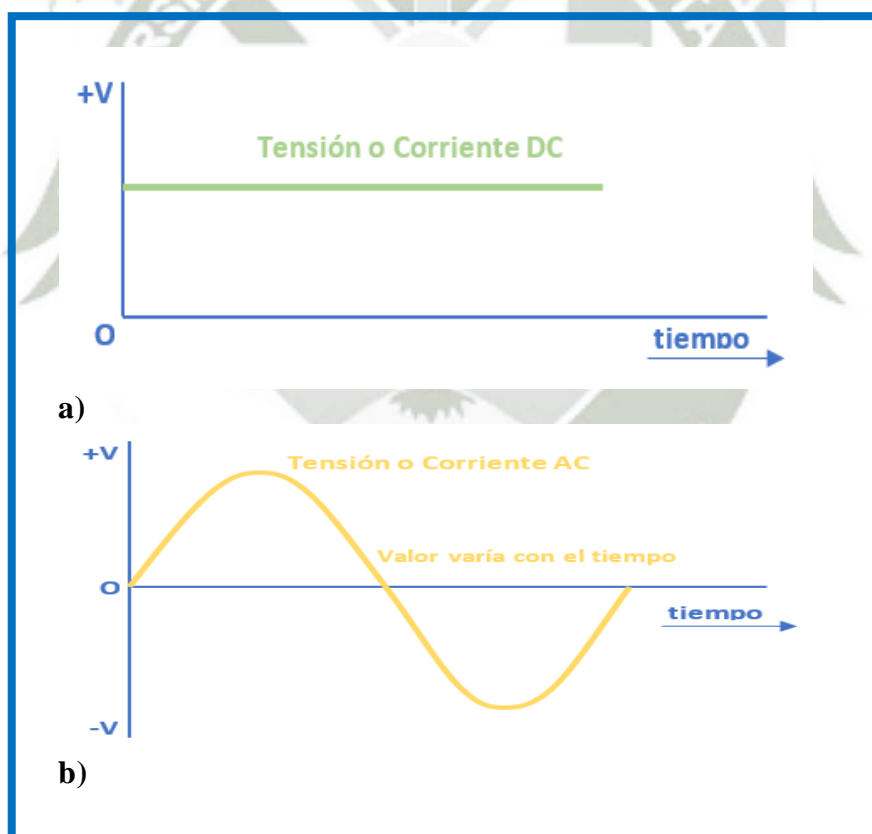


Figura N° 1: Formas de onda de corriente

Fuente: Elaboración propia.

<sup>5</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>

### 2.2.3. Generador Alterno Monofásico

Un generador monofásico es usado para generar AC monofásica, poco a poco accionadas mediante el giro del mismo debido a una fuente externa que haga girar el rotor del generador (turbinas hidráulicas, turbinas de gas, etc.), este giro del devanado se presenta dentro de un campo magnético fijo en el estator del generador y debido a que durante el giro del devanado, este corta las líneas de campo magnético, se induce un voltaje en el mismo que varía con el tiempo debido a que existen puntos donde el devanado corta más líneas de flujo, además de que se invierte la dirección del mismo, logrando ser en medio periodo positivo y en el otro medio periodo.

La forma de funcionamiento básica de un generador monofásico se muestra en la figura 2, la forma de la onda de voltaje o corriente que se obtiene es de tipo senoidal, con la mitad de la onda positiva y la mitad negativa, debido a la inversión de la corriente durante la mitad del giro de la espira dentro del generador, este tipo de onda se muestra en la figura 3<sup>6</sup>.

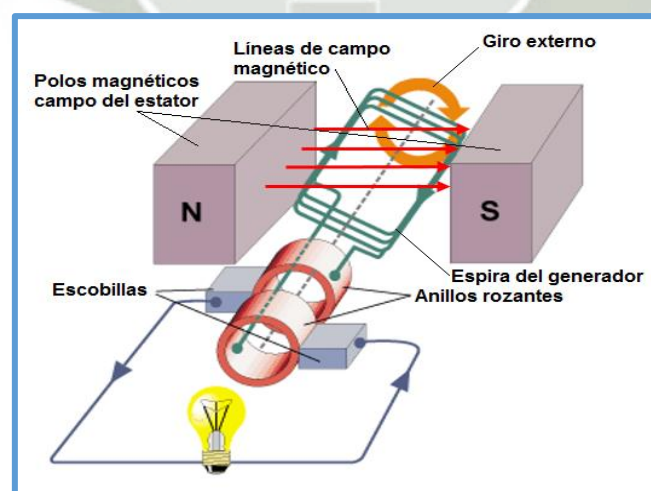


Figura N° 2: Generador alterno monofásico.

Fuente: Elaboración propia.

<sup>6</sup> Fraile M. Jesús. Máquinas Eléctricas. 5 ed. España: McGraw-Hill, 2003.

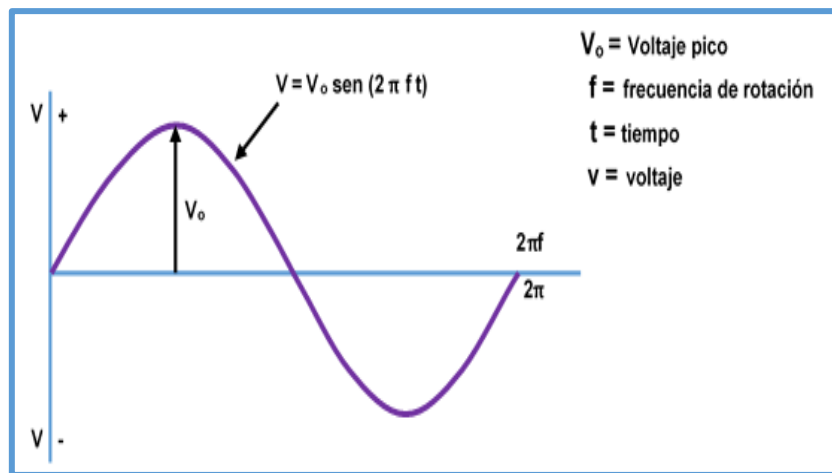


Figura N° 3: Forma de la onda monofásica obtenida con generador alterno monofásico

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.2.4. Corriente Directa

La generación de corriente se hace de manera que se obtiene una onda senoidal, lo que no es conveniente para maquinas eléctricas que trabajen con DC.

Si una armadura gira entre dos polos magnéticos fijos, la corriente en la armadura circula en un sentido durante la mitad de cada revolución, y en otro sentido durante la otra mitad<sup>7</sup>.

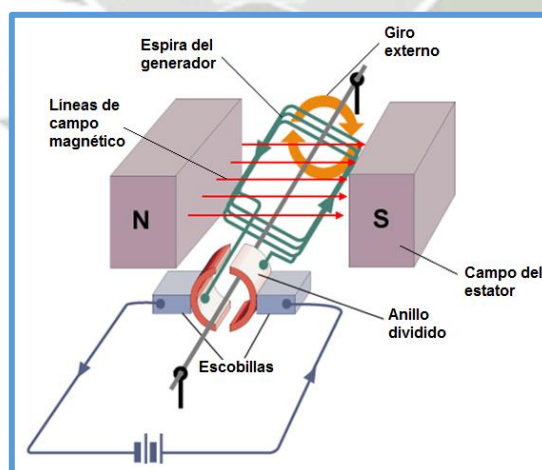


Figura N° 4: Generador de corriente directa.

Fuente: Elaboración propia.

<sup>7</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.62

Para producir un flujo constante de corriente en un sentido, o corriente continua, en un aparato determinado, es necesario disponer de un medio para invertir el flujo de corriente fuera del generador una vez cada revolución. En los generadores antiguos esta inversión se llevaba a cabo mediante un conmutador, un anillo de metal partido montado sobre el eje de una armadura. Las escobillas fijas de metal o de carbón se mantenían en contacto con el conmutador, que al girar conectaba eléctricamente la bobina a los cables externos. Cuando la armadura giraba, cada escobilla estaba en contacto de forma alternativa con las mitades del conmutador, cambiando la posición en el momento en el que la corriente invertía su sentido dentro de la bobina de la armadura. Así se producía un flujo de corriente de un sentido en el circuito exterior al que el generador estaba conectado. En algunas máquinas más modernas esta inversión se realiza usando rectificadores de diodos semiconductores o tiristores.

#### **2.2.5. Corriente Alterna Trifásica**

Un generador alterno trifásico es usado para generar AC, los devanados que producen cada fase están desfasados  $120^\circ$  entre ellos dentro de la armadura, su configuración básica se muestra en la figura 5.

En este tipo de alternadores, cada devanado proporciona una fase cuya forma de onda se muestra en la figura 6. La corriente o el voltaje que se produce por este tipo de generadores tiene forma senoidal y las ondas presentan un desfase de  $120^\circ$  entre ellas.

A este principio de este tipo de alternadores se tiene la posibilidad de usar la llamada corriente alterna trifásica<sup>8</sup>.

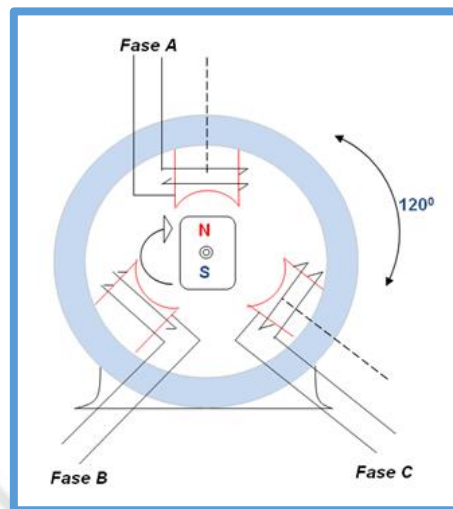


Figura N° 5: Esquema de un alternador trifásico.

Fuente: Elaboración Propia.

### 2.3. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

La operación de los motores eléctricos depende de la interacción de campos magnéticos. Para definir cómo opera un motor, se deben definir las reglas del magnetismo, así como la relación que existe entre el flujo de corriente y el campo magnético.

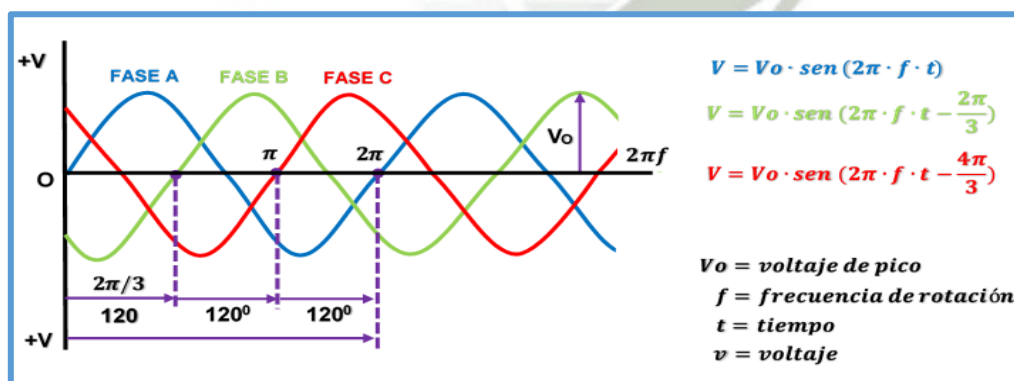


Figura N° 6: Forma de la onda trifásica obtenida con generador alterno trifásico.

Fuente: Elaboración Propia.

<sup>8</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.63

### 2.3.1. Fundamentos de Magnetismo

Un imán puede ser permanente o temporal. Si una pieza de hierro o de metal se magnetiza y retiene el magnetismo se le conoce como imán permanente, este se usa en motores de pequeño tamaño.

Cuando una corriente circula a través de una bobina, se crea un campo magnético con un polo norte y sur, como si se tratara de un imán permanente. Sin embargo cuando la corriente se interrumpe, desaparece el campo magnético. A este tipo de magnetismo temporal se le conoce como electromagnetismo. Cuando una corriente eléctrica circula a través de un conductor, las líneas de fuerza magnética (flujo magnético  $B$ ) se crean alrededor del mismo (figura 7).

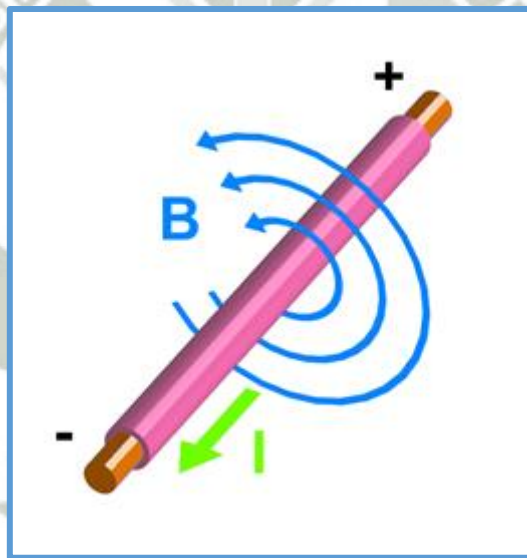


Figura N° 7: Flujo magnético alrededor de un conductor.

Fuente: Elaboración Propia.

Cuando la sección de un conductor se hace pasar a través de un campo magnético, se dice que se induce un voltaje en el conductor o alambre. De esta manera puede comprobarse la relación entre el magnetismo y corriente eléctrica.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>

### 2.3.2. La Inducción Electromagnética

Si el alambre conductor se mueve dentro de un campo magnético, de manera que el conductor corte las líneas de dicho campo, se origina una fuerza electromotriz producida en dicho conductor. Induciendo la fuerza electromotriz, mediante el movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético, se presenta lo que se conoce como la inducción electromagnética, se inducirá un voltaje en este conductor y mediante el uso de un medidor puede comprobarse que circula corriente por el conductor, como se muestra en la figura 8.<sup>10</sup>

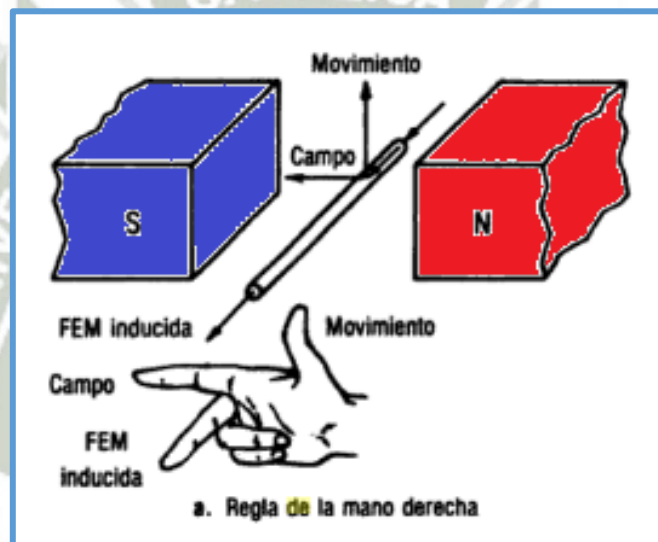


Figura N° 8: Inducción electromagnética.

Fuente: Irving L. Kosow Ph. D.

### 2.3.3. La Ley De Inducción Electromagnética De Faraday

En 1831 Joseph Faraday hizo uno de los descubrimientos más importantes del electromagnetismo que actualmente se conoce como: la ley de inducción

<sup>10</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.66

electromagnética de Faraday, que relaciona fundamentalmente en el voltaje y el flujo en el circuito.

El enunciado de la ley es:

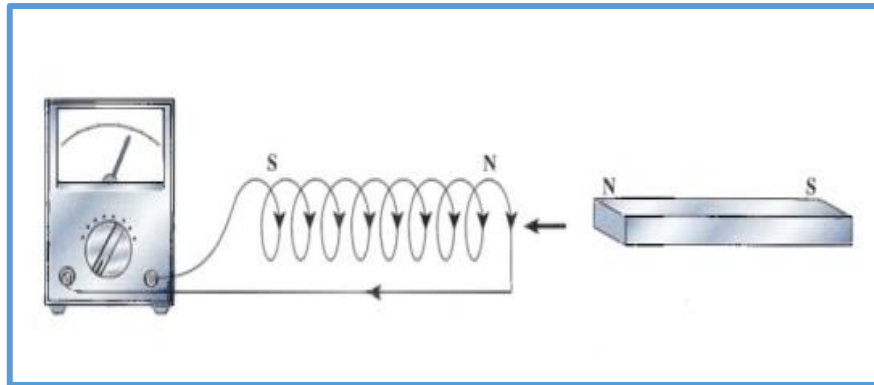


Figura N° 9: Flujo magnético que atraviesa una espira.

Fuente: Elaboración Propia.

- Si se tiene un flujo magnético que atraviesa una espira y además, varía con el tiempo, se induce un voltaje entre los terminales.
- El valor del voltaje inducido es proporcional al índice de cambio del flujo.
- Por definición y de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades, cuando el flujo varía en 1 weber por segundo, se induce un voltaje de 1 volt entre sus terminales; en consecuencia el flujo varía entre una bobina de N espiras, el voltaje inducido se da por la expresión<sup>11</sup>:

$$E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta T}$$

Dónde:

$E$  = voltaje inducido en volts

$N$  = número de espiras de la bobina

$\Delta\Phi$  = cambio de flujo dentro de la espira o bobina

$\Delta T$  = intervalo de tiempo durante el cual el flujo cambia

<sup>11</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.66

La ley de Faraday, establece las bases para las aplicaciones prácticas en el estudio de transformadores, generadores y motores de corriente alterna.

#### 2.3.4. Voltaje Inducido en un Conductor

En algunos motores generadores, los conductores o bobinas se mueven respecto a un flujo constante. El movimiento rotativo produce un cambio en el eslabonamiento de flujo de las bobinas y en consecuencia un voltaje inducido de acuerdo con la ley de Faraday de la siguiente manera:

$$E = B * L * V$$

Dónde:

$E$  = voltaje inducido en volts

$B$  = densidad del flujo en Tesla

$L$  = longitud activa de los conductores en el campo magnético (metros)

$V$  = velocidad relativa del conductor (metros/segundo)

Los motores eléctricos operan bajo el principio de que un conductor colocado dentro de un campo magnético experimenta una fuerza cuando una corriente circula por el mismo como se ve en la figura 10.

La magnitud de la fuerza varía directamente con la intensidad del campo magnético y la magnitud de la corriente que circula por el conductor, de acuerdo con la expresión<sup>12</sup>:

---

<sup>12</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.68

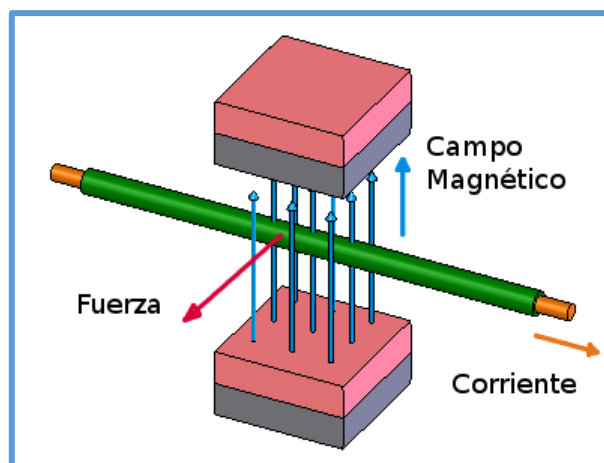


Figura N° 10: Fuerza magnética en un conductor debido a la circulación de corriente y campo magnético.

Fuente: Internet.

$$F = I * B * L$$

Dónde:

$F$  = fuerza en newton

$I$  = corriente en circulación

$B$  = flujo magnético (weber/m<sup>2</sup>) o Tesla

$L$  = longitud del conductor (metros)

En general el rotor de un motor eléctrico queda dentro del campo magnético creado por el estator. Se induce una corriente dentro del rotor y la fuerza resultante (y por lo tanto el par) produce la rotación<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.69

### 2.3.5. Potencia y Par de un Motor Eléctrico

La potencia mecánica de los motores se expresa en caballos de fuerza (HP) o kilowatts.

$$HP = \frac{\text{Kilowatts}}{0.746}$$

Estas medidas que cuantifican la cantidad de trabajo que un motor eléctrico es capaz de realizar en un periodo específico de tiempo. Dos factores importantes que determinan la potencia mecánica en los motores son: el par y la velocidad de rotación.

El par es una medida de la fuerza que tiende a producir la rotación, se mide en libras-pie o Newton-metro. La velocidad del motor se establece comúnmente en revoluciones por minuto (RPM). La relación entre la potencia, el par y la velocidad se da por la siguiente expresión:

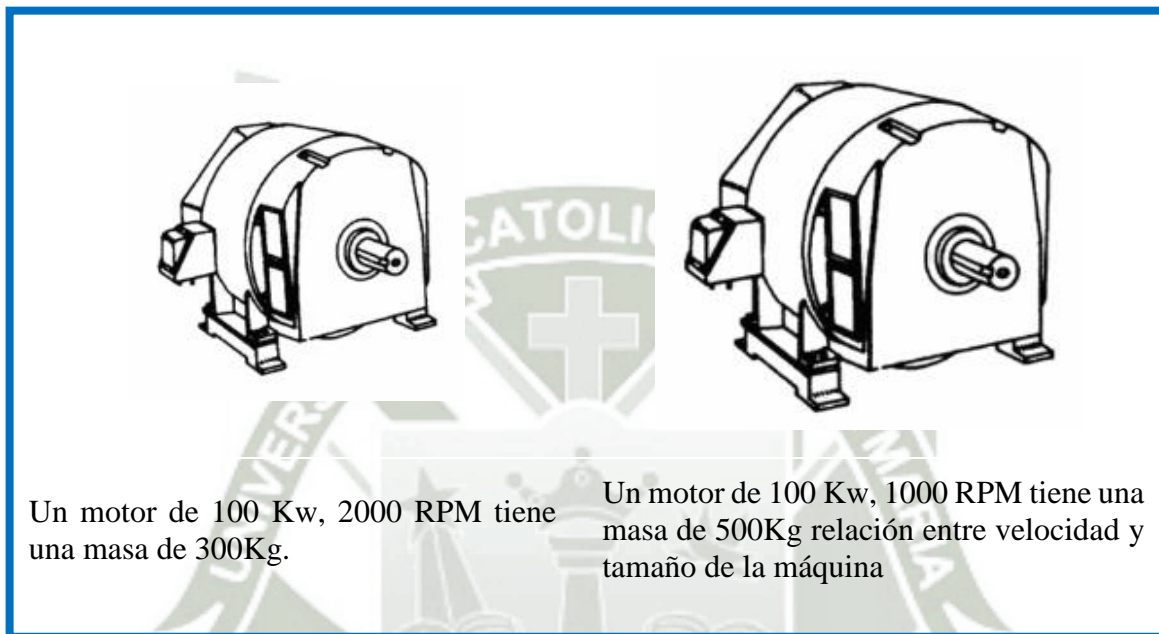
$$\text{Potencia}(HP) = \frac{\text{Velocidad}(RPM) \times \text{Par}(LB - PIE)}{5252}$$

A menor velocidad existe mayor par para entregar la misma potencia, entonces los motores de baja velocidad necesitan componentes más robustos que los de alta velocidad para igual potencia nominal. Se aprecia esta situación en la figura 11.

## 2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Atendiendo a la naturaleza de la corriente eléctrica existen dos tipos de motores eléctricos reconocidos por NEMA (National Electrical Manufacturers Associations): motores de corriente directa (DC) y motores de corriente alterna (AC).

Figura N° 11: Diferencias constructivas debido a la velocidad de operación del motor eléctrico.

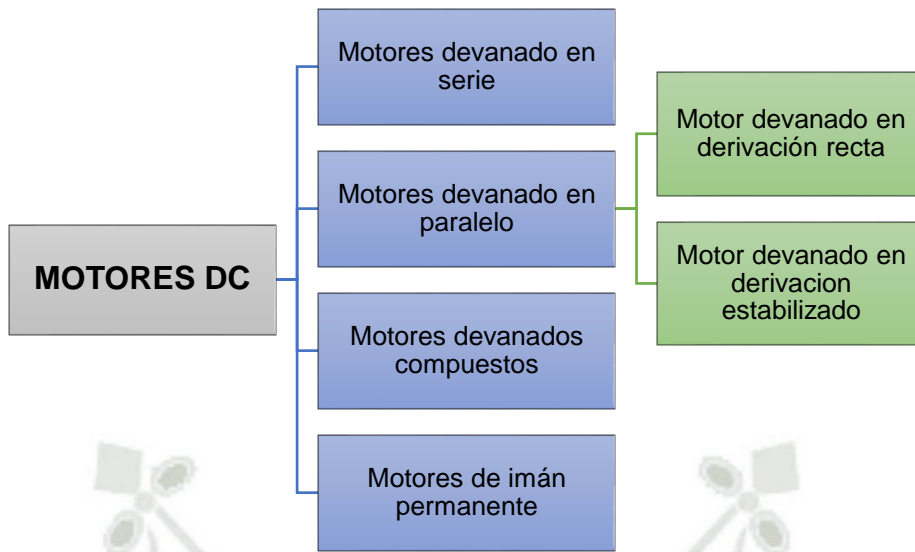


Fuente: HARPER Enríquez. El ABC del control electrónico de las maquinas eléctricas.

En las figuras 12 y 13, se muestra la clasificación según la naturaleza de la corriente eléctrica acorde con NEMA, de los motores eléctricos DC y AC respectivamente<sup>14</sup>.

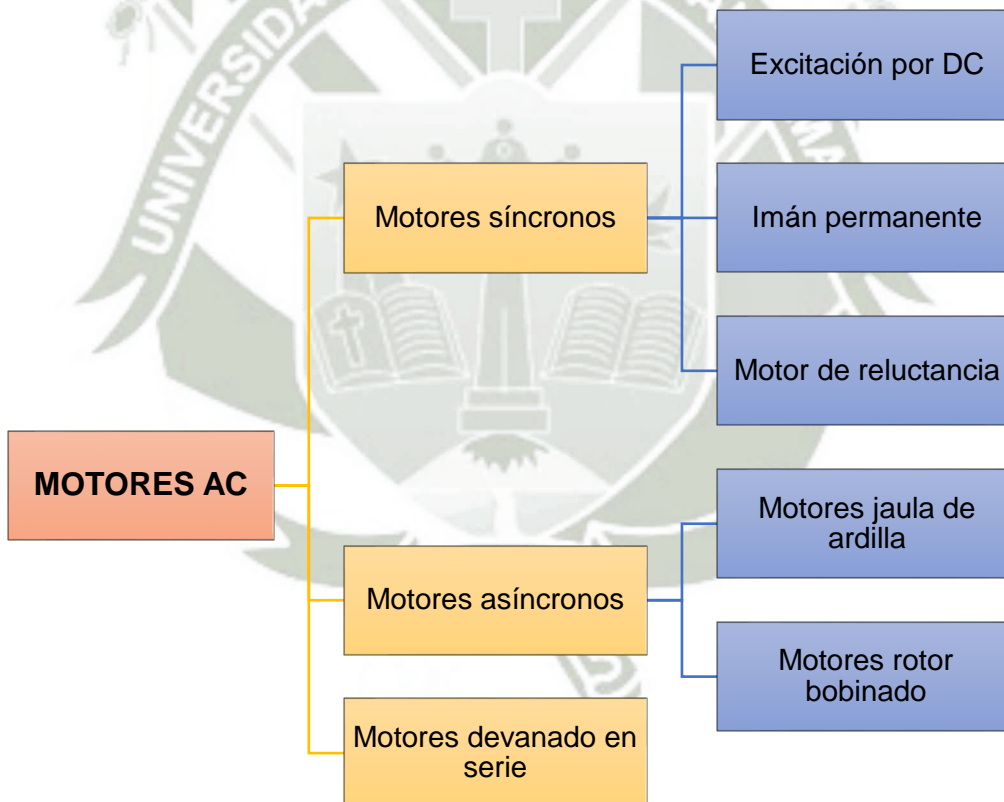
<sup>14</sup> HARPER Enríquez. El ABC del control electrónico de las maquinas eléctricas. Mexico: Limusa. P. 144.

Figura N° 12: Clasificación de motores eléctricos DC según NEMA.



Fuente: National Electrical Manufacturers Association.

Figura N° 13: Clasificación de los motores eléctricos AC según NEMA.



Fuente: National Electrical Manufacturers Association.

### 2.4.1. Motores Eléctricos DC

Un motor DC está compuesto principalmente por el rotor (armadura) y el inductor (estator) que a su vez se compone de:

- Un imán fijo que constituye el inductor (stator).
- Un bobinado denominado inducido que es capaz de girar en el interior del primario, cuando recibe una DC.
- Escobillas (brush assembly) cuya función es la de transmitir la corriente proveniente de la fuente DC al colector o conmutador, con el fin de evitar el desgaste del mismo. Debido a que el acercamiento de las escobillas al conmutador debe ser continuo para evitar las chispas entre una conmutación y otra, las escobillas poseen un sistema de resortes que proveen la presión suficiente para generar un contacto adecuado entre estas y el conmutador. Hace parte de la estructura (frame).
- El colector o conmutador (conmutador) es un conjunto de láminas (delgadas) que van montadas sobre el rotor, separadas entre sí y del eje por medio de materiales aislantes para evitar el contacto eléctrico con estos. Su función es la de mantener la corriente que viene de las escobillas en un flujo unidireccional y comunicándola de esta manera al inducido.
- Eje (shaft) que es la parte móvil del estator y sobre el que van montados: el inductor, el colector o conmutador y el núcleo del inducido. Para facilitar su movimiento giratorio esta soportado sobre cojinetes.

En la figura 14 se pueden observar las partes principales de un motor DC.

Generalmente los motores DC tienen la disposición de montaje que se muestra en la figura 15, donde es posible apreciar las dos partes más importantes del motor DC que son el rotor (Arm) y el inductor (stator). También se ve en esta figura uno de los polos (pole) del imán que poseen este tipo de motores y que es el responsable del campo magnético. Además se aprecia la forma mecánica en la que las escobillas entran en contacto con las del conmutador que gira con el rotor y se esquematiza de manera sencilla los resortes usados con el fin de mejorar el contacto y evitar las chispas por mal contacto entre el conmutador y el rotor.

En la figura 16. Se presenta las partes del rotor de un motor DC. Se aprecia el núcleo laminado (Core) cuya función es alojar el devanado que constituye en inducido. Además se aprecian otras partes de las que se expusieron anteriormente<sup>15</sup>.

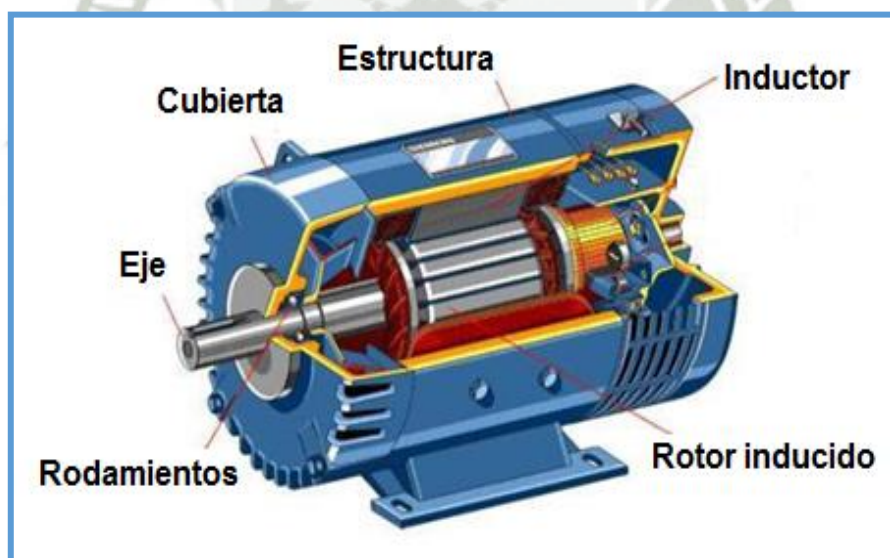


Figura N° 14: Partes principales de un motor DC.

Fuente: General Electric.

<sup>15</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.72.

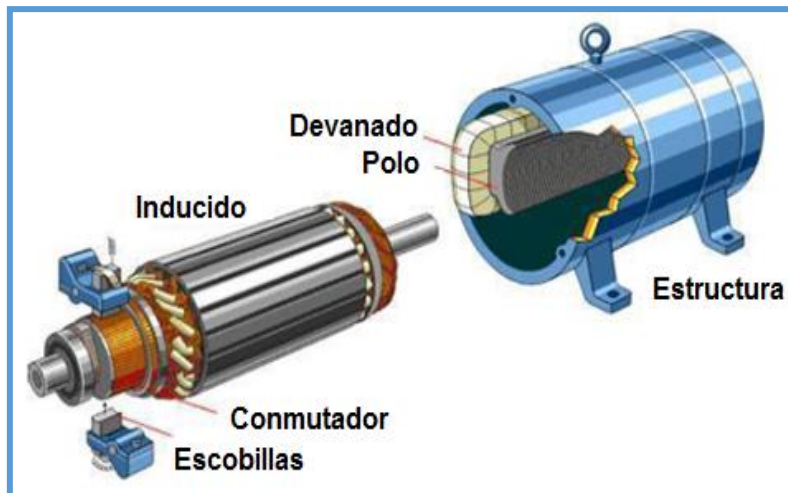


Figura N° 15: Esquema de montaje general de un motor DC.

Fuente: General Electric.



Figura N° 16: Partes del rotor de un motor DC.

Fuente: General Electric.

En la figura 17: se muestra un esquema eléctrico de un motor DC.

Un motor gira debido a que cuando una DC pasa a través de un cable conductor inmerso en un campo magnético, la fuerza magnética produce un par el cual provoca el giro del motor DC, realizándose este proceso mediante el inductor que es recorrido por una DC que entra por el conmutador, y al estar inmerso en el campo se generan fuerzas (par) que hacen girar.

Un esquema de funcionamiento de un motor DC se presenta en la figura 16, donde se ve una espira del bobinado inmersa en el campo del inductor y recorrida por una DC, generándose un par que produce el giro<sup>16</sup>.

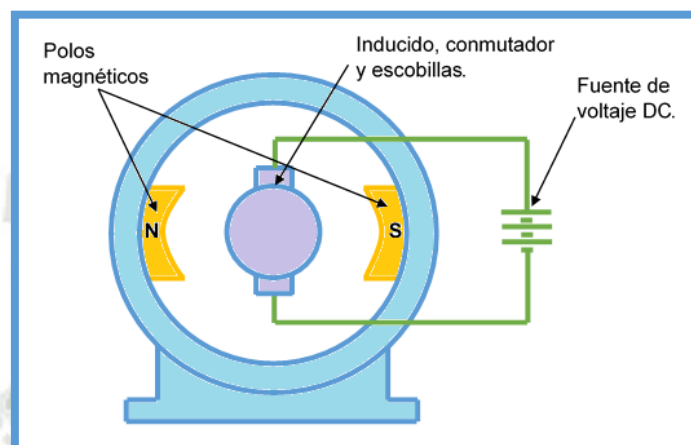


Figura N° 17: Esquema eléctrico de un motor DC.

Fuente: Contreras E.-Sánchez.

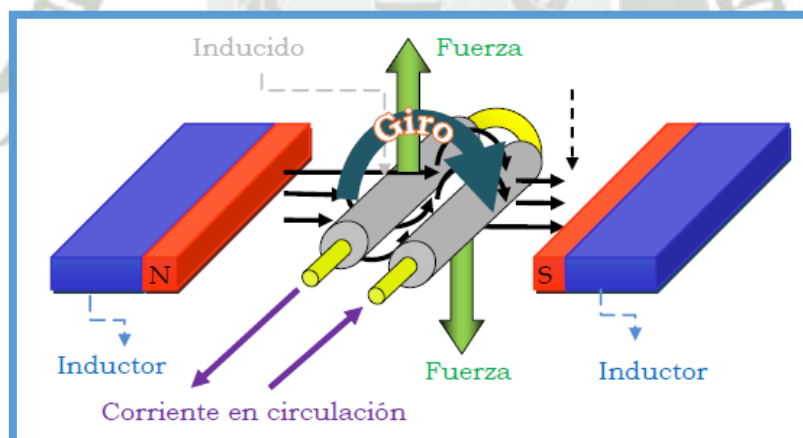


Figura N° 18: Esquema de funcionamiento de un motor eléctrico.

Fuente: Contreras E.-Sánchez.

<sup>16</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.74.

Los motores DC a su vez se subdividen en<sup>17</sup>: motor de excitación en serie (series-wound motor), motor de excitación en paralelo (shunt - wound motor), motor de excitación compuesta (permanent magnet motor). Las características de estos motores se presentan en las tablas 1 y 2.

### Definiciones de los Tipos de Motores DC.

TABLA N° 1: Presenta la comparación de los cuatro tipos de motores DC respecto de algunas de sus características de diseño y operación

<b>Motor excitación en serie (series-Wound Motor)</b>
Es un tipo de motor eléctrico DC en el cual el inducido (Arm) y el devanado inductor o de excitación (bobinas de campo o field van conectados en serie. Si ésta se desconecta de los bornes de salida del motor, quedara interrumpido el circuito de excitación y por lo tanto no se producirá en el inducido tensión alguna. (Ver figuras 19a)
<b>Motor excitación en paralelo(Shunt-Wound Motor)</b>
Es un motor eléctrico DC cuyo bobinado inductor principal (field) está conectado en derivación o paralelo con el circuito formado por los bobinados inducidos inducido (Arm) e inductor auxiliar (ver figura 19b)
<b>Motor excitación compuesto Motor (Compound-Wound Motor)</b>
Es un motor eléctrico DC cuya excitación es originada por dos bobinados inductores independientes (field); uno dispuesto en serie (series field) con el bobinado inducido (Armature) y otro conectado en derivación (shunt field) con el circuito formado por los bobinados inducido, inductor serie e inductor auxiliar. Pueden ser de campo en derivación corto o largo (shunt fiel short or long). (Ver figura 19c).
<b>Motor de imán permanente (Permanent Magnet Motor)</b>
El suministro DC (source) está conectado directamente a los conductores de la armadura (Arm) mediante las escobillas. El campo magnético principal es producido por imanes permanentes (PM) (permanent magnets) montados en el estator. Pero tienen la desventaja de ser susceptibles a la desmagnetización por cargas de choque eléctricas o mecánicas. (Ver figuras 19d).

Fuente: General Electric.

<sup>17</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.76.

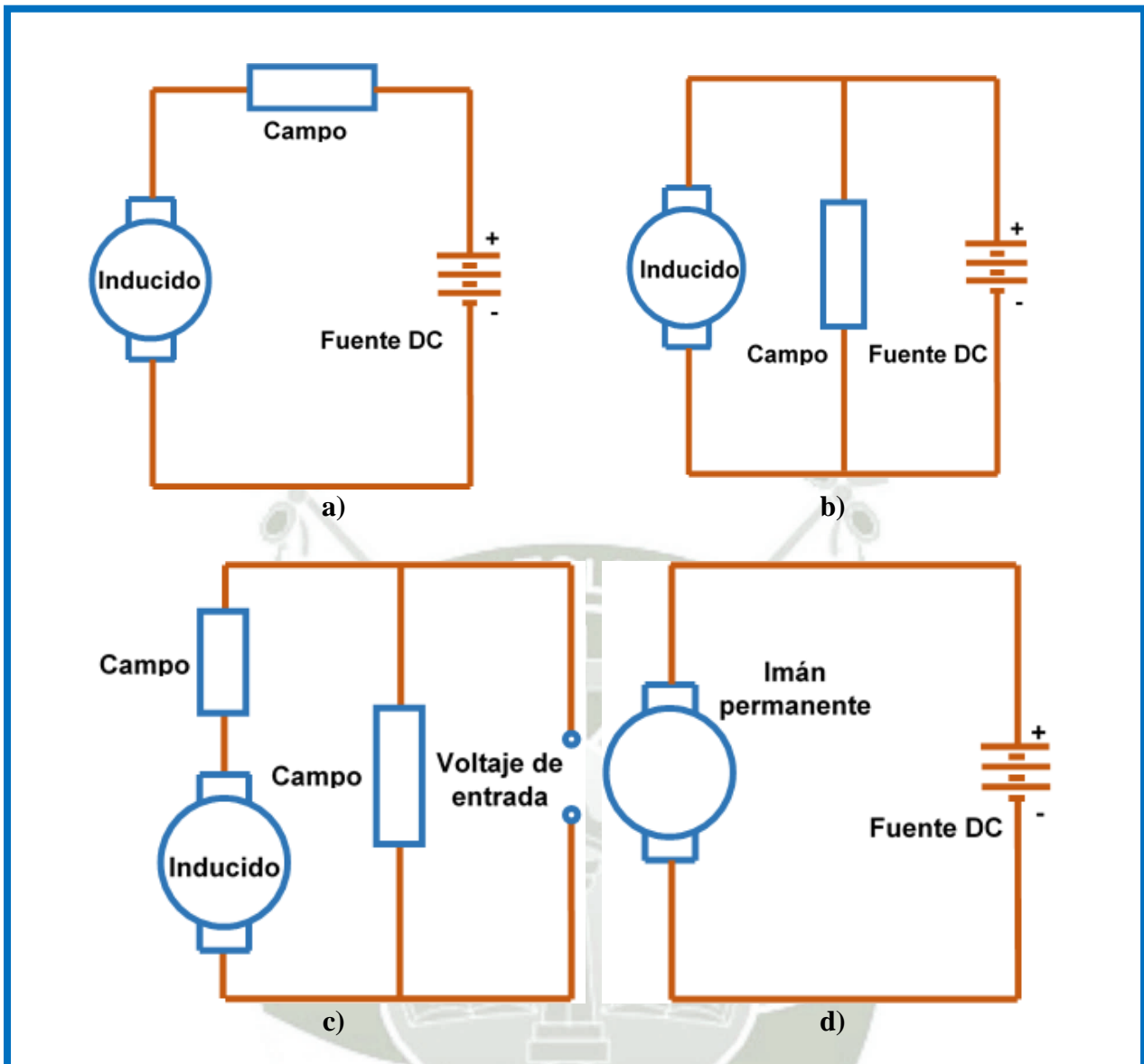


Figura N° 19: Esquemas eléctricos de motores DC

Fuente: MILLER Rex; MILLER Mak R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America.

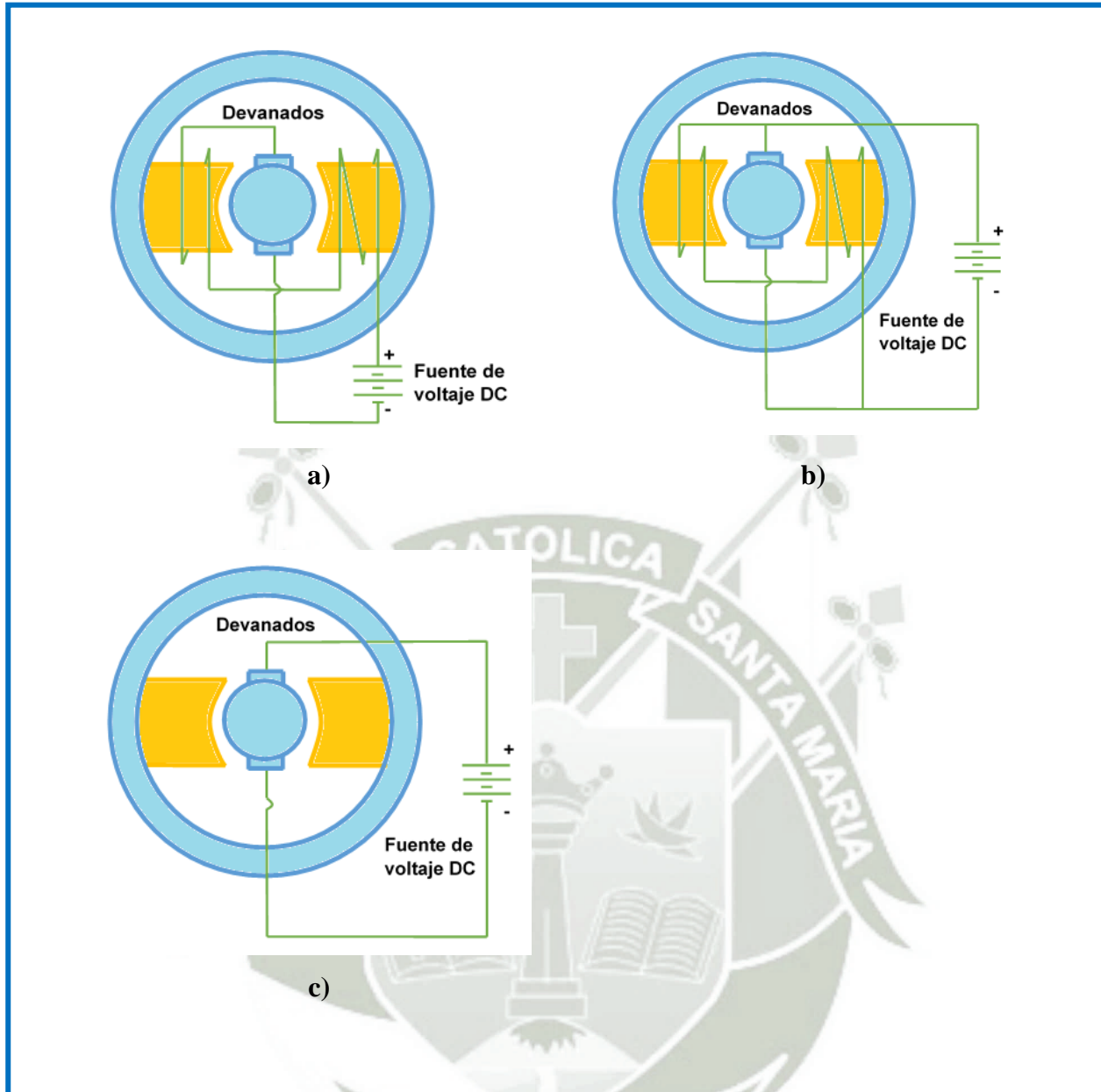


Figura N° 20: Conexiones de algunos motores

Fuente: DALE R,Patrick; Fardo. Industrial Electronics.

TABLA N° 2: Comparación de las características de los cuatro tipos de motores DC.

<b>Motor de excitación en serie (Series-wound DC Motor)</b>	
<b>Regulación de velocidad</b>	Varía inversamente con la carga. Marcha en cargas bajas y plena tensión.
<b>Control de velocidad Motor de excitación</b>	Cero a máximo dependiendo del control de la carga
<b>Par de arranque en serie (series-wound DC motor)</b>	Alto. Varía con el cuadrado del voltaje. Limitado por la conmutación, el calentamiento y la capacidad de la línea.
<b>Par límite</b>	Alto, limitado por la conmutación, calentamiento y capacidad de la línea.
<b>Aplicaciones</b>	Cuando alto torque es requerido y la velocidad puede ser regulada. Grúas, montacargas, puentes y motores de arranque.
<b>Motor de excitación en paralelo (shunt-wound DC Motor)</b>	
<b>Regulación de velocidad</b>	Pérdidas del 3 al 5% desde no carga hasta carga plena. Dependiendo de la cantidad de composición.
<b>Control de velocidad Motor de excitación</b>	Cualquier rango decidido dependiendo del diseño del motor y del tipo de sistema.
<b>Par de arranque en serie (series-wound DC motor)</b>	Bueno campos constantes, es directamente proporcional a la tensión aplicada a la armadura.
<b>Par límite</b>	Alto limitado por la conmutación calentamiento y capacidad de la línea.
<b>Aplicaciones</b>	Cuando se necesita velocidad constante y el par de arranque no es severo. Ventiladores, bombas sopladores y transportadores
<b>Motor de excitación compuesta (compound-wound DC Motor)</b>	
<b>Regulación de velocidad</b>	Pérdidas del 3 al 20% desde no carga a carga plena. Dependiendo de la cantidad de composición.
<b>Control de velocidad Motor de excitación</b>	Cualquier rango decidido dependiendo del diseño del motor y del tipo de sistema.
<b>Par de arranque en serie (series-wound DC motor)</b>	Tan grande como los shunt, dependiendo de la cantidad de composición.
<b>Par límite</b>	Alto, limitado por la conmutación calentamiento y capacidad de línea.

<b>Aplicaciones</b>	Cuando se requiere alto par de arranque combinado con velocidad completamente constante. Bombas de embolo, prensas punzonadoras, cizallas, ascensores de engranajes, cintas transportadoras, elevadores.
<b>Motor de imán permanente (permanent Magnet DC Motor )</b>	
<b>Regulación de velocidad</b>	
<b>Control de velocidad Motor de excitación</b>	Su velocidad puede ser cambiada mediante el ajuste de la tensión de alimentación <sup>18</sup> .
<b>Par de arranque en serie (series-wound DC motor)</b>	
<b>Par límite</b>	Alto, limitado por la conmutación, calentamiento y capacidad de la línea.
<b>Aplicaciones</b>	Cuando se requiere una cantidad baja de carga. Usados para control de velocidad y de posición.

Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. industrial electricity and Motors Control.

#### 2.4.2. Motores Eléctricos AC

Dado que la mayoría de las máquinas utilizadas en la industria están movidas por motores asíncronos alimentados por corriente alterna trifásica, este tipo de motores tiene tres partes principales: el rotor, el estator y carcasa pueden verse las tres partes mencionadas en la figura siguiente<sup>19</sup>.

A este tipo de motores se les denomina motores de inducción debido a que su funcionamiento se basa en la interacción de campos magnéticos producidos por corrientes eléctricas.

<sup>18</sup> DALE R., Patrick; STEPHEN W., Fardo. Industrial Electronics: Devices and Systems. 2 ed. United States of America: Fairmont Press, 2000. p. 263-264.

<sup>19</sup> GARRIGÓS J., Sistemas Automáticos de Producción Alimentaria. Recuperado: [http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion\\_motores\\_ca.pdf](http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion_motores_ca.pdf). p. 2.

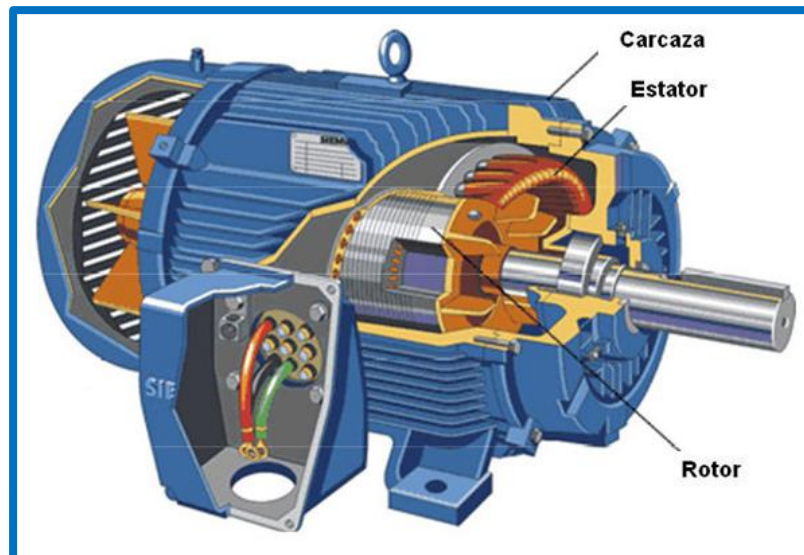


Figura N° 21: Partes principales de motor eléctrico AC trifásico de inducción.

Fuente: General Electric.

El estator: Es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero al silicio provistas de unas ranuras. Los bobinados de sección apropiada están dispuestos en dichas ranuras formando las bobinas que se dispondrán en tantos circuitos como fases tenga la red a la que se conectará la máquina apropiada están dispuestos en dichas ranuras formando las bobinas que se dispondrán en tantos circuitos como fases tenga la red a la que se conectará la máquina. Puede verse la forma del estator en la figura 22a).

Las láminas del estator se apilan formando un cilindro hueco. Bobinas de cable aislado se insertan en las ranuras del núcleo del estator. Cuando el motor está en operación, los bobinados del estator están conectados directamente a la fuente de alimentación. Cada grupo de bobinas, junto con el núcleo de acero que rodea, se convierte en un electroimán, cuando se aplica la corriente<sup>20</sup>.

<sup>20</sup>Siemens Electrical Training courses Motors & Control Courses AC motors, Part 1. pag.

El electromagnetismo es el principio básico de funcionamiento del motor.

Puede verse los bobinados del estator en la figura 22b).

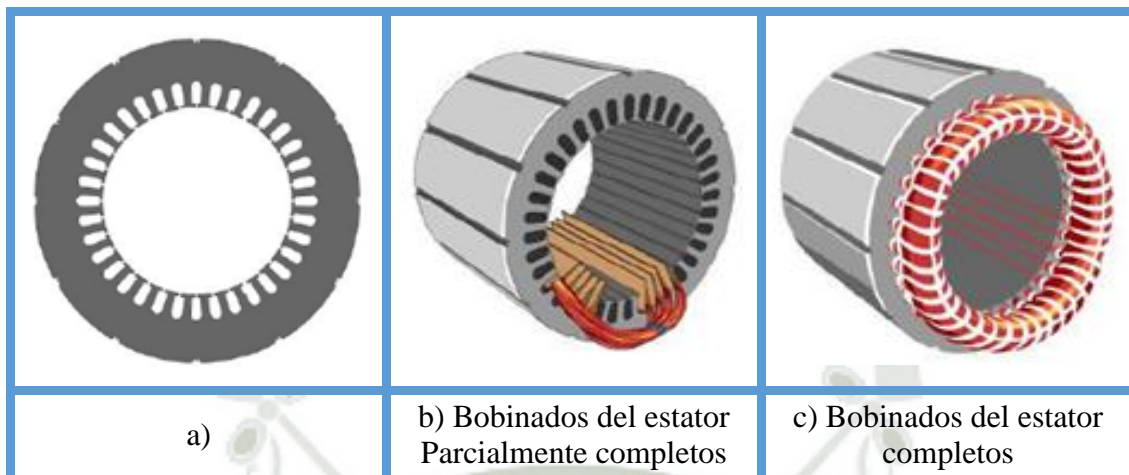


Figura N° 22: Disposición geométrica y montaje del estator en un motor AC trifásico de inducción.

Fuente: General Electric.

El rotor es la parte giratoria del circuito electromagnético del motor. El tipo más común de rotor utilizado en un motor de inducción de tres fases es un rotor de jaula de ardilla. El rotor de jaula de ardilla se llama así porque su construcción es una reminiscencia de las ruedas de ejercicio de rotación se encuentran en las jaulas de los hámster pero probablemente existen este mismo tipo de estructuras para ardillas domésticas. El núcleo de un rotor de jaula de ardilla se hace por apilamiento de finas láminas de acero (ver figura 23) para formar un cilindro.

[http://www.enm.com/Products/Content/Siemens/Training/Siemens\\_Courses/acm\\_1](http://www.enm.com/Products/Content/Siemens/Training/Siemens_Courses/acm_1)

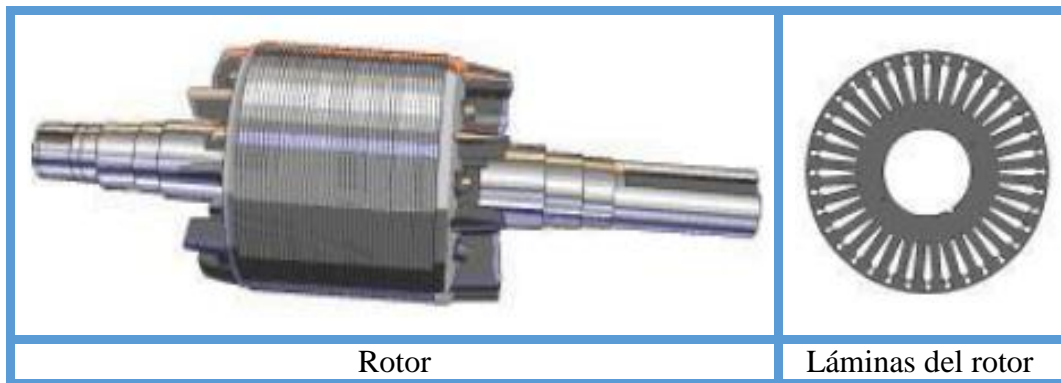


Figura N° 23: Construcción del rotor de un motor AC trifásico de inducción jaula de Ardilla.

Fuente: General Electric.

En lugar de usar alambre como conductores, se usan barras conductoras en las ranuras equidistantes entre sí alrededor del cilindro. La mayoría de los rotores de jaula de ardilla son hechos en fundición de aluminio para formar las barras conductoras.

Después de la fundición a presión, las barras conductoras del rotor son mecánicamente y eléctricamente conectado con anillos extremos. El montaje se presiona sobre un eje de acero para formar un conjunto rotor. Puede verse el montaje en la figura 24.

El motor consta de una carcasa y dos cojinetes. El estator está montado en el interior la carcasa. El rotor se ajusta en el interior del estator con una ligera capa de aire (air gap: entrehierro) que lo separa del estator. No hay conexión física directa entre el rotor y el estator.

La carcasa protege las partes internas del motor del agua y otros elementos del medio ambiente. El grado de protección depende del tipo de carcasa. En la figura 24 se muestra un recinto con las partes del motor montadas en él<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> Siemens Electrical Training courses Motors & Control Courses AC motors, Part 2. pag. [http://www.enm.com/Products/Content/Siemens/Training/Siemens\\_Courses/acm\\_1.pdf](http://www.enm.com/Products/Content/Siemens/Training/Siemens_Courses/acm_1.pdf)

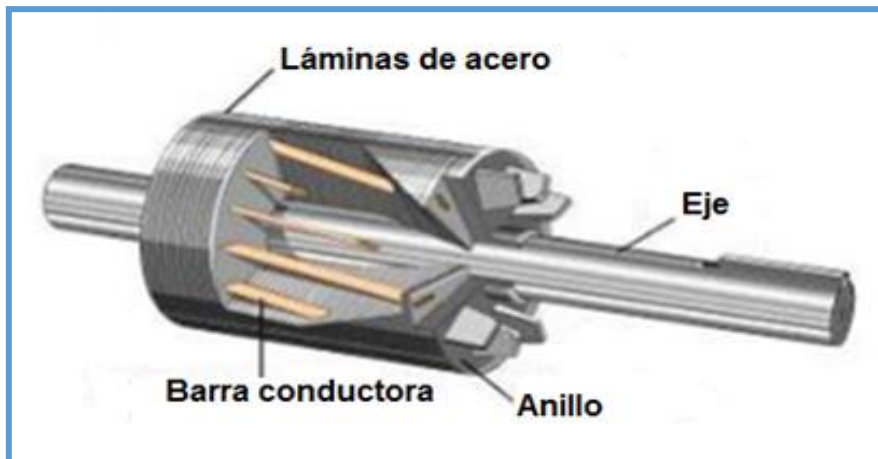


Figura N° 24: Montaje del rotor en un motor AC trifásico de inducción jaula de Ardilla.

Fuente: General Electric.

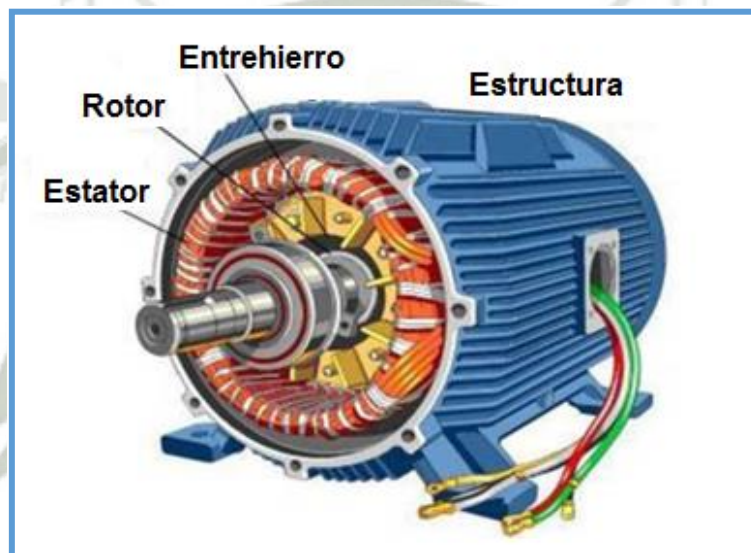


Figura N° 25: Recinto de motor AC trifásico de inducción.

Fuente: General Electric.

Tres clases de motores eléctricos AC son reconocidos por NEMA de acuerdo a la naturaleza de la corriente eléctrica: motor AC de inducción (induction AC motor), motor AC síncrono (synchronous AC motor) y motor AC de arrollamiento en serie (series-wound AC motor). Las definiciones se presentan en la tabla 3<sup>22</sup>.

**TABLA N° 3: Definiciones de los tres tipos de motores AC reconocidos por NEMA<sup>23\*</sup>**

<b>Motor de Inducción (Induction Motor)</b>
Un motor de inducción es una máquina de inducción en la que un miembro (por lo general el estator) se conecta a la fuente de energía, y un devanado polifásico secundario o un devanado en jaula de Ardilla secundario en el otro miembro (usualmente el rotor) lleva corriente inducida.
<b>Motor Síncrono (synchronous Motor)</b>
Son máquinas eléctricas cuya velocidad de rotación n (RPM) está vinculada rígidamente con la frecuencia f de la red de AC, con la cual trabaja, de acuerdo con la expresión $n = 60 f / p$ Donde p es el número de pares de polos del motor. Es conocida como velocidad de sincronismo.
<b>Motor Arrollamiento en Serie (Series wound – motor)</b>
Series - wound Motor Es un motor de conmutador donde el inductor y el inducido están conectados en serie.

Fuente: National Electrical Manufacturers Association.

Reconocidos según la naturaleza de la corriente eléctrica, en este caso AC.

En la tabla 4. Se exponen los principios operativos de las que se valen los diferentes tipos de motores de AC para funcionar.

<sup>22</sup> Siemens Electrical Training courses Motors & Control Courses AC motors, Part 2 . pag. [http://www.enm.com/Products/Content/Siemens/Training/Siemens\\_Courses/acm\\_1.pdf](http://www.enm.com/Products/Content/Siemens/Training/Siemens_Courses/acm_1.pdf)

<sup>23</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.84.

TABLA N° 4: Principio de funcionamiento de los tres tipos de motores AC reconocidos por NEMA

<b>Motor de Inducción o Asíncronos Induction Motor</b>
<p>Al hacer conectar el estator a una fuente AC, circulará una AC por el estator, en el que se generará un campo magnético que inducirá una FEM en el circuito del rotor y hará circular una corriente inducida en este, produciéndose un par de fuerzas que al final representará su rotación. A mayor carga el rotor irá más despacio que el campo magnético del estator, perdiendo velocidad respecto de la velocidad de sincronismo, por lo tanto aparece un deslizamiento que es la diferencia entre la velocidad de sincronismo y la velocidad real del motor que depende a su vez de la carga del mismo. Se muestra su rotor en la figura 26a).</p>
<b>Motor Síncrono synchronous Motor</b>
<p>Es similar a un motor con rotor de jaula de ardilla. Además de las barras del rotor, devanados de bobina también se utilizan. Los devanados de bobina están conectados a una fuente DC de alimentación externa mediante anillos colectores y escobillas. Cuando se inicia el motor se aplica al estator AC, y el motor síncrono se inicia como un motor con rotor jaula de Ardilla. Se aplica DC a las bobinas del rotor después de que el motor se ha acelerado. Esto produce un fuerte campo magnético con polaridad fija en el rotor. El campo magnético del estator atrae al campo magnético fijo del rotor y ambos giran a la misma velocidad estableciéndose la velocidad de sincronismo sin ocurrir deslizamiento. El rotor puede verse en la figura 26b).</p>
<b>Motor Arrollamiento en Serie Series-Wound Motor</b>
<p>La polaridad magnética instantánea de la armadura y el rotor se oponen. Esto significa que el motor girará. Al invertir la corriente, se invierte la polaridad de la entrada (estator). Pero este aún opone a la polaridad magnética de la armadura (rotor). Esto se debe a la inversión afecta a la armadura y el campo por estar estos conectados en serie. La entrada de corriente alterna hace que estas inversiones tengan lugar de forma continua y el motor sigue girando en la misma dirección. El rotor puede verse en la figura 26c)</p>

Fuente: National Electrical Manufactures Association.

Reconocidos según la naturaleza de la corriente eléctrica, en este caso AC.

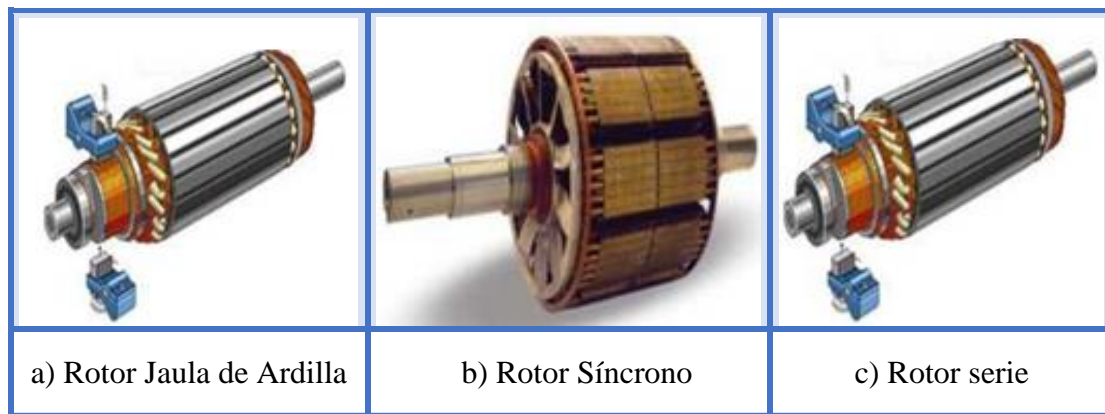


Figura N° 26: Rotores para tipos de motores AC  
Fuente: General Electric.

**MOTORES DE INDUCCIÓN (Induction motors).** NEMA reconoce dos sub-clasificaciones de motores eléctricos de tipo inducción: motores jaula de ardilla (squirrel-cage induction motors) y motores de rotor bobinado (wound-rotor induction motors)<sup>24</sup>. Se presentan definiciones en la tabla 5.

TABLA N° 5: Definiciones de motores AC de tipo inducción

<b>Motor Jaula de Ardilla (Squirrel-Cage Induction Motor)</b>
Es un motor de inducción donde el circuito secundario (jaula de Ardilla) consiste de un número de barras conductoras teniendo sus extremos conectados por anillos metálicos o platos en cada extremo. Ver figura 27a).
<b>Motor de Rotor Bobinado (Wound-Rotor Induction Motor)</b>
Se llama así debido a que su bobinado está devanado en las ranuras. Está formado por paquetes de láminas troqueladas, montadas sobre el eje. Las bobinas se devanan sobre el eje y su arreglo depende del número de polos y de fases Ver figura 27b).

Fuente: National Electrical Manufacturers Association.

<sup>24</sup> HARPER, Enríquez. Curso de Transformadores y Motores de Inducción. 4 ed. México: Limusa, 2005. p.325  
Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.85.

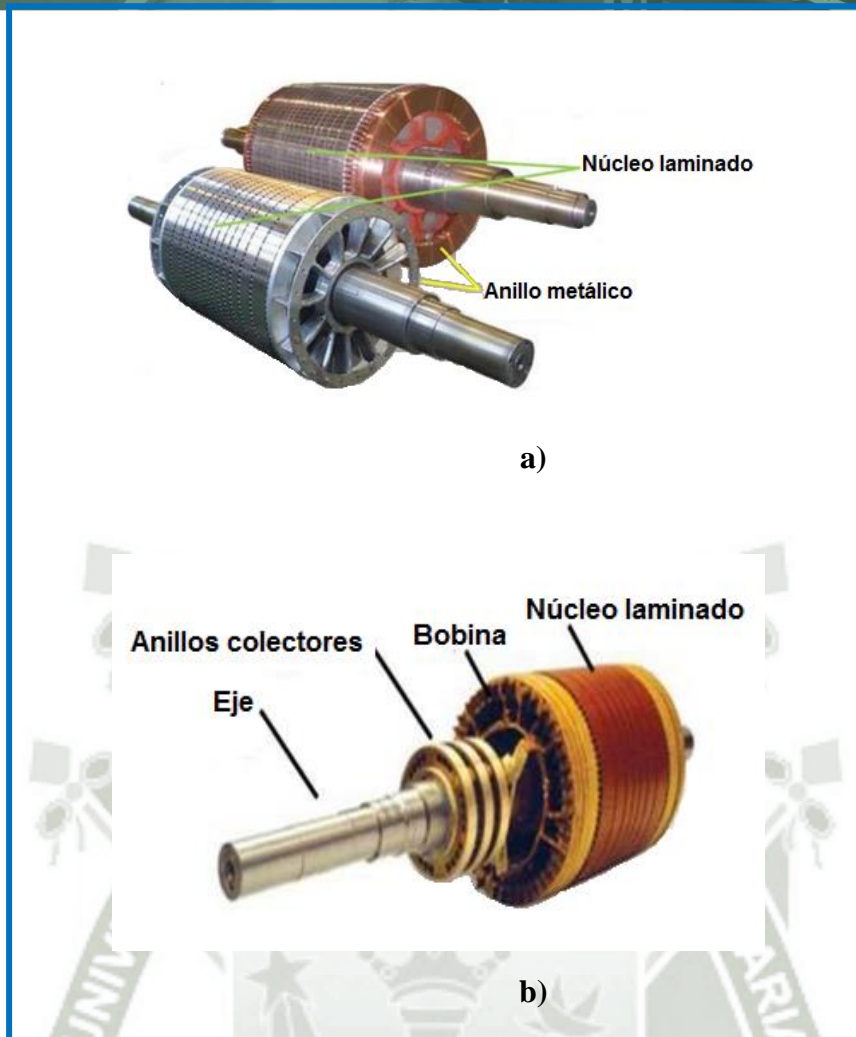


Figura N° 27: Rotores de las dos clases tipos de motores AC de tipo inducción.

Fuente: General Electric.

La diferencia de la máquina asíncrona con los demás tipos de máquinas se debe a que no existe corriente conducida a uno de los arrollamientos. La corriente que circula por uno de los devanados (generalmente el situado en el rotor) se debe a la FEM inducida por la acción del flujo del otro, y por esta razón se denominan máquinas de inducción. También reciben el nombre de máquinas asíncronas debido a que la velocidad de giro del rotor no es la de sincronismo impuesto por la frecuencia de la red. La importancia de los motores asíncronos se debe a su construcción simple y robusta, sobre todo en el caso del rotor en forma de jaula, que les hace trabajar en las circunstancias más adversas, dando un excelente servicio con pequeño mantenimiento. Hoy en día se puede decir que más del 80

por 100 de los motores eléctricos industriales emplean este tipo de máquina, trabajando con una frecuencia de alimentación constante<sup>25</sup>.

El devanado del estator está constituido por tres arrollamientos desfasados 120° en el espacio y de 2p polos; al introducir por ellos corrientes de una red trifásica de frecuencia f, se produce velocidad de sincronismo (ver tabla 6) que viene expresada por:

$$n = 60 \times \frac{f}{p}$$

El rotor de un motor de inducción no puede girar a la misma velocidad que el campo magnético giratorio. Si las velocidades fuesen las mismas, no existiría movimiento relativo entre los campos del estator y el rotor. Sin movimiento relativo no habría tensión inducida en el rotor. Para el movimiento relativo que existe entre los dos, el rotor debe girar a una velocidad más lenta que la del campo magnético giratorio. La diferencia entre la velocidad del campo giratorio del estator y la velocidad del rotor se denomina deslizamiento. Cuanto más pequeño es el deslizamiento, más cerca la velocidad del rotor se aproxima a la velocidad de campo del estator<sup>26</sup>.

La velocidad del rotor depende de los requisitos de par de la carga: cuanto mayor sea la carga, mayor será la fuerza de giro necesario para girar el rotor. La fuerza aumenta sólo si la FEM inducida en el rotor aumenta. Esta FEM sólo puede aumentar si los cortes de campo magnético a través del rotor son más rápidos. Para aumentar la velocidad relativa entre el campo y el rotor, el rotor debe reducir la

<sup>25</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>. p.86.

<sup>26</sup> FRAILE Mora, Jesús. Máquinas Eléctricas. 5 ed. España, McGraw-Hill, 2003. p. 259.

velocidad. Esto significa que para cargas más pesadas el motor de inducción se vuelve más lento que para cargas más ligeras. El deslizamiento es directamente proporcional a la carga en el motor.

TABLA N° 6: Velocidades nominales de giro para motores de inducción

No. de Polos	Velocidad (RPM) a f 60 Hz	Velocidad (RPM) a f 50 Hz
2	3600	3000
4	1800	1500
6	1200	1000
8	900	750
10	720	600
12	600	500

Fuente: Miller Rex, Miller Mark R.

Debido al deslizamiento la velocidad de rotación real del motor bajo carga es menor, por ejemplo normalmente cuando un rotor está diseñado para rotar a 1800 RPM, este gira a 1725 RPM debido al deslizamiento<sup>27</sup>.

Los motores jaula de ardilla (squirrel-cage AC motor) poseen las características que se muestran en la tabla 7.

<sup>27</sup> MILLER Rex, MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America, McGraw-Hill, 2008. p. 145-150.

TABLA N° 7: Características de motores de inducción y aplicaciones 2 y 3 fases, según la clasificación NEMA.

<b>Jaula de Ardilla Propósito General (clase B NEMA)</b>	
<b>Regulación de velocidad</b>	Pérdidas del 3 al 5% para tamaños pequeños
<b>Control de velocidad</b>	Ninguna excepto motores especiales diseñados para dos a cuatro velocidades fijas
<b>Par de arranque</b>	200% de carga plena para dos polos a 105% para 16 polos.
<b>Par máximo</b>	200% de carga plena
<b>Aplicaciones</b>	Para aplicaciones a velocidades constantes, cuando el torque requerido no es alto: ventiladores, sopladores, compresores rotativos y bombas centrífugas.
<b>Jaula de Ardilla Alto Torque (clase C NEMA)</b>	
<b>Regulación de velocidad</b>	Pérdidas del 3 al 6% para tamaños pequeños.
<b>Control de velocidad</b>	Ninguna excepto motores especiales diseñados para dos a cuatro velocidades fijas.
<b>Par de arranque</b>	250% de carga plena para diseños de alta velocidad a 200% para diseños de baja velocidad.
<b>Par máximo</b>	200% de plena carga.
<b>Aplicaciones</b>	Para aplicaciones a velocidad constante, cuando el torque de arranque requerido es alto a intervalos poco frecuentes con corrientes de arranque de 400% de valor a carga nominal: bombas reciprocantes, compresores y trituradoras.
<b>Jaula de Ardilla Alto Deslizamiento (clase D NEMA)</b>	
<b>Regulación de velocidad</b>	Pérdidas del 10 al 15% desde no carga a carga plena.
<b>Control de velocidad</b>	Ninguna, excepto motores especiales diseñados para dos a cuatro velocidades fijas.
<b>Par de arranque</b>	225 a 300% de carga plena dependiendo de la velocidad con la resistencia del rotor.
<b>Par máximo</b>	200% de plena carga. Generalmente no será puesto a par máximo, que se produce en reposo.

<b>Aplicaciones</b>	Para aplicaciones a velocidad constante, cuando el torque de arranque requerido es alto, a intervalos no frecuentes y para tomar las cargas de alto pico, con o sin volantes: prensas, punzonadoras, cizallas, ascensores.
<b>Jaula de Ardilla Alto Deslizamiento (clase F NEMA)</b>	
<b>Regulación de velocidad</b>	Pérdidas del 3 al 5% para tamaños pequeños.
<b>Control de velocidad</b>	Ninguna, excepto motores especiales diseñados para dos a cuatro velocidades fijas.
<b>Par de arranque</b>	50% de carga plena para diseños de alta velocidad a 90% para diseños de baja velocidad.
<b>Par máximo</b>	150 a 170% de plena carga.
<b>Aplicaciones</b>	Para aplicaciones a velocidad constante, cuando el torque de arranque es ligero: ventiladores, sopladores, bombas centrífugas o cargas similares.
<b>Rotor Bobinado</b>	
<b>Regulación de velocidad</b>	Con rotor de anillo en corto circuito pérdidas del 3 al 5% para tamaños pequeños.
<b>Control de velocidad</b>	La velocidad puede ser reducida en 50% por la resistencia del rotor para obtener un funcionamiento estable.
<b>Par de arranque</b>	Arriba de 300%, dependiendo de la resistencia externa para obtener funcionamiento estable. La velocidad varía inversamente con la carga.
<b>Par máximo</b>	200% cuando el deslizamiento de los anillos del rotor se presenta en corto circuito.
<b>Aplicaciones</b>	Para alto par de arranque con baja corriente de arranque o cuando control limitador de velocidad es requerida: ventiladores, bombas centrífugas y de embolo, transportadores, montacargas y grúas.

Fuente: National Electrical Manufacturers Association.

### 2.4.3. Motores Síncronos.

Son diseñados ya sea como monofásicos o trifásicos. Generalmente son usados sin carga, debido a que pueden corregir el factor de potencia. Son más

caros que otros tipos en los índices de menor potencia, pero posiblemente pueden ser más económicos para los 100 HP o más elevados<sup>28</sup>.

En la tabla 8 se presentan las características de este tipo de motores.

#### 2.4.4. Motores de Arrollamiento en Serie.

La conexión eléctrica de este tipo de motor se muestra en la figura 28.

Característicamente, los motores en serie AC y DC son similares. Ambos tienen una característica de velocidad variable. Bajas velocidades son posibles para grandes cargas y cargas ligeras producen altas velocidades. La velocidad varía directamente con el tamaño de la carga. Cuanto mayor sea la carga, más lenta es la velocidad.

TABLA N° 8: Características y aplicaciones de motores síncronos

Motores Síncronos	
<b>Regulación de velocidad</b>	Constante.
<b>Control de velocidad</b>	Ninguna, excepto motores especiales diseñados para vos velocidades fijas.
<b>Par de arranque</b>	40% para baja velocidad a 160% para medias velocidades 80% factor de potencia. Diseños especiales desarrollan altos torques.
<b>Par máximo</b>	Unidad de motores 170%; 80% factor de potencia 225%. Diseños especiales arriba de 300%.
<b>Aplicaciones</b>	Para aplicaciones a velocidad constante, conexión directa a máquinas de baja velocidad y cuando el factor de corrección de potencia se requiere.

Fuente: Miller Rex, Miller Mark R.

<sup>28</sup> Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 147

Los motores de arrollamiento en serie AC-DC, también llamados motores universales, están especialmente diseñados para usar ambos tipos de corriente. Generalmente se hacen en tamaños de pocos caballos de fuerza, por lo general menos de 1 KW, y se utilizan con más frecuencia en las aspiradoras. Los motores universales no pueden ser operados con AC polifásica.

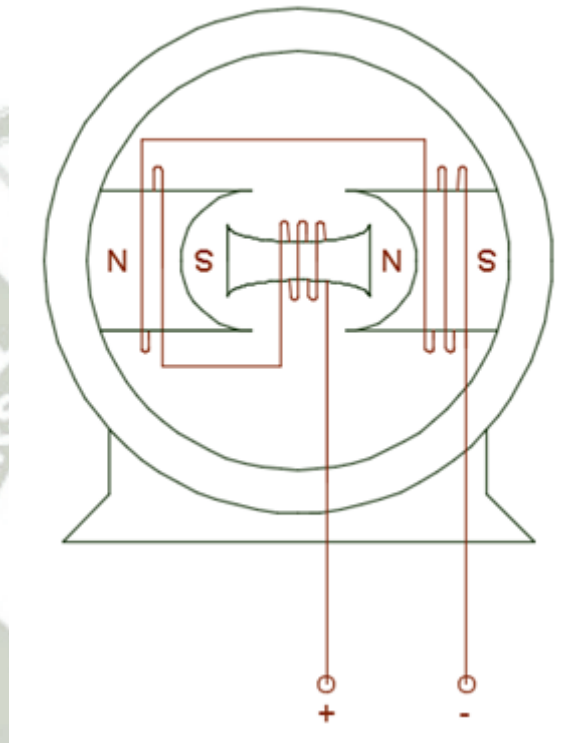


Figura N° 28: Conexión de un motor eléctrico AC de arrollamiento en serie.  
Fuente: Elaboración Propia.

## 2.5. DEFINICIÓN DE MÁQUINA SÍNCRONA

Máquina eléctrica es aquella en la cual al menos una de las formas de energía que maneja es de naturaleza eléctrica.

En este tipo de máquinas la primera distinción que se debe hacer se refiere al tipo de corriente eléctrica con la cual operan y que puede ser “corriente continua” o “corriente alterna”; a su vez cuando las máquinas son de corriente alterna pueden ser monofásicas o polifásicas.

Otra clasificación importante de las máquinas eléctricas se puede hacer en torno a la circunstancia de que la energía eléctrica se tenga a la entrada o a la salida de la máquina eléctrica; las máquinas que tengan energía eléctrica a la salida y energía mecánica a la entrada se conocen como generadores eléctricos; en cambio las máquinas que tienen como entrada energía eléctrica y como salida energía mecánica se conocen como motores eléctricos. En general, en tanto la entrada y la salida es eléctrica se conocen como convertidores, y en particular cuando la energía eléctrica de entrada y salida es corriente alterna, se conocen como transformadores.

Algunos tipos de máquinas eléctricas de corriente alterna funcionan a una velocidad llamada de sincronismo y que está ligada rígidamente a la frecuencia de la red. A estas máquinas se les conoce como máquinas síncronas (motores y generadores cuya corriente de campo magnético la suministra una fuente de potencia de cd externa)<sup>29</sup>.

### 2.5.1. Motor Eléctrico

Básicamente los motores eléctricos son máquinas giratorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica.

La entrada de alimentación de los motores eléctricos está constituida físicamente por los terminales de conexión, mientras que la salida de energía mecánica es provista por el eje giratorio: en esencia los motores tienen una función opuesta en cierto modo a la de los generadores invirtiendo el flujo de la energía. Estos mismos pueden ser de corriente continua o de corriente alterna, monofásica o trifásica. También pueden ser síncronos o asíncronos (motor de inducción).

---

<sup>29</sup> SA. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. [http://www.repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1765/3/6213133M385\\_anexo.pdf](http://www.repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1765/3/6213133M385_anexo.pdf)

### 2.5.2. Generador Eléctrico

Son máquinas que transforman en energía eléctrica otras formas de energía.

La entrada de la máquina está compuesta en el eje de rotación en dónde se aplica la energía mecánica, la cual consigue ser transformada a través del principio de inducción electromagnética en energía eléctrica; es llevada por medio de unos terminales de alimentación los cuales conectan al generador con la red externa.

Las características eléctricas principales a tener en cuenta en un generador son: el voltaje generado en terminales y la capacidad de corriente que se puede entregar.

Si la corriente entregada es continua se le denomina “generador de corriente continua” y si es alterna se le llama “generador de corriente alterna” o alternador.

Los generadores de corriente alterna pueden ser constructivamente monofásicos o trifásicos aun cuando en la práctica la mayoría son trifásicos por razones técnicas y económicas de acuerdo con la estructura de los sistemas eléctricos. También pueden ser síncronos o asíncronos, siendo así el más utilizado el generador síncrono para este tipo de aplicación<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> S.A. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. [http://www.repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1765/3/6213133M385\\_anexo.pdf](http://www.repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1765/3/6213133M385_anexo.pdf)

## 2.6. UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS

Tanto en el motor como en el generador se tiene un movimiento relativo entre un campo magnético y los conductores de la máquina. Esto da lugar a varias posibilidades y alternativas interesantes en el establecimiento de que será el rotor (la parte de la máquina que gira) y que será el estator (la parte de la máquina fija).

Por lo tanto una máquina eléctrica tiene dos estructuras intercambiables es decir, el campo ubicado en el estator y el inducido en el rotor, o viceversa.

Por ende los tipos de posibilidades para las máquinas síncronas son:

1. La máquina síncrona, con un inducido móvil (rotor) y un inductor fijo (estator).
2. La máquina síncrona, con un inductor móvil (rotor) y un inducido fijo (estator).

Cabría entonces preguntarse ¿Qué es más recomendado?

La conversión de energía fundamentalmente se realiza en el inducido: allí se producen las grandes corrientes. Se ve entonces que manejarlas en el rotor, con el consecuente problema que representan las escobillas, no es lo más aconsejable; así, lo recomendable es un inductor móvil y un inducido fijo.

## 2.7. LA MÁQUINA SÍNCRONA, CON UN INDUCIDO MÓVIL (ROTOR) Y UN INDUCTOR FIJO (ESTATOR)

El devanado del inducido (rotor) se saca al exterior a través tanto de anillos rozantes como de un colector.

Este tipo de máquina encuentra su aplicación más importante en el convertidor síncrono o rotatorio, que se utiliza para convertir la corriente continua en corriente alterna o viceversa. Si se aplica corriente continua en las escobillas, la máquina funciona motor CD y alternador de CA, simultáneamente. Si a los anillos rozantes se les aplica corriente alterna, la máquina funciona como motor de AC y generador dc simultáneamente. La Figura 29. Muestra el esquema de este tipo de máquina.

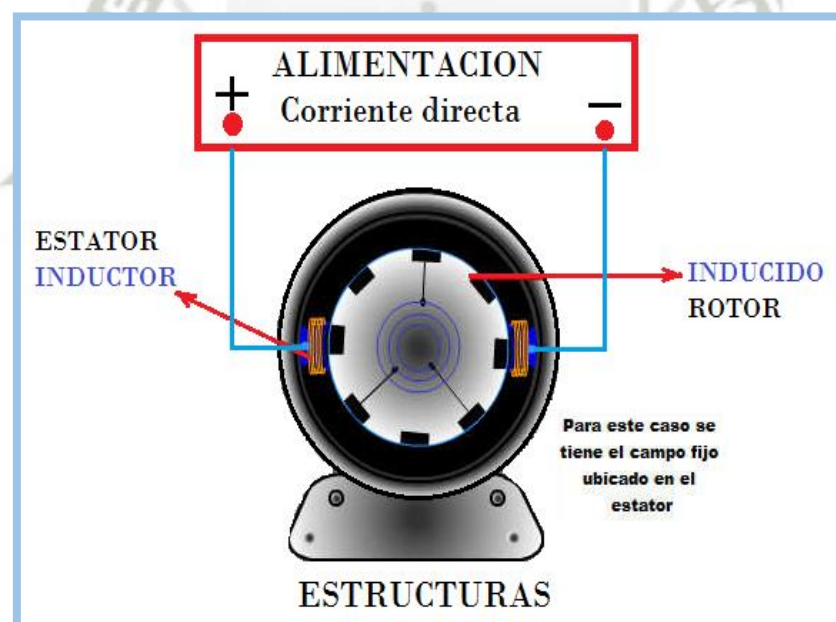


Figura N° 29: Máquina síncrona, con Inducido móvil e Inductor fijo.  
Fuente: Internet.

### 2.7.1. La Máquina Síncrona, con un Inductor Móvil (Rotor) E Inducido Fijo (ESTATOR).

Esta máquina, el devanado de excitación es alimentado mediante una fuente cd a través de dos anillos rozantes y el inducido se conecta directamente a una fuente polifásica CA o a una carga.

Si el inducido (estator) se conecta a una alimentación de CA polifásica y se suministra cd al rotor, a través de los anillos, la máquina funcionará como motor síncrono y el rotor girará a una velocidad síncrona en sincronismo con el campo giratorio que establece el devanado del estator determinado por el número de polos y la frecuencia de alimentación<sup>31</sup>. Si el rotor ya sea de polos salientes o lisos, se hace girar a una velocidad síncrona mediante un motor primario, la máquina funcionará como generador, ya sea monofásico o polifásico, según las conexiones del inducido.



Figura N° 30: Máquina síncrona, con Inductor móvil e Inducido fijo.  
Fuente: Internet.

<sup>31</sup> S.A. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. [http://www.repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1765/3/6213133M385\\_anexo.pdf](http://www.repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1765/3/6213133M385_anexo.pdf)

## 2.8. CONSTRUCCIÓN

Tanto en la máquina síncrona como en la máquina de cd se utiliza el mismo tipo de estator, donde se ubica el devanado de excitación, el cual es alimentado mediante una fuente cd<sup>32</sup>.

El rotor de la máquina consiste en:

- a. Eje de armadura
- b. Núcleos de la armadura
- c. El devanado de la armadura
- d. Anillos rozantes

El estator de la máquina consiste en:

- a. Un yugo o armazón
- b. Núcleo de los polos
- c. Polos de campo
- d. Escobillas y el porta escobillas
- e. Detalles mecánicos--- escudos, tapas

La figura 31. Muestra las partes constructivas de una máquina síncrona:

---

<sup>32</sup> S.A. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. [http://www.repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1765/3/6213133M385\\_anexo.pdf](http://www.repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1765/3/6213133M385_anexo.pdf)

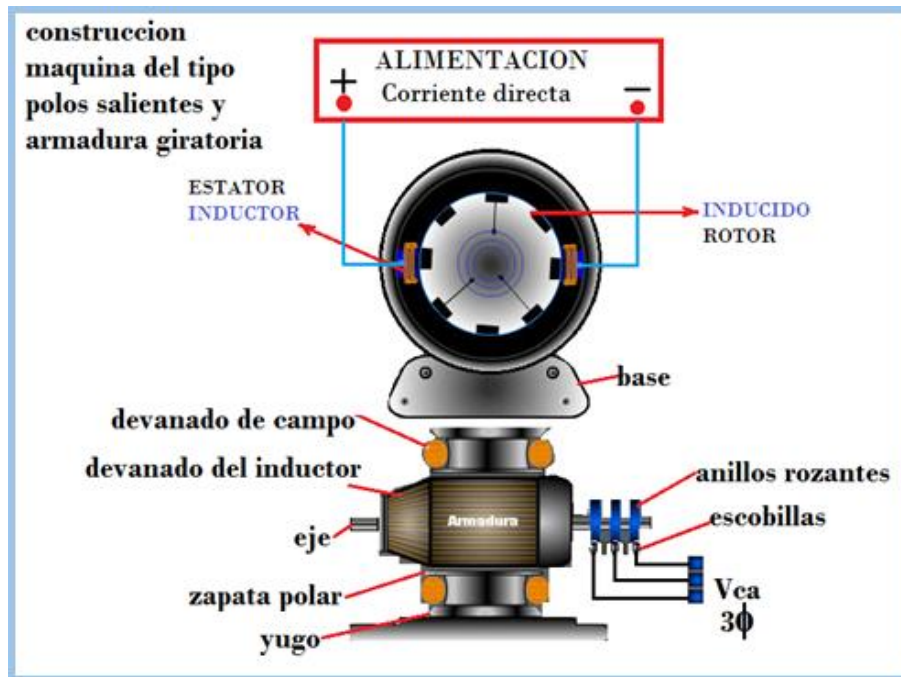
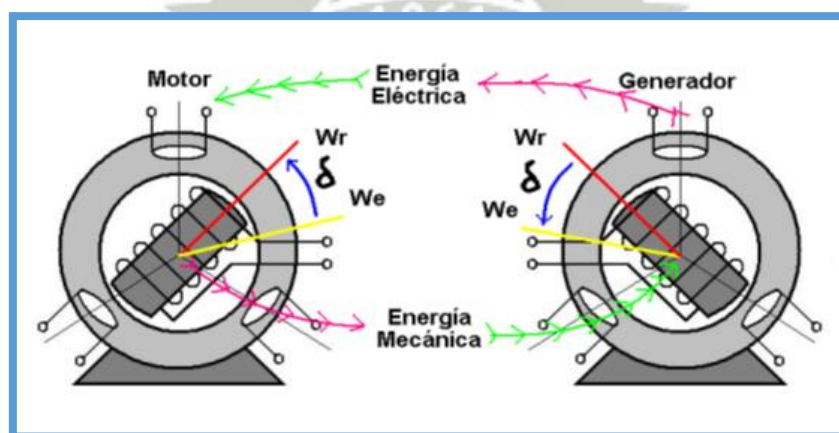


Figura N° 31: Partes constructivas de la máquina síncrona

Fuente: Internet.

Según utilicemos una máquina síncrona como motor o como generador, el campo magnético que “arrastra” será el que proviene desde el elemento por donde entra la energía: si es un motor, la energía (eléctrica) entra por el estator y su campo magnético “arrastra” al del rotor (demanda-mecánica). Por el contrario, si se utiliza como generador, la energía (mecánica) entra por el rotor y este campo magnético “arrastra” la carga eléctrica conectada al estator (demanda-eléctrica)<sup>33</sup>. Gráficamente es algo así:

Figura N° 32: Arrastre como generador - motor.

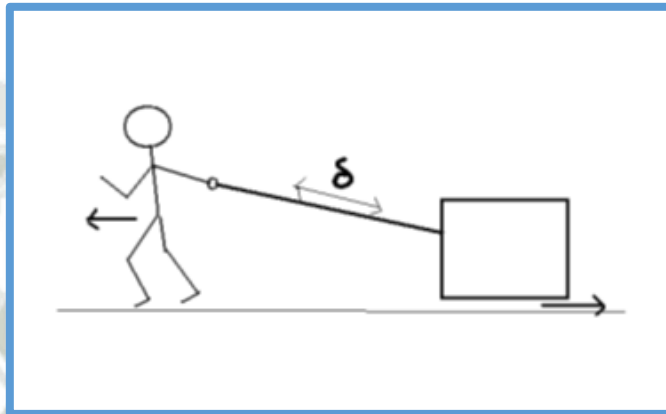


Fuente: Internet.

<sup>33</sup> S.A. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. <http://www.http://prof.usb.ve/jmontene/pdf/MS.pdf>

El ángulo delta, llamado también ángulo de carga, es la separación angular entre el campo que “arrastra” y el campo “arrastrado”. Su valor dependerá de la fortaleza en la atracción magnética entre los dos campos y, claramente, se puede “estirar”, tal cual lo haría una goma elástica con la que se arrastre una carga. La goma se estiraría hasta equilibrar el roce con la fuerza de arrastre.

Figura N° 33: Ángulo delta.



Fuente: Internet.

En un caso lineal, como el de la figura anterior, una goma utilizada para arrastrar la carga podría estirarse hasta reventar. En el caso rotatorio, el ángulo delta puede crecer sólo hasta los 90 grados por razones obvias: al pasar de 90 grados, la polaridad magnética se invierte.

La denominada “estabilidad” de una máquina sincrónica dependerá en parte de que su ángulo de carga crítico no se exceda cuando se produzca un desequilibrio en el balance, entre la energía que entra y la energía que sale de la máquina. La diferencia entre las dos se acumula o se pierde en la máquina y esto se traduce en variaciones de su velocidad y frecuencia que ocasionan condiciones operativas insostenibles. Hay muchos estudios al respecto que deben ser consultados para profundizar sobre el tema, ya que constituyen la base de la operación segura en un sistema de potencia eléctrica<sup>34</sup>.

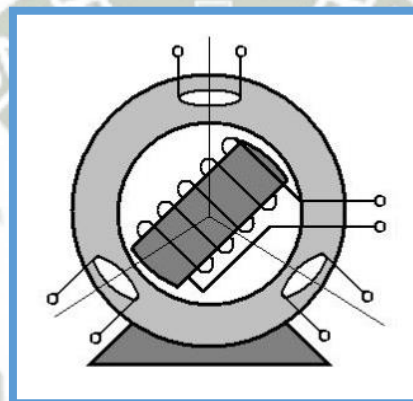
<sup>34</sup> S.A. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. <http://www.http://prof.usb.ve/jmontene/pdf/MS.pdf>

## Controlando el Módulo del Voltaje Generado

Un elemento adicional para el sistema funcional de una máquina síncrona consiste en sustituir el imán permanente del análisis anterior por un electroimán (una bobina eléctrica, alimentada con corriente continua). La ventaja que se obtiene se deriva de la posibilidad de controlar la intensidad del campo magnético del rotor controlando su corriente y, de este modo, su interacción con el campo del estator.

La variación del flujo con la que se inducen los voltajes en las bobinas del estator depende de dos factores:

Figura N° 34: Variación del flujo de inducción.



Fuente: Elaboración propia.

$$E_a = \frac{\Delta\phi(\text{variación de la intensidad de campo})}{\Delta t(\text{variación de la velocidad de giro})}$$

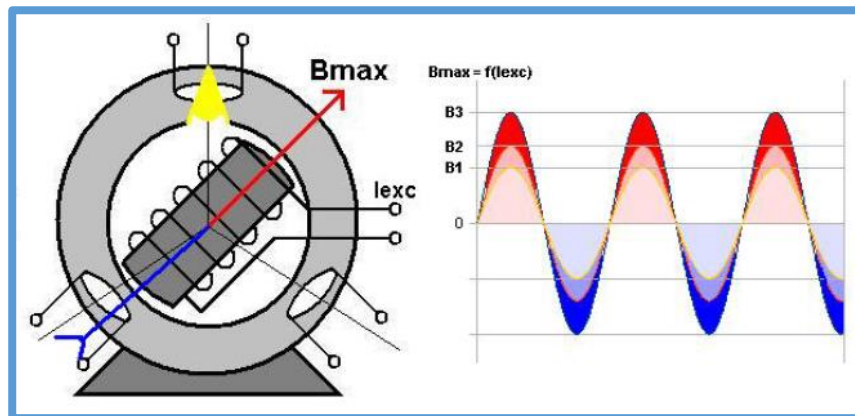
Si se varía la intensidad de la corriente continua que fluye por los arrollados del electroimán del rotor, se varía la intensidad del campo magnético que produce el flujo:

$$\Delta\phi = \Delta B \times \text{Área}$$

**$\Delta B$** : variación de campo magnético inducido por el electroimán

**Área**: equivalente de la bobina

Figura N° 35: Variación del campo magnético.



Fuente: Elaboración propia.

Es así como variando la corriente hacia el rotor (excitatriz), se puede variar el módulo del voltaje inducido. Este es el principio de funcionamiento del regulador automático de voltaje (AVR por sus siglas en inglés), que adecúa la corriente de la excitatriz para controlar el voltaje en los bornes del generador.

### 2.8.1. Controlando La Frecuencia Del Voltaje Generado en una MS

Otro parámetro que se puede controlar (en efecto, se hace), es la velocidad de giro del rotor de la máquina. Cuando se habla de sincronismo se refiere a que la velocidad de giro del rotor depende exclusivamente de la frecuencia de las corrientes en el estator, así como la frecuencia de los voltajes inducidos en el estator dependerán exclusivamente de la velocidad de giro del rotor. Es decir, la relación entre ambas es constante y fija en las máquinas síncronas, aunque esta pueda girar a cualquier velocidad. Lo importante es que siempre se mantendrá esa relación, opere como motor o generador<sup>35</sup>.

<sup>35</sup> Sin. Autor. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. <http://www.http://prof.usb.ve/jmontene/pdf/MS.pdf>

Sin embargo, debido a que la aplicación típica de las máquinas sincrónicas es utilizarlas como generadores, se hace entonces necesario que la velocidad de giro sea controlada, para que de este modo la frecuencia del voltaje que se genera, también sea controlada.

Si se pretende conectar una máquina sincrónica a una red alterna, las frecuencias en ambas deben ser iguales. Cuando una máquina entra a formar parte de un sistema (conectándola a la red eléctrica como motor o como generador), para mantener la velocidad, el equilibrio de potencias, entrando y saliendo (mecánica y eléctrica), se debe mantener del mismo modo en el que se debería balancear la entrada y la salida con una máquina única. En un sistema hay restricciones adicionales.

Este pequeño detalle operativo determina que la velocidad de giro de todas las máquinas conectadas a una red eléctrica común deba quedar automáticamente fija también en una referencia común. En Perú, la frecuencia de referencia es 60Hz. Al producirse una variación en la carga (algo que ocurre constantemente, cada vez que se prende o se apaga un bombillo, por ejemplo), el equilibrio entrada-salida de todo el conjunto se altera y esto se refleja en una variación de la frecuencia, alejándola del valor de referencia.

Para corregir las desviaciones se hace necesario corregir la diferencia entre la entrada y la salida de potencia, de modo de recuperar el balance y la velocidad de giro original. Si la demanda de potencia eléctrica aumenta (se conectan cargas adicionales) es necesario aumentar la entrada de potencia mecánica hasta igualarla al nuevo requerimiento. Si, por el contrario, la demanda se reduce (se desconecta carga), entonces hay que reducir la entrada de potencia mecánica. En su esencia,

el control de la velocidad de giro de las máquinas (frecuencia) se basa en mantener el equilibrio de potencias que entran y salen del conversor de energía (máquina)<sup>36</sup>.

Utilizando una válvula para controlar el paso (caudal) del fluido de trabajo hacia una turbina es como se procuran mantener en un valor fijo la velocidad de giro y la frecuencia de la máquina síncrona. Este es el principio de funcionamiento del control automático de generación (AGC por sus siglas en inglés) que adecúa la velocidad de giro y la frecuencia de los voltajes controlando la entrada de potencia mecánica, a través del eje de rotación del generador (máquina síncrona). El proceso se muestra en la gráfica siguiente:

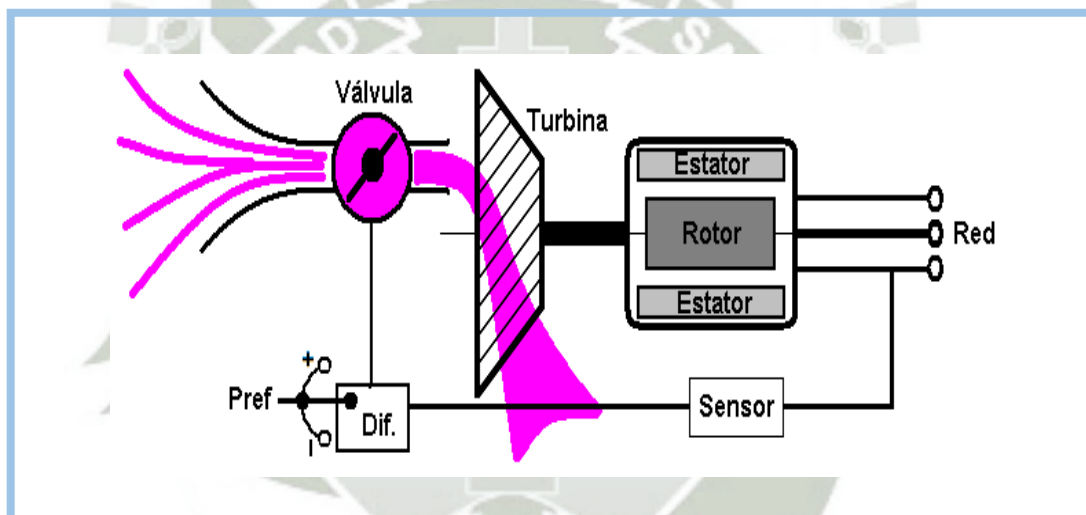


Figura N° 36: Control automático de generación.

Fuente: Internet Máquinas Síncronas.

Variando el torque en el eje mecánico se mantiene la máquina girando a su velocidad nominal, de forma constante (un cambio en la carga, o aumento de potencia, se traduce en un cambio en el torque, ya que:

$$\text{Potencia} = \text{Torque} * \text{Velocidad Angular.}$$

<sup>36</sup> Sin.Autor. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. <http://www.http://prof.usb.ve/jmontene/pdf/MS.pdf>

En el eje que une a la turbina con el generador se contrarrestan el torque mecánico y el torque eléctrico. Si el torque neto es cero, la velocidad de rotación se mantiene fija en el valor de referencia

La potencia mecánica de entrada se procura mantener en equilibrio con la potencia eléctrica de salida. Ya sabemos que cualquier desbalance hará que la velocidad de giro del sistema mecánico cambie, provocando variaciones en la frecuencia de las tensiones inducidas y la reacción del sistema de control<sup>37</sup>.



---

<sup>37</sup> Sin. Autor. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. <http://www.http://prof.usb.ve/jmontene/pdf/MS.pdf>



**CAPÍTULO III**  
**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO**  
**DEL MÓDULO MOTOR - GENERADOR**  
**SÍNCRONO TRIFÁSICO**

### CAPÍTULO III

## ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO MOTOR - GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO

TABLA N° 9: Datos Técnicos de las Máquinas Utilizadas.

Datos del Generador Síncrono.

Voltaje	380 V
Corriente nominal	9.5 A
$\text{Cos } \varphi$	0.8
Frecuencia	60
Potencia	5 Kw
Velocidad de giro	1800
Voltaje de excitación	82 V
Corriente de excitación	3.6 A
Numero de polos	4
Protección / aislamiento	IP 21

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS ELÉCTRICOS

Fórmulas para obtener los parámetros de la Reactancia Síncrona en los Ensayos de Vacío y de Corto Circuito.

Debemos tener en cuenta las fórmulas indicadas de la teoría y algunas fórmulas que no están en la teoría por su gran contenido lo cual se extrajo de las bibliografías indicadas para este Ensayo de vacío y de Corto circuito.

Para el ensayo de vacío:

$$U_{of} = \frac{U_o}{\sqrt{3}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$U_{of}$  = Tensión de vacío por fase (V)

$U_o$  = Tensión de vacío en línea (V)

En la figura 37, se representa la forma de la característica a obtener. En ella se observan dos tramos: el que corresponde a los valores crecientes y el que corresponde a los valores decrecientes, siendo este último más elevado a causa de la histéresis del circuito magnético<sup>38</sup>.

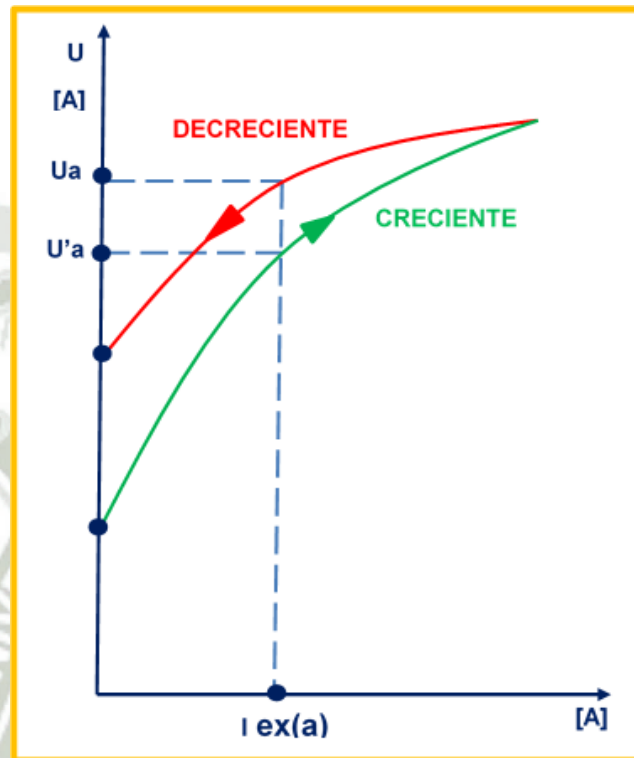


Figura N° 37: Curva de histéresis  
Fuente: Harper, Enríquez. Máquinas Eléctricas.

Como se puede observar, la característica tiene la misma forma que la de un generador de corriente continua. La representación de la saturación magnética no es muy marcada, dado que no se ha llegado a la saturación total del entrehierro. En algunas ocasiones, se suele tomar, para representarse la curva de vacío, la media aritmética de las curvas crecientes y decrecientes.

<sup>38</sup> Gózar Pastor Christian. 2013. <https://www.tesis.pucp.edu.pe>

### 3.2. PARA EL ENSAYO DE CORTO CIRCUITO:

Los datos obtenidos en este ensayo en cortocircuitos se reflejarán en una gráfica de valores como el que a continuación se señala. Se ha cortocircuitado el alternador con tres amperímetros iguales las tres corrientes, sólo es necesario medir una de ellas suprimiendo los otros dos amperímetros.

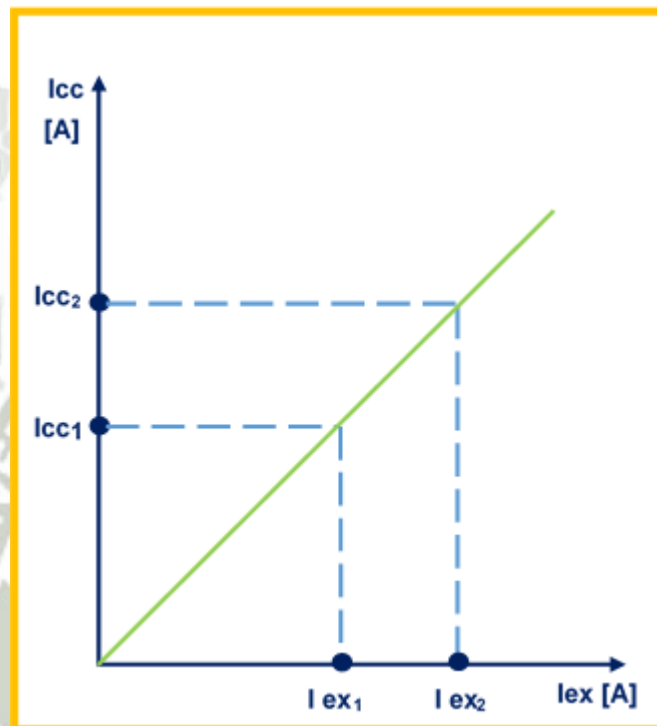


Figura N° 38: Línea de saturación  
Fuente: Stephen J, Chapman. Máquinas Eléctricas.

Si el alternador estuviera conectado en triángulo, la intensidad medida no corresponde con la de una fase y habría que dividirla por  $\sqrt{3}$ , o sea:

$$I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

Tener en cuenta las siguientes fórmulas para el ensayo de Corto Circuito:

$$Z_{si} = \frac{E_{fo}}{I_{ccf}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$Z_{af}^2 = R_f^2 + R_{si}^2 \quad \text{Ec. 3}$$

$$X_{si} = \sqrt{Z_{si}^2 - R_f^2} \quad \text{Ec. 4}$$

**Donde:**

$Z_{si}$  : Impedancia síncrona ( $\Omega$ )

$E_{fo}$  : Tensión de vacío de fase (V)

$I_{ccf}$  : Corriente de cortocircuito nominal de fase (A)

$R_f$  : Valor de la resistencia determinada en caliente ( $\Omega$ )

RCC,  $X_{si}$  : Resistencia y reactancia de cortocircuito ( $\Omega$ )

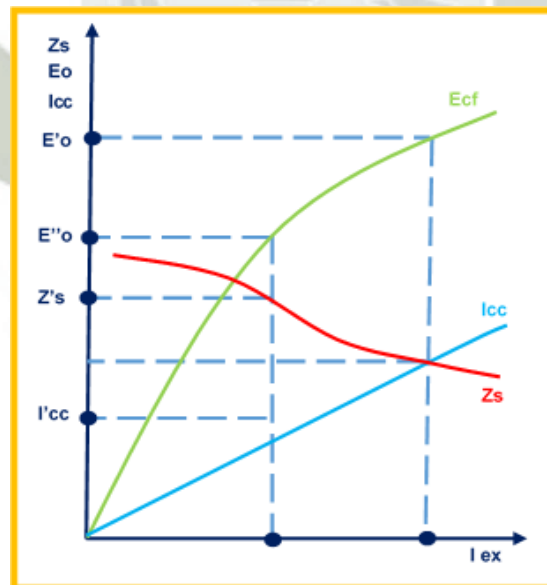


Figura N° 39: Curva de saturación magnética  
Fuente: Stephen J, Chapman. Máquinas Eléctricas.

### 3.3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

El circuito equivalente de un motor síncrono es una herramienta muy útil para encontrar la respuesta al rendimiento del generador bajo los cambios de carga eléctrica teórica. Para esto, es necesario determinar cuál es el valor de estos elementos llamados parámetros  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $X_s$ ,  $X_d$  y  $X_r$ .

Estos parámetros se pueden encontrar realizando sobre el generador síncrono, los ensayos de cortocircuito y vacío. Los ensayos se deben de llevar a cabo en condiciones controladas con mucha precisión, puesto que las resistencias varían con la temperatura, y la resistencia del rotor también varía con la frecuencia<sup>39</sup>.

Procedimiento y Resultados de los Ensayos

### 3.4. ENSAYO DE VACÍO

Procedimiento para ensayo de vacío:

Se suelen unir generalmente, los tres conductores de cada arrollamiento a fase en un punto, que se denomina neutro, dado que, normalmente, se le conecta a tierra y, por tanto está a su mismo potencial. Este tipo de conexión se le conoce con el nombre de “estrella” en la que existen, por tanto, cuatro hilos a tres de los cuales se les denomina “conductores de fase” y, al otro, el hilo o “conductor neutro”<sup>40</sup>.

---

<sup>39</sup>Chapman. (210). Máquinas Eléctricas.p 452. <http://es.scribd.com/doc/37509139/Cap-7-Chapman-Motores-de-Induccion-2-2>

<sup>40</sup> S.A. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. <http://www.clubensayos.com>

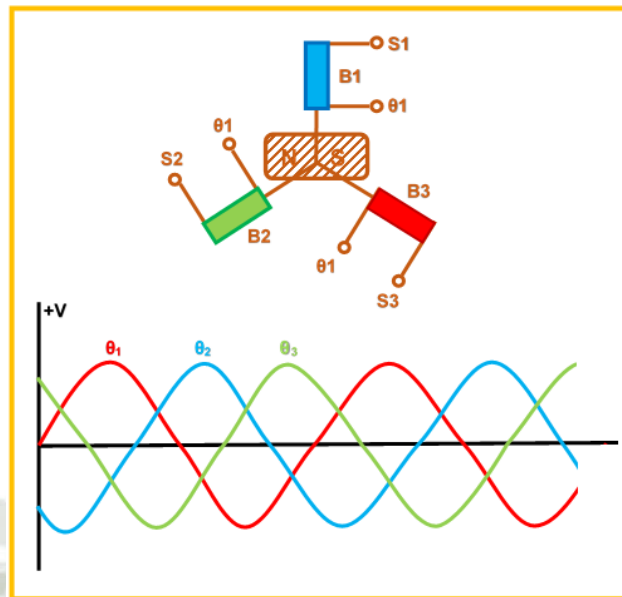


Figura N° 40: Principio de un alternador trifásico  
Fuente: Elaboración propia.

Otro método para conectar los tres arrollamientos de la máquina trifásica es conectar en serie cerrada, con el terminal de salida de una fase unido al de entrada de la fase siguiente. Este montaje se le denomina “triángulo” y da origen a tres conductores activos, que también reciben el nombre de “conductores de fase”, sin posibilidad de que exista punto neutro<sup>41</sup>.

En la fig. 41 puede observarse en: a) la conexión Estrella, y en b) conexión triángulo.

<sup>41</sup> Sin Autor. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. <http://www.clubensayos.com>

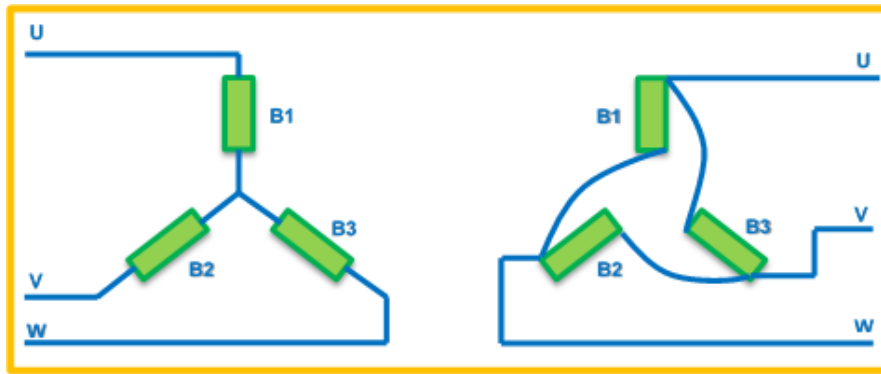


Figura N° 41: a) Conexión Estrella. b) Conexión Triángulo  
Fuente: Elaboración propia.

El ensayo directo de un alternador se efectúa igual que en los generadores de corriente continua. Primero se mide la resistencia de los arrollamientos y después, se determina sus características de vacío, como si se tratase de un dinamo con excitación independiente<sup>42</sup>.

Para una excitación determinada y constante, existen infinitas características de carga, aunque la más fácil de obtener, como se verá a continuación, es la que corresponde a un  $\cos \varphi = 1$ .

El alternador objeto de este ensayo, es un pequeño alternador trifásico de inductor móvil, bipolar y sin excitatriz, por lo que la corriente continua de excitación deberá ser suministrada por una fuente independiente. Como la frecuencia de la f.e.m. inducida es función de la velocidad del motor primario de arrastre, conviene mover al alternador mediante un motor eléctrico de velocidad variable, para ajustarle a la que se desee<sup>43</sup>.

<sup>42</sup> Sin. Autor. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. <http://www.cdigital.uv.mx>

<sup>43</sup> GÓZAR P, Christian E. (2013). Tesis.pucp.edu.pe

Para este ensayo se realizará un montaje como el de la fig. 42

Se debe tener en cuenta que la tensión medida con el voltímetro será la tensión compuesta, dado que el alternador está conectado en estrella, por lo que la tensión de fase será:

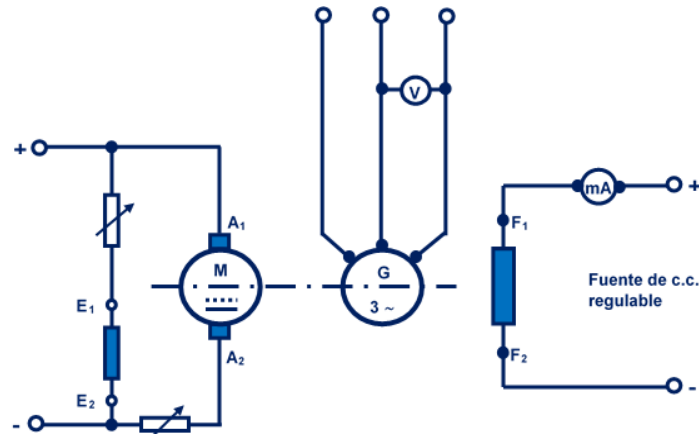


Figura N° 42: Ensayo de vacío de un generador síncrono trifásico.  
Fuente: Elaboración propia.

Se deben realizar tres operaciones:

Mantener constante durante todo el ensayo la frecuencia ( $f = 60 \text{ Hz.}$ ) y por tanto, la velocidad del motor de arrastre ( $n = 1800 \text{ RPM}$ ).

Dar distintos valores a la excitación, partiendo de cero, hasta alcanzar su valor máximo. Mientras se obtiene la curva ascendente no se puede, bajo ningún concepto, retroceder, es decir, disminuir la excitación, ya que ello daría lugar a que se experimentara una variación anómala en la curva.

Se realizarán lecturas en el voltímetro y en el miliamperímetro. Una primera serie de ellas subiendo (magnetización) y una segunda serie de ellas bajando (desmagnetización) después de haber alcanzado el máximo.

### Medida de la resistencia del estator y del rotor.

Para determinar la resistencia del estator (inducido) se debe medir la resistencia por separado de cada una de sus bobinas. Aplicando corriente continua de forma que la intensidad máxima que circule en este ensayo sea, aproximadamente, la nominal midiendo seguidamente, mediante un voltímetro y un amperímetro, la tensión aplicada y la intensidad que circula.

Caso de ser conectada las fases en triángulo la resistencia  $r$ , entre los puntos 1 y 2, tendrán por valor  $(2/3) r'$ , como puede observarse en la fig. 43 Para medir la resistencia del rotor, se aplicará tensión en corriente continua a sus anillos colectores, o bornes correspondientes. Se efectuarán tres medidas con voltímetro y amperímetro, para después tomar la media aritmética.

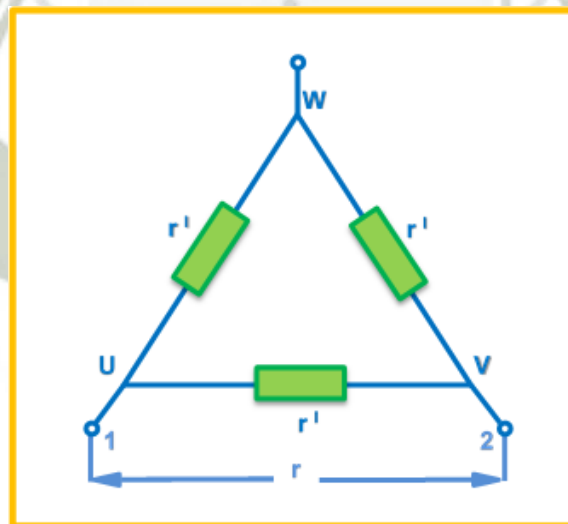


Figura N° 43: Fases conectadas en triángulo.

Fuente: Elaboración propia.

### Resultados del ensayo de Vacío.

Medición de la resistencia de los devanados U, V y W en el motor síncrono trifásico<sup>44</sup>:

<sup>44</sup> Sin. Autor. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. <http://www.scribd.com>

TABLA N° 10: Valores de resistencias del estator del motor síncrono

	Ohmímetro ( $\Omega$ )	Puente Wheatstone ( $\Omega$ )
Devanado U-V		
Devanado V-W		
Devanado U-W		
Devanado V-N		
Rotor		

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se realizó la prueba de aislamiento para ambas máquinas utilizando el Megómetro.

Prueba de aislamiento de un devanado a masa o tierra para el generador síncrono:

TABLA N° 11: Datos de la prueba de aislamiento al generador síncrono

	Ohmímetro ( $\Omega$ )
Devanado U-V	
Devanado V-W	9617
Devanado U-W	
Devanado V-N	

Elaboración: Fuente propia.

$$Z = \frac{E_{f0}}{I_{ccf}}$$

Si se repite esta medida con un número suficiente de los valores de  $I_{ex}$  hallados anteriormente se obtendrá una curva como la representada en la fig. 44 como:

$$Z_{af}^2 = R_f^2 + X_{si}^2$$

Se puede determinar, asimismo, el valor de la reactancia sincrónica, de la ecuación

3

$$X_{si} = \sqrt{Z_{si}^2 + R_0^2}$$

De la figura 44 se deduce que la reactancia disminuye cuando se aumenta la corriente de excitación; éste es un efecto de saturación magnética.

Para el cálculo de la impedancia sincrónica, tenemos la siguiente tabla:

TABLA N° 12: Valores obtenidos de impedancia sincrónica en el ensayo de cortocircuito

<b>I<sub>ex</sub></b>	<b>I<sub>cc</sub></b>	<b>I<sub>cc</sub> * 10</b>	<b>V<sub>o</sub></b>	<b>Z<sub>s</sub></b>

Fuente: Elaboración propia.

Se tomará como  $R_f$  el valor de la resistencia determinada en caliente (ver fig.44)

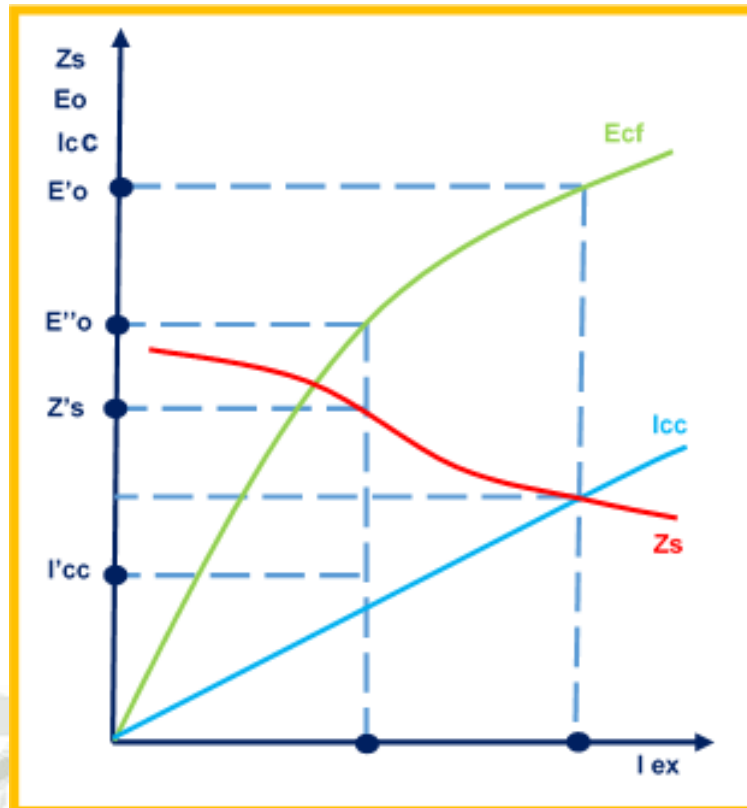


Figura N° 44: Curva característica de circuito abierto y cortocircuito de un generador síncrono

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO CON CARGA VARIABLE.

Se han determinado, en las experiencias anteriores, las características de vacío y de cortocircuito del generador síncrono. Ahora bien, para la determinación del resto de sus características se debe proceder a su ensayo en carga<sup>45</sup>.

Si el alternador es de pequeña potencia se le puede ensayar sometidos a una carga idéntica a la que puede ceder en condiciones nominales de trabajo. Se obtiene, normalmente, tres características distintas de carga: una a tensiones constantes; otras para excitación constante y una para intensidad de carga constante.

<sup>45</sup> ORDAZ, Antonio. (2016). Pruebas de circuito abierto y cortocircuito en los generadores sincrónicos. <http://www.pt.scribd.com>

Características de regulación (con tensión constante). Es la curva obtenida mediante la variación de la corriente suministrada,  $I$ , en función de la corriente de excitación,  $I_{ex}$ , manteniendo la tensión, la velocidad y el factor de potencia constantes. Normalmente se suele obtener no una curva, sino una familia de tres curvas, cuyo trazado varía con el factor de potencia de la carga ( $FP=1.0$ ,  $FP=0.8$  en atraso y  $FP=0.8$  en adelanto). Estas características permiten determinar la variación que ha de tener la corriente de excitación ( $I_{ex-carga} - I_{ex-vacío}$ ) para mantener la tensión de línea constante cualquiera que sea la carga y el factor de potencia<sup>46</sup>.

Características de carga o externas (con excitación constante). Es la familia de curvas de la tensión en bornes del alternador,  $U$ ; en función de la corriente suministrada por él, para una velocidad, factor de potencia ( $fp=1.0$ ,  $fp=0.8$  en atraso y  $fp=0.8$  en adelanto) e intensidad de excitación constante.

Características para intensidad de carga constante. Es la curva de la tensión en bornes del alternador,  $U$ ; en función de la corriente de excitación, para una intensidad suministrada constante, manteniendo, así mismo, constante la frecuencia y el factor de potencia de la carga (normalmente  $FP=0.8$  en atraso). Este ensayo se realiza para el análisis no lineal de la máquina síncrona por el método de Potier<sup>47</sup>.

Para alternadores de gran potencia, cuyos ensayos no se pueden hacer en carga, es posible determinar alguna de sus características con ayuda de diagrama, que sólo necesitan para su determinación ensayos que absorben una potencia débil.

Resultados del ensayo con carga variable con excitación constante.

---

<sup>46</sup> GÓZAR P, Christian E. (2013). Tesis.pucp.edu.pe.

<sup>47</sup> ORDAZ, Antonio. (2016). Pruebas de circuito abierto y cortocircuito en los generadores síncronos. <http://www.pt.scribd.com>

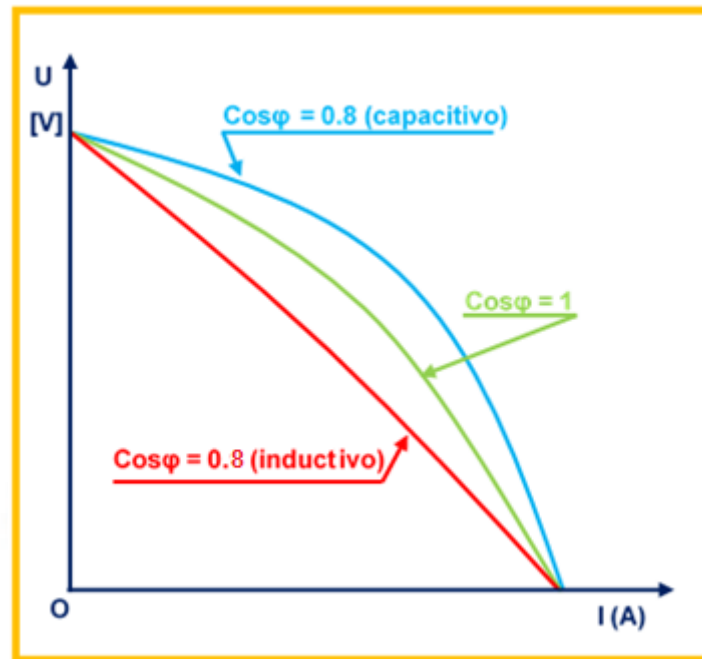


Figura N° 45: Curvas características para distintos valores de  $\cos \Phi$   
Fuente: Elaboración propia.

Trazado para  $\cos \phi = 1$  estando el alternador en vacío se regula la intensidad de excitación  $I_{ex}$  hasta obtener la tensión nominal,  $U$ , Se cierra entonces el interruptor  $K1$  (carga resistiva) y se anotan los valores de la tensión y de la intensidad suministrada para los distintos valores de la carga, manteniendo constante la intensidad de excitación, la velocidad y el factor de potencia.

Los valores obtenidos se reflejan en la tabla siguiente:

TABLA N° 13: Valores obtenidos en laboratorio en el ensayo bajo carga a excitación constante (generador síncrono).

Ítem	Devanado de Armadura		Devanado de Campo		
	$V_{arm}$ [V]	$I_{arm}$ [A]	$I_{ex}$ [A]	$n$ [RPM]	$f$ [Hz]

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. ENSAYO DE SINCRONIZACIÓN.

El funcionamiento en paralelo de alternadores no es el mismo en cuanto al reparto de la carga que para el caso del funcionamiento en paralelo de generadores de corriente continua.

Así, cuando dos generadores de corriente continua están acoplados en paralelo en una red de carga constante, si se aumenta la excitación de uno de ellos y se disminuye la del otro resulta un aumento de la potencia suministrada por la primer máquina, con lo que el par motor de la máquina que la mueve debe aumentar, pues de no ser así originaría una caída de velocidad. Pero cuando se trata de alternadores no ocurre lo mismo, porque en éstos al aumentar la excitación aumenta la fuerza electromotriz, pero generalmente no la potencia<sup>48</sup>.

Se origina nada más que una caída de velocidad instantánea (desplazamiento del ángulo polar), porque el alternador es, necesariamente, arrastrado a la velocidad de sincronismo por los otros alternadores, a los que está acoplado lo que trae consigo una velocidad constante y por tanto, la no intervención del regulador para abrir la admisión de la máquina motriz, supuesta una turbina o un motor térmico, con lo que la potencia absorbida por el alternador permanece constante.

Ahora bien, la variación de la excitación modificada, en cambio, otras características de un funcionamiento.

Se puede establecer que:

**Primero:** Como todos los alternadores giran, necesariamente, a la velocidad de sincronismo, una variación en la intensidad de excitación no origina variación alguna en

---

<sup>48</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>.

la velocidad de la máquina motriz. Además, la potencia activa suministrada no puede variar, al no variar la recibida de la máquina motriz.

**Segundo:** A la variación en la intensidad de excitación corresponde una variación de la potencia reactiva. Además cuando mayor sea la excitación tanto mayor será el grado de estabilidad del alternador.

### Condiciones de Sincronización

La sincronización de dos alternadores entre sí, o bien de un alternador y de una red trifásica de distribución, se podrá realizar como sigue:

Supóngase que se posee una línea de corriente alterna trifásica (alimentada por uno o varios alternadores), al que se desea acoplar el alternador objeto de esta práctica<sup>49</sup>.

El montaje a efectuar será el que se indica en la figura 46.

La maniobra debe satisfacer dos condiciones; que no lleve consigo perturbaciones en el funcionamiento de la instalación y que se haga sin peligro de deterioro en los aparatos y máquinas.

Por estas razones la maniobra debe cumplir las siguientes condiciones:

- a. El valor eficaz de la f.e.m., desarrollada por el alternador a acoplar, tiene que ser igual a la tensión en barras de la línea.
- b. La frecuencia de la f.e.m., desarrollada por el nuevo alternador, tiene que ser igual a la frecuencia de la tensión en la línea.
- c. La secuencia o sucesión de fases del alternador debe ser las mismas que la de la red a la que se va acoplar.

---

<sup>49</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>.

Que exista correspondencia entre los terminales del alternador a acoplar y los de la red o alternador al que se acople. Esta condición es una consecuencia inmediata de las condiciones ya mencionadas.

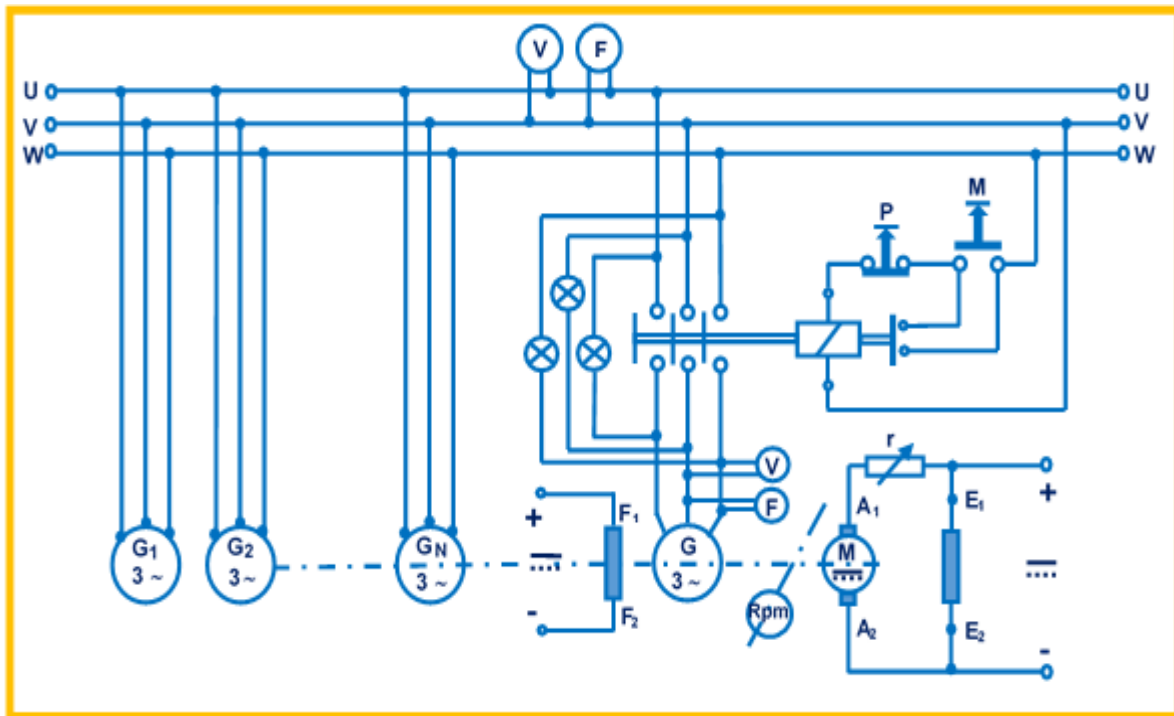


Figura N° 46: Conexión de alternadores en paralelo.  
Fuente Elaboración propia.

### 3.7. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE SINCRONIZACIÓN.

Una vez efectuado el montaje de la figura. 46 se puede proceder como sigue:

#### **Primera condición.**

Se pone en marcha el alternador que se va acoplar a la red, por medio de una máquina motriz, y se regula su velocidad nominal para llevarlo a la velocidad nominal del alternador. Seguidamente se excita el alternador, para conseguir que su tensión, medida en el voltímetro  $V1'$  sea idéntica a la de la línea, medida en el voltímetro  $V2$ .

**Segunda condición.**

Se regula, más finamente aún la velocidad de la máquina motriz para que el frecuencímetro instalado en el alternador nos dé la misma lectura que el instalado en la red. Como al variar la velocidad del rotor del alternador se varía no sólo la frecuencia de la f.e.m. inducida, sino también su valor eficaz, se debe proceder a realizar un nuevo ajuste en la intensidad de excitación, con objeto de que se siga verificando la primera condición.

**Tercera condición.**

Consiste en acoplar el alternador en el momento en que satisfaga ya las dos condiciones anteriores, la tensión en sus bornes, está en fase con la de la línea<sup>50</sup>.

Realmente (antes de cerrar el interruptor de acoplamiento), si el ajuste de la frecuencia se hubiese hecho exactamente, se tendría que el desfase que pudiera existir, en el momento de conseguirlo, entre ambas tensiones perduraría siempre; Pero, en la práctica ocurre (teniendo en cuenta la poca precisión de los frecuencímetros), que aquella exactitud nunca se consigue rigurosamente. Por otra parte, si por casualidad la coincidencia de las frecuencias se hubiese realizado exactamente, siempre podría romperse, variando ligeramente la velocidad de la máquina motriz.

Suponiendo que las frecuencias se han igualado, aunque sólo con la aproximación que permite la medida de los dos frecuencímetros.

Puede existir entre ambas una ligera diferencia, con lo que el desfase entre las dos tensiones no es constante, sino que varía cíclicamente con el tiempo (entre 0 y 360°),

---

<sup>50</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>.

siendo esta variación tanto más rápida cuanto mayor sea la diferencia entre las dos frecuencias.

En la fig. 47 se ven las curvas representativas de las dos tensiones  $V_1$  y  $V_2$  en el alternador y en la línea, respectivamente.

En la parte inferior de la misma figura se ha representado la resultante de ambas, cuya amplitud varía desde 0, cuando aquellas tensiones están en oposición de fase, hasta un máximo igual al doble de la amplitud de ellas, cuando están en fase, de tal manera que, considerando la envolvente de los puntos representativos de las amplitudes de la oscilación resulta una senoide de período:

$$T = \frac{1}{f_1 + f_2} \quad \text{Ec. 4}$$

Siendo:  $f_1$  y  $f_2$  las frecuencias de las tensiones  $V_1$  y  $V_2$  respectivamente.

De donde se deduce que la variación de las fases entre dos tensiones será tanto más lenta cuando más próximas sean entre sí las frecuencias.

Pues bien, sentado esto, cuando en esta variación cíclica de las fases están las frecuencias en concordancia será el momento en que se debe cerrar el interruptor de maniobra para acoplar el alternador a la línea.

Para determinar dicho momento se emplean unos aparatos llamados sincronoscopio, de los cuales, el más sencillo es el sincronoscopio de lámpara, constituido por tres lámparas de incandescencia (realmente sólo serían necesarias dos lámparas), de tensión doble a la de la red, ya que el máximo de tensión que va a recibir coincidirá con el doble de la amplitud de las señaladas, al poder estas éstas en oposición.

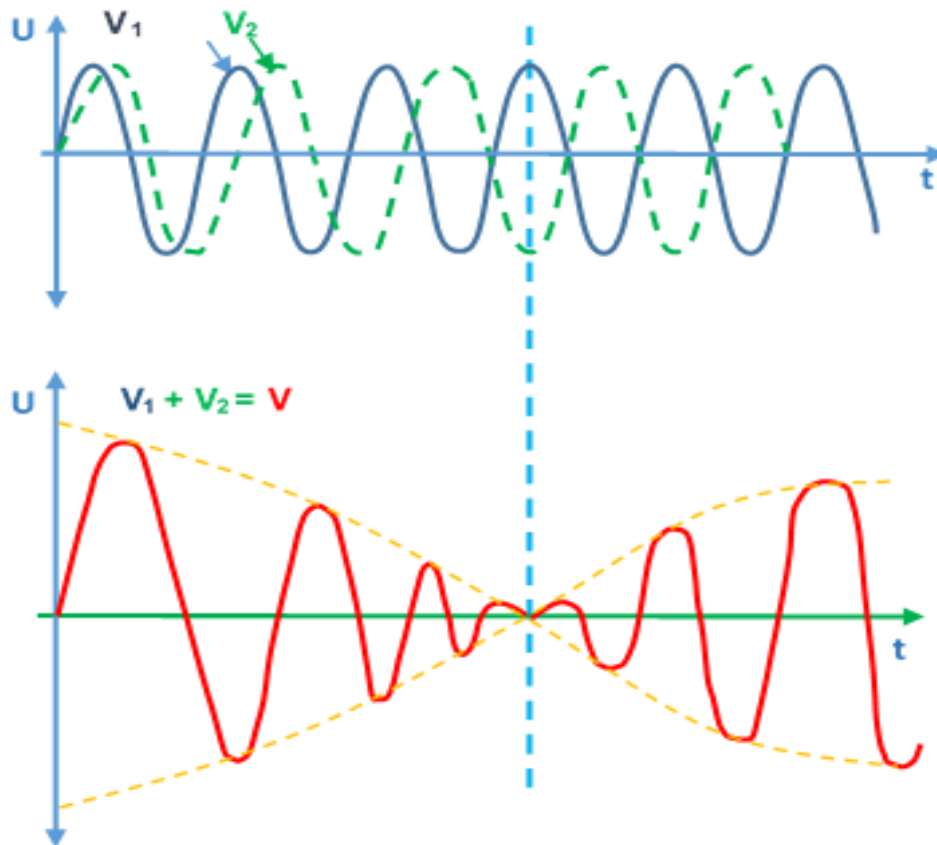


Figura N° 47: Ondas Senoidales de  $V_1$  y  $V_2$  del alternador.  
Fuente: Elaboración propia.

Estas lámparas están conectadas, como se indica en la figura 48, entre los contactos del interruptor de maniobra<sup>51</sup>.

Si las lámparas permanecen encendidas con el mismo brillo indica que existe una gran desigualdad entre las dos frecuencias. Por tanto, se retocará la velocidad de la máquina motriz del alternador a acoplar, con lo cual las tres lámparas oscilarán con una velocidad tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia entre las frecuencias.

Se procurará (maniobrando sobre la velocidad de la máquina motriz) que estas oscilaciones sean lo más lentas posibles, con lo que se podrá apreciar, fácilmente, el momento en el que se apagan, en cuyo instante se cerrará el interruptor de maniobra,

<sup>51</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>.

enganchándose así el alternador a la línea, a cuya frecuencia se subordinará ya su velocidad.

El sincronoscopio de lámpara que se ha considerado, y que se llama también sincronoscopio de excitación presenta el inconveniente de que el filamento de las lámparas deja brillar aun cuando exista todavía tensión en las lámparas el momento de la extinción de la luz no se corresponde exactamente con el de tensión nula, efectuándose, por tanto, la maniobra de acoplamiento cuando las dos tensiones, tal vez, no están debidamente en fase<sup>52</sup>.

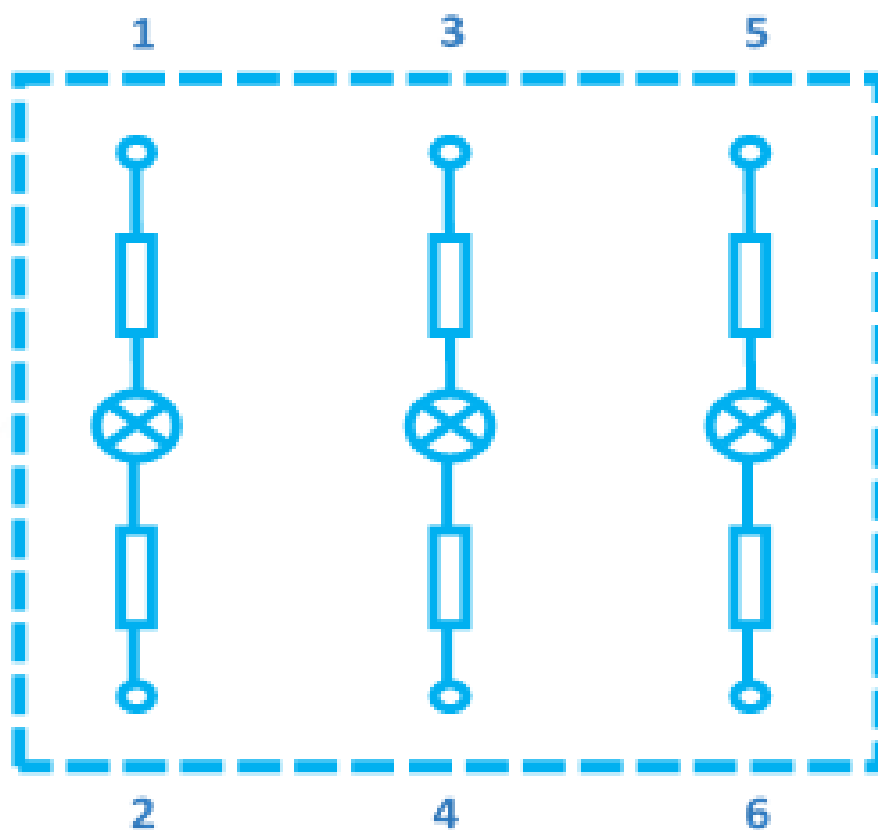


Figura N° 48: Conexiones de las lámparas de sincronización.  
Fuente Elaboración propia.

Para evitar tal inconveniente se suele colocar en paralelo con una de las lámparas un voltímetro (llamado voltímetro de cero), cuya lectura (al pasar por cero) indicará realmente cuál debe de ser el instante en el que debe realizarse el acoplamiento.

<sup>52</sup> Contreras E.-Sánchez. 2010. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>.

**Cuarta condición.**

En esta condición viene implícita en las tres anteriores, ya que si el orden de sucesión de las fases no fuera correcto siempre quedaría una lámpara encendida en el sincronoscopio.

No se deberá realizar la maniobra de acoplamiento hasta tanto no se apaguen las tres lámparas simultáneas.

Este error en la secuencia de fases se puede corregir, rápidamente, sin más que intercambiar, entre sí, dos de las conexiones del alternador.





**CAPITULO IV**  
**GUÍAS DE PRÁCTICAS PARA EL**  
**MÓDULO MOTOR GENERADOR**  
**SINCRONO**

## CAPITULO IV

### GUÍAS DE PRÁCTICAS PARA EL MÓDULO MOTOR GENERADOR SINCRONO, INSTALACIONES GENERALES Y APARATOS

Descripción del Módulo de Laboratorio de Máquinas Eléctricas Síncronas.

Con objeto de que un alumno establezca un previo contacto con el laboratorio, a continuación se van a describir los elementos de instalaciones más importantes de que consta éste.

En lo relativo al tipo de maquinaria, se pueden distinguir lo siguiente:

Motor-generador. Está preparado para poder ser excitado, (fig. 49).

Alternador trifásico. Está previsto para ser conectado en estrella o en triángulo.

Según sea el montaje elegido, generará las tensiones de 220 ó 380 Voltios (fig. 49).

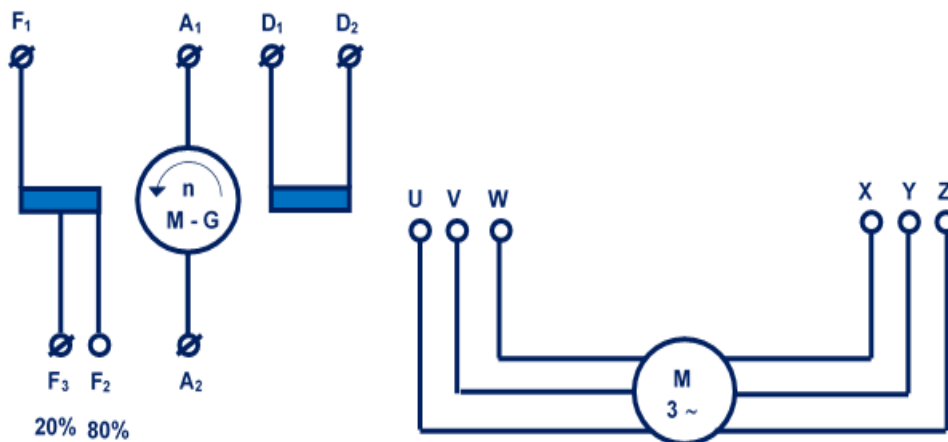


Figura N° 49: (a) Disposición paralelo o serie del motor-generador (b) Conexiones del generador sincrónico trifásico.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1. FINALIDAD DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.

Afortunadamente, hoy en día se estima que la enseñanza tecnológica lleve a cabo paralelamente un complemento, lo más extenso posible, de práctica en talleres y laboratorio. A nuestro parecer, con una enseñanza de numerosas prácticas se consiguen

los siguientes objetivos: primero afianzar los conocimientos adquiridos en las clases teóricas; segundo perder el miedo al manejo de los aparatos; tercero, comprobar que las enseñanzas teóricas tienen su aplicación real y que no son meras especulaciones científicas.

#### 4.2. TIPO DE PRÁCTICAS RECOMENDABLES.

Desde luego, las prácticas más recomendables son aquellas que sean una aplicación con confirmación de las distintas partes de que consta la asignatura correspondiente.

Desgraciadamente esto en muchos casos, no es posible, debido a que los elementos necesarios serían, a veces muy costosos o el desarrollo de la práctica muy laborioso.

No obstante, debe tenderse, aún con ejecuciones elementales, a no dejar ninguna parte de la asignatura sin su correspondiente práctica.

El orden de realización de los ejercicios prácticos debe ser, aproximadamente, posterior al que se siga en las enseñanzas teóricas. Sin embargo, algunas veces, es tal vez recomendable realizar alguna práctica anticipándose a su estudio teórico. Fuera de estos casos excepcionales se debe procurar no alterar el orden a que nos referimos.

Por otra parte, las prácticas deben de ser variadas, aun cuando sean elementales; es decir, ver algo de cada una de las partes de la técnica que se estudie. No es lógico realizar pocas prácticas, aunque éstas sean muy complejas, si con ellas sólo se han efectuado las medidas correspondientes a una parte limitada de lo tratado en la asignatura.

Aparatos de Tipo General que debe poseer un Laboratorio y Precisión de los aparatos a utilizar.

Aparte de los elementos que son necesarios para un cierto número de prácticas concretas, es necesario poseer algunos aparatos que sirvan de base o complemento para muchos de los montajes por su gran versatilidad y que deberán tenerse en gran número y con características suficientes para las necesidades previstas.

Entre ellos estimamos como más convenientes.

- Multímetros (Polímetros) o sea aparatos universales para medir tensiones e intensidades tanto en corriente alterna como en corrientes continuas, con una extensa gama de calibres. A ser posible, estos instrumentos llevarán óhmetro incorporado.
- Reóstatos de cursor, tanto para grandes intensidades (5 a 15 A) y baja resistencia como para pequeñas intensidades (0,1 a 0,4 A) y altas resistencias, así como otros de valores intermedios. La potencia de disipación de dichos elementos podrá estar comprendida entre 100 y 1000 vatios.
- Cargas resistivas, inductivas y capacitivas, monofásicas y trifásicas, regulables, para cargas de 3 ó 5 kilovatios. con posibilidad de acoplar sus resistencias en estrella o triángulo.
- Tacómetros eléctricos y mecánicos.
- Contactores trifásicos con enclavamiento y relés térmicos.
- Fuentes de alimentación de corriente alterna trifásica y corriente continua, regulables desde 0 hasta la tensión máxima, con una potencia del orden de 2 ó 3 kilovatios (o según sea la potencia que precisan las máquinas)<sup>53</sup>.
- Cosfímetros (Cosfímetros) para 5-10 y 150-450V, con  $\cos \phi$  de 0,2-1.
- Medidores de aislamiento de 1 000 V y 0 – 1 000M $\Omega$  (megómetro).

---

<sup>53</sup> S.A. (Sin fecha). Máquinas Síncronas. <http://www.http://repositorio.utp.edu.com>

- Frecuencímetros de 40-50-60 Hz para 150-450V
- Interruptores y conmutadores mono y tripolares para algunos amperios de corte y tensiones de 250 V
- Cables de conexión con terminales de banana auto-conectable a los que se puede adicionar un terminal plano.
- Miliamperímetros para intensidades de 100 a 1 000 mA.
- Amperímetros para intensidades de 0.5 - 10 A.
- Voltímetros para tensiones de 30 - 400 voltios.
- Vatímetros para 2,5 - 10 A y 75 – 150 - 450 V.

#### **Precisión de los Aparatos a utilizar**

Ni que decir se tiene que cuánto más precisos sean los elementos que se manejen tanto mejor quedará realizada la práctica. Pero esto tiene un grave inconveniente: el precio. Puede decirse que éste crece en progresión geométrica con la precisión. A parte de que si la precisión que se desea es de alto grado es muy probable que habrá de procederse a importarlos del extranjero con el consiguiente gasto de divisas, largos plazos de entrega y devoluciones a los lugares de origen para su reparación y obtener elementos necesarios para su reemplazo o sustitución.

Además hay que tener presente que si es caro el aparato debido a su precisión, también será costosa su reparación, en caso de averías. Por otra parte, es frecuente que los instrumentos de medida de alta precisión sean de complicado y delicado manejo.

En fin, creemos que lo importante en los aparatos a manejar por alumnos es su robustez y su fácil y claro manejo, quedando en segundo lugar la calidad. Es preferible disponer de muchos aparatos de calidad media que de unos pocos excelentes.

### **Precauciones en las Prácticas**

Es imprescindible y conveniente que las prácticas que se propongan sean realizadas escrupulosamente con anterioridad por el personal del laboratorio y con los mismos aparatos que han de utilizarse posteriormente por los alumnos. De esta forma, se evitara(n) desagradables contratiempos y se tendrá ocasión de conocer las pequeñas o grandes dificultades que han de encontrar los alumnos en el desarrollo normal de la práctica. Tanto las instalaciones, como los aparatos deberán ser comprobados con antelación para asegurarse que se hallan en buenas condiciones de utilización, evitando con ello paralizaciones y desorientaciones en el desarrollo de la práctica.

La experiencia enseña que para ejecutar una práctica de máquinas eléctricas es preciso disponer, como mínimo, de una hora para las de tipo elemental, necesitándose incluso hasta dos horas en aquellas prácticas de tipo más complejo. Por ello es conveniente prever dos horas, aun cuando, en algunas ocasiones, el trabajo a realizar se finalice en menos tiempo.

### **Conocimiento previo de la Práctica a realizar.**

Este conocimiento no deberá limitarse al enunciado de las prácticas sino que, mediante apuntes, guiones, explicaciones orales u otros métodos se pongan en conocimiento del alumnado la finalidad de la práctica, la utilidad de la medida, en qué casos se suele emplear dicho método, circuito eléctrico a establecer las precauciones que deberán tomarse en el montaje y duración la ejecución, forma de recopilar datos, presentación de resultados, consecuencias que cabe sacar de éstos, errores máximos cometidos, etc. No obstante debe poseer el alumno un texto de prácticas que le oriente en la realización de la práctica, antes de comenzar ésta, es conveniente que el profesor, maestro, etc. del laboratorio indique a los alumnos sobre que particularidades más

sobresalientes tendrán que prestar la máxima atención, dándose instrucciones complementarias sobre aspectos de la cuestión que no estén consignados en el texto. De todas formas, estas explicaciones no deben durar, salvo casos excepcionales, más allá de diez o quince minutos, con objeto de no restar excesivo tiempo a la ejecución de la práctica propiamente dicha.

### **Montaje del Circuito y elección de los Calibres de los aparatos.**

Con el esquema de conexionado a la vista se irá comprobando si los elementos disponibles en el puesto de trabajo son los suficientes y adecuados. Una vez comprobando este extremo, se situarán los aparatos de tal manera que, a ser posible, ocupen posiciones relativas semejantes a como se encuentren en el esquema simplificado de los apuntes.

Únanse, después, los aparatos entre sí, procurando que los cables de conexión tengan longitudes apropiadas, esto es, ni muy largas que enmarañarían el conexionado, ni muy cortas, que darían a un amontonamiento de instrumentos; debe evitarse, además, empalmes entre los cables de conexiones.

Otro extremo muy importante es emplear las conexiones de la sección adecuada según la intensidad que se prevea ha de circular por ellos.

Por exceso de sección nunca se peca, pero hay que tener en cuenta que los cables gruesos suelen tener poca flexibilidad y sus terminales, normalmente, son excesivamente grandes, aparte de que la alimentación a un miliamperímetro, por ejemplo, sería ridícula si se hiciese con un cable de  $16 \text{ mm}^2$ , pongamos por caso.

Es sumamente importante que la conexión entre cables y bornes de aparatos se haga con gran cuidado, asegurándole que la presión entre terminal y borne es buena: esta

precaución es necesaria, sobre todo, en circuitos por los que haya de circular gran intensidad o por aquellos en que la tensión aplicada es pequeña.

Los aparatos no se deberán situarse en posiciones forzadas ni en un plano distinto al que hayan de trabajar normalmente, y debe procurarse que las lecturas de mandos, escalas, etc. sean visibles de frente.

Algunos de los instrumentos de que se dispone puede que tengan varios alcances o campos de medida. En ese caso deberán conectarse de forma que las primeras medidas que se vayan a realizar con ellos queden comprendidas convenientemente en los alcances escogidos y las lecturas que se hagan sean fácilmente legibles.

En caso de duda conéctese siempre en alcances altos, con objeto de evitar el deterioro de los instrumentos, ocasionados por sobrecargas.

### **Repaso del montaje.**

El alumno debe acostumbrarse (por muy sencillo que sea el esquema) a comprobar el correcto montaje de instrumentos. Debe hacerse cuidadosamente, siguiendo hilo a hilo, apretando bornes, comprobando alcances, etc. Si al verificar el conexionado surge la duda de si el circuito que se comprueba no es el correcto, deberá empezar de nuevo la revisión. Si en el puesto de trabajo hay más de un alumno, la comprobación la hará aquel que menos haya intervenido en la manipulación del conexionado.

### **Alimentación del Circuito, Manipulación y Lectura de los valores.**

Si existe posibilidad, es muy conveniente que al aplicar tensión al montaje realizado ésta sea, en principio, de valores bajos. Una vez comprobado que no existe anomalía alguna deberá irse incrementando el valor de la tensión hasta el valor deseado.

Tanto durante este primer período de alimentación como durante la manipulación de los distintos aparatos deberán observarse atentamente los instrumentos de medida, por si sus indicaciones señalan alguna anomalía. Téngase en cuenta que una maniobra podría eliminar total o parcialmente una resistencia, pongamos por caso que protegía algún elemento, el cual quedará sometido a unos valores de intensidad o tensión inaceptables para su buen funcionamiento.

Así, pues, las maniobras deberán ser realizadas con medida, evitando cambiar bruscamente las características eléctricas del circuito. Préstese especial cuidado al manipular las cajas de décadas: es frecuente, al mover un mando, reducir en exceso el valor de la resistencia intercala.

Las lecturas de los diversos instrumentos se harán con gran atención ya que, en definitiva, de esta operación depende el resultado de las medidas o ensayos que se estén realizando. En primer lugar, si se trata de aparatos de desviaciones (voltímetros, amperímetros, etc.) deben leerse evitando los errores de paralaje de la aguja, procurando apreciar las décimas de división.

Es de suma importancia que se compruebe, antes de proceder a la alimentación del circuito, que las agujas de los aparatos de desviación se encuentran exactamente en cero (sobre la raya), revisando este extremo de cuando en cuando. Si no es así, deberán corregirse.

Habrà de vigilarse, además, que la aguja del instrumento no se agarre; es decir, que durante su desplazamiento no se observe dificultad de movimiento. Para ello convendrá probar el aparato alimentándose de una manera progresiva y lenta.

Cuando en la práctica intervengan dos o más instrumentos no es aconsejable que realice la lectura un sólo individuo, sino que convendrá que cada aparato sea leído por una persona diferente; pues es muy posible que durante el tiempo que ha de transcurrir entre una y otra lectura, las condiciones del circuito varíen, bien por una modificación en la fuente de alimentación (que es lo más probable).

O bien por alguna conexión defectuosa, o incluso, por calentamiento de los elementos que componen el circuito.

La anotación de los datos obtenidos se hará con cuidado en las casillas correspondientes de un cuadro o encasillado, que habrá de ser preparado al efecto previamente y cuyas columnas se encabezarán con las indicaciones pertinentes, pudiendo ser éstas en abreviaturas pero sin que puedan dar lugar a interpretaciones erróneas, convendrá dejar una o dos casillas sin encabezar por si son necesarias para otras anotaciones que no se hubieran previsto con antelación.

### **Guías de Prácticas de Laboratorio de Máquinas Síncronas**

A continuación se describirán las prácticas de laboratorio sugeridas a realizarse con el Módulo, indicando las nociones teóricas previas, descripción de los equipos necesario para su ejecución, la realización de la práctica en sí, indicaciones de la manera como debe plantearse la práctica a los estudiantes para un mejor aprovechamiento y la presentación de los resultados.

### 4.3. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 1

#### ENSAYO DE CIRCUITO ABIERTO O VACÍO DEL GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO

##### OBJETIVO

Realizar el ensayo directo sobre el alternador con los terminales en circuito abierto (vacío); A través de ello se podrá estimar los parámetros principales del circuito equivalente, trazar las curvas características de la máquina síncrona y cálculo de la impedancia sincrónica.

##### MARCO TEÓRICO

Cuando en el estator de un generador se dispone el arrollamiento inducido formado por tres parejas de bobinas independientes (o un número de bobinas múltiplo de tres, conectadas en tres grupos independientes) de modo que las tensiones producidas sean iguales y los ángulos de desfase de las tensiones, generales estén entre sí a  $120^\circ$ , la máquina recibe el nombre de alternador trifásico. El rotor de la máquinas está compuesto por un conjunto de arrollamientos que forman el inductor y que, al ser alimentados por una corriente continua, dan origen a un flujo de valor constante pero giratorio al ser arrastrado el rotor por un motor primario mecánicamente acoplado a su eje. La alimentación al rotor con corriente continua se hace mediante anillos rozantes<sup>54</sup>.

Se suelen unir generalmente, los tres conductores de cada arrollamiento a fase en un punto, que se denomina neutro, dado que, normalmente, se le conecta a tierra y, por tanto está a su mismo potencial. Este tipo de conexión se le conoce con el nombre de

---

<sup>54</sup>Zumaita D. (2013). Generador sincrónico.p 1. <https://www.clubensayos.com/Tecnología/Generador-Sincrono/837703.html>

“estrella” en la que existen, por tanto, cuatro hilos a tres de los cuales se les denomina “conductores de fase” y, al otro, el hilo o “conductor neutro”.

Otro método para conectar los tres arrollamientos de la máquina trifásica es conectar en serie cerrada, con el terminal de salida de una fase unido al de entrada de la fase siguiente. Este montaje se le denomina “triángulo” y da origen a tres conductores activos, que también reciben el nombre de “conductores de fase”, sin posibilidad de que exista punto neutro. En la fig. 51 puede observarse en: a) la conexión Estrella, y en b) conexión triángulo.

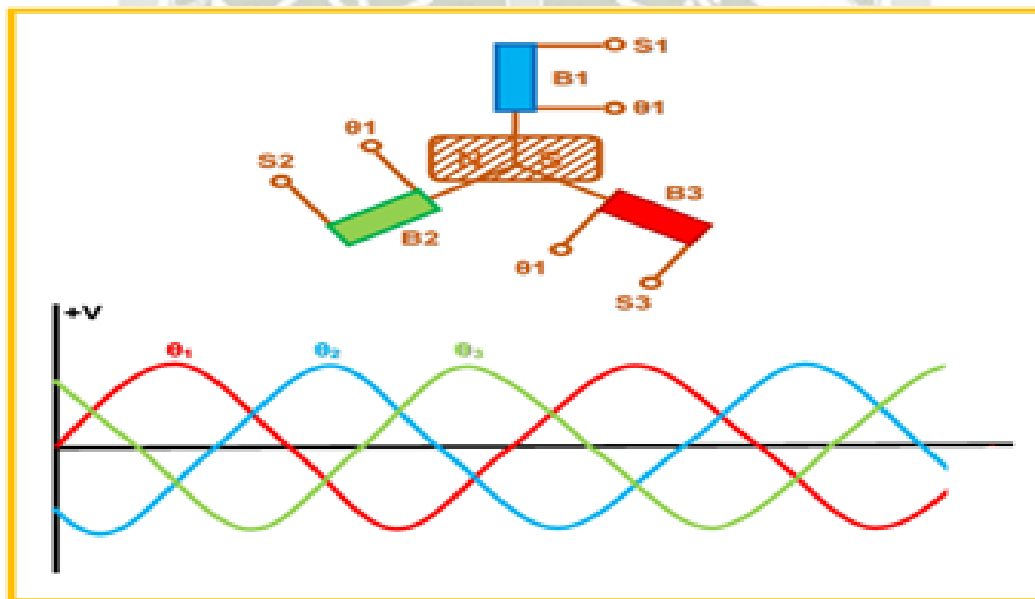


Figura N° 50: Principio de un alternador trifásico.  
Fuente: Elaboración propia.

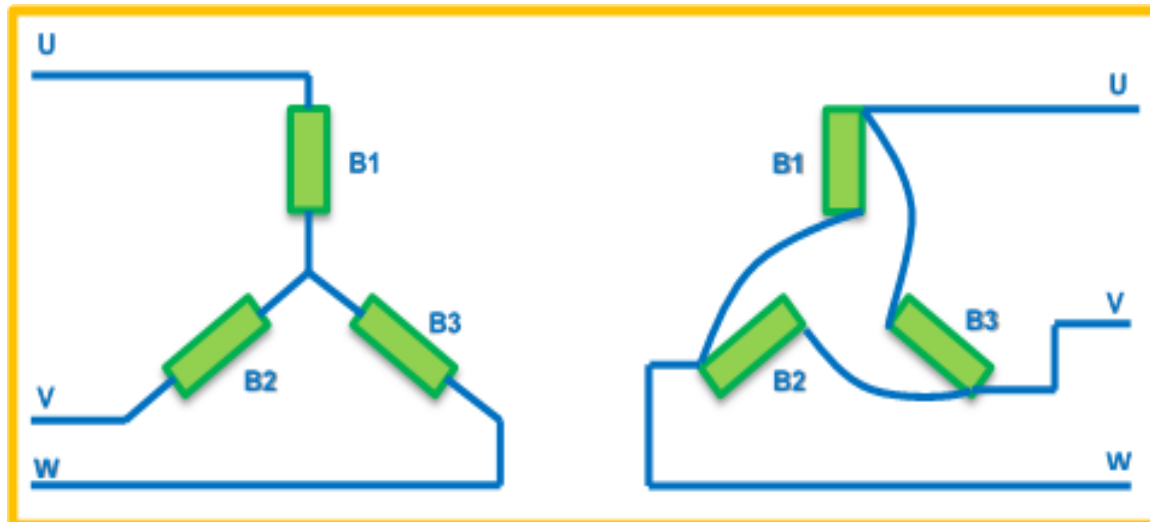


Figura N° 51: (a) Conexión estrella. (b) Conexión delta.  
Fuente: Elaboración propia.

El ensayo directo de un alternador se efectúa igual que en los generadores de corriente continua. Primero se mide la resistencia de los arrollamientos y después, se determina sus características de vacío, como si se tratase de una dinamo con excitación independiente<sup>55</sup>.

Para una excitación determinada y constante, existen infinitas características de carga, aunque la más fácil de obtener, como se verá a continuación, es la que corresponde a un  $\cos \varphi = 1$ .

El alternador objeto de este ensayo, es un pequeño alternador trifásico de inductor móvil, bipolar y sin excitatriz, por lo que la corriente continua de excitación deberá ser suministrada por una fuente independiente. Como la frecuencia de la f.e.m. inducida es función de la velocidad del motor primario de arrastre, conviene mover al alternador mediante un motor eléctrico de velocidad variable, para ajustarle a la que se desee.

<sup>55</sup> Sin Autor. (Sin Fecha.). Máquinas Síncronas. <http://www.http://cdigital.uv.mx>

## MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR

- Alternador trifásico de 5 kVA
- Un motor de corriente alterna de 5 kW, para regular las velocidades del alternador.
- Dos fuentes de corriente continua regulable de 0-250 V/0-2 A, para la excitación del rotor tanto del alternador y motor síncronos.
- Reóstato de campo para el rotor de c.c.
- Un voltímetro de 0-250/400V.
- Un voltímetro de 0-30 V.
- Un amperímetro de 0-5 A.
- Un miliamperímetro de 0-500-1.000 mA
- Un tacómetro de 0-2.000 r.p.m.

## PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA

### Medida de la resistencia del estator y del rotor.

Para determinar la resistencia del estator (inducido) se debe medir la resistencia por separado de cada una de sus bobinas. Aplicando corriente continua de forma que la intensidad máxima que circule en este ensayo sea, aproximadamente, la nominal  $I_a$  midiendo seguidamente, mediante un voltímetro y un amperímetro, la tensión aplicada y la intensidad que circula<sup>56</sup>.

---

<sup>56</sup> Valdez-Cusirramos. (2013). Diseño, fabricación y análisis del módulo alternador – motor asíncrono controlado por variación de frecuencia. <https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/>

Caso de ser conectada las fases en triángulo la resistencia  $r$ , entre los puntos 1 y 2, tendrán por valor  $(2/3) r'$ , como puede observarse en la fig. 52. Para medir la resistencia del rotor, se aplicará tensión en corriente continua a sus anillos colectores, o bornes correspondientes. Se efectuarán tres medidas con voltímetro y amperímetro, para después tomar la media aritmética.

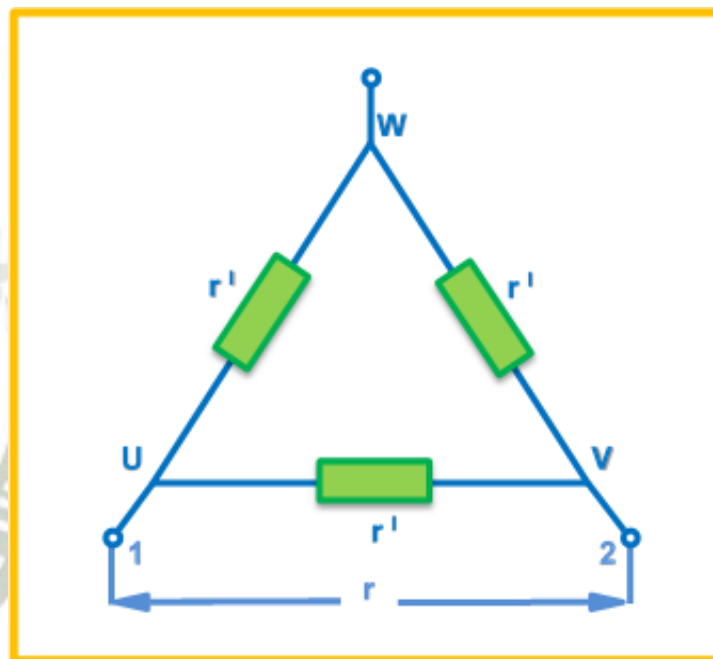


Figura N° 52: Conexión en triángulo de las resistencias.  
Fuente: Elaboración propia.

Tanto para el rotor como para el estator se realizarán dos ensayos uno al comenzar la práctica (en frío) y otro al finalizarla (en caliente). Los datos así obtenidos, se reflejan en unos cuadros como los siguientes:

Medición de la resistencia de los devanados U, V y W en el motor síncrono trifásico<sup>57</sup>:

<sup>57</sup> ORDAZ, Antonio. (2016). Pruebas de circuito abierto y cortocircuito en los generadores síncronos. <http://www.pt.scribd.com>

TABLA N° 14: Medición de la resistencia de los devanados U, V y W en el motor síncrono trifásico

	Ohmímetro ( $\Omega$ )	Puente Wheatstone ( $\Omega$ )
Devanado U-V		
Devanado V-W		
Devanado W-U		

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de Aislamiento de un devanado a masa o tierra para el generador síncrono:

Determinación de la característica de vacío.

TABLA N° 15: Característica de vacío

	Megómetro ( $\Omega$ )
U – masa	
V – masa	
W – masa	

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 16: Magnetización

		Iex (A)	Vo (V)	Vex (V)	N (RPM)
Magnetización	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 17: Desmagnetización

Desmagnetización	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Fuente: Elaboración propia.

En la fig. 53 se representa la forma de la característica a obtener. En ella se observan dos tramos: el que corresponde a los valores crecientes y el que corresponde a los valores decrecientes, siendo este último más elevado a causa de la histéresis del circuito magnético<sup>58</sup>.

<sup>58</sup> GÓZAR P, Christian E. (2013). Tesis.pucp.edu.pe. Diseño de fuentes de alimentación regulables para suministrar energía a los circuitos de campo y armadura de un motor dc shunt y al circuito de campo de un generador síncrono trifásico

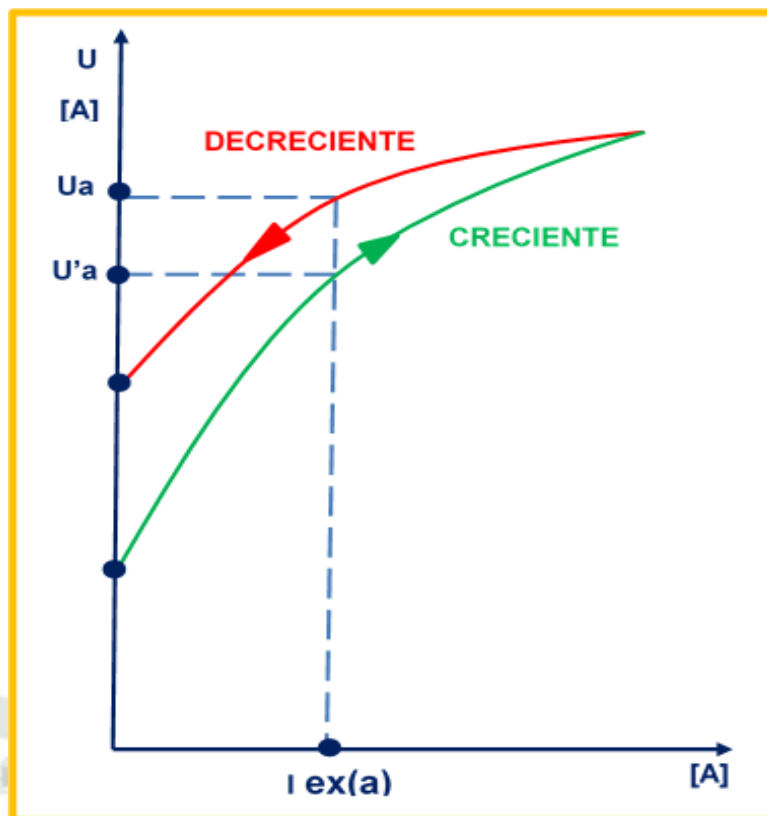


Figura N° 53: Curva de Saturación Magnética.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la característica tiene la misma forma que la de un generador de corriente continua. La representación de la saturación magnética no es muy marcada, dado que no se ha llegado a la saturación total del entrehierro.

En algunas ocasiones, se suele tomar, para representarse la curva de vacío, la media aritmética de las curvas crecientes y decrecientes.

#### 4.4. PRACTICA DE LABORATORIO N° 2

### ENSAYO DE CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO

#### OBJETIVO

Realizar el ensayo directo sobre el alternador con los terminales en corto circuito; a través de ello se podrá estimar los parámetros principales del circuito equivalente, trazar la curva característica corto circuito de la máquina síncrona y cálculo de la impedancia sincrónica<sup>59</sup>.

#### MARCO TEÓRICO

Curvas Características de cortocircuito. El generador se accionará a la velocidad correspondiente a su frecuencia nominal y sus tres fases correspondientes estarán puestas en cortocircuitado mediante tres amperímetros, como se indica en la fig. 54.

#### MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR

- Alternador trifásico de 5 kVA.
- Un motor de corriente continua de 5 kW, para regular las velocidades del alternador.
- Una fuente de corriente continua regulable de 0-250 V/0-2 A, para la excitación del alternador.
- Reóstato de campo para el motor de c.c.
- Un voltímetro de 0-250/400V.
- Un voltímetro de 0-30 V.

---

<sup>59</sup> S. Autor (S. Fecha). Recuperado. <http://www.id.scribd.com>

- Un amperímetro de 0-5 A.
- Un miliamperímetro de 0-500-1.000 mA
- Un tacómetro de 0-2.000 r.p.m.

### **PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA.**

Para este ensayo se realizará un montaje como el de la fig. 54, semejante al ensayo de vacío a excepción de cerrar el circuito de los terminales con uno o tres amperímetros, ver figura.

Si se traza un diagrama con las corrientes de cortocircuito en función de los distintos valores de la corriente de excitación, se obtendrá una línea recta que pasará por el origen, como puede observarse en la fig. 55.

Se tomará diversos valores de  $I_{ex}$  de forma que la intensidad de cortocircuitado no sobrepase 1,5 veces la intensidad nominal del alternador, ya que, si no, el alternador se sobrecalienta. No obstante, dado que la gráfica es una línea recta, puede prologarse para determinar otros puntos de funcionamiento.

No será totalmente necesario conectar los tres amperímetros, ya que si el alternador está equilibrado, los tres amperímetros marcarían lo mismo, por lo que con uno de ellos solamente sería suficiente para poder realizar el ensayo. Se puede comprobar que el alternador está perfectamente, en cuanto a carga, en sus tres fases. Cambiando el amperímetro a cada una de ellas. Si existe el equilibrio, las lecturas deberán ser idénticas en los tres casos.

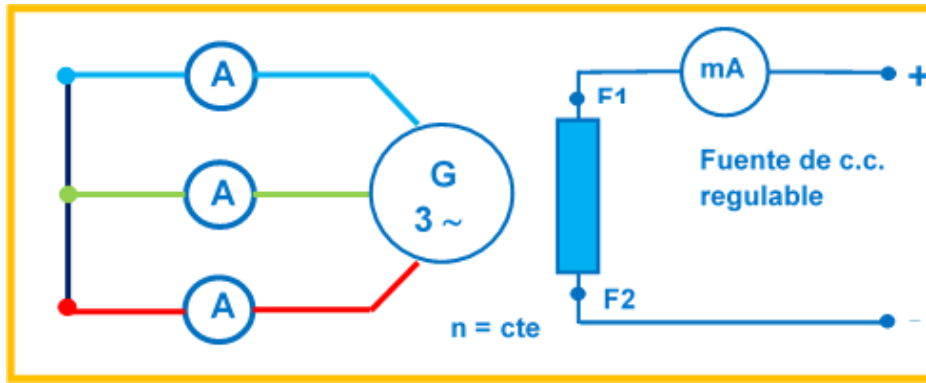


Figura N° 54: Conexión de los terminales para el ensayo de cortocircuito.

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos en este ensayo en cortocircuitos se reflejarán en un cuadro de valores como el que a continuación se señala. Se ha cortocircuitado el alternador con tres amperímetros iguales las tres corrientes, sólo es necesario medir una de ellas suprimiendo los otros dos amperímetros.

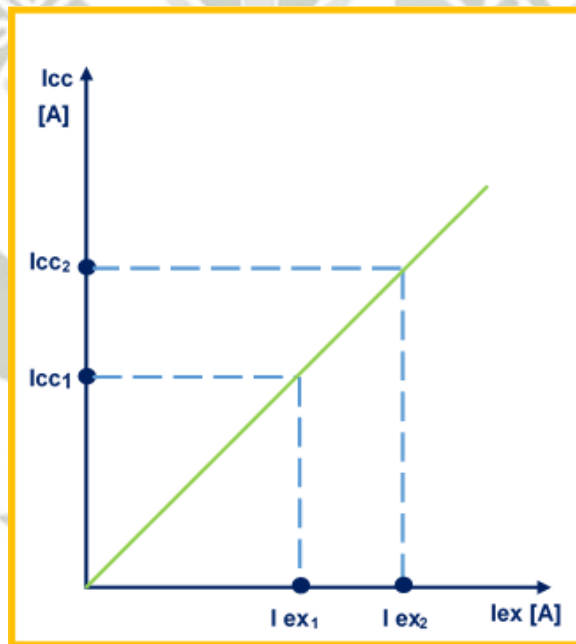


Figura N° 55: Curva característica del ensayo de cortocircuito.

Fuente: Elaboración propia.

Si el alternador estuviera conectado en triángulo, la intensidad medida no corresponde con la de una fase y habría que dividirla por  $\sqrt{3}$ , o sea:  $I_f = \frac{I}{\sqrt{3}}$

TABLA N° 18: Parámetros de Corto Circuito.

N	I <sub>ex</sub> [A]	I <sub>arm</sub> [A]	n [RPM]	f [Hz]
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Fuente: Elaboración propia.

Impedancia síncrona: Se denomina impedancia síncrona a la relación entre la tensión de vacío y la intensidad de cortocircuito, para un valor determinado de la intensidad de excitación<sup>60</sup>. Es decir (por fase):

$$Z = \frac{E_{fo}}{I_{ccf}}$$

A partir de las dos curvas anteriormente determinadas, tensión de vacío y corriente de cortocircuitado, para un valor dado de la intensidad de excitación, se puede determinar la variación de la impedancia síncrona, por fase, del alternador.

Si se repite esta medida con un número suficiente de los valores de I<sub>ex</sub> hallados anteriormente se obtendrá una curva como la representada en la fig. 56 como:

<sup>60</sup> S. Autor (S. Fecha). Recuperado. <http://www.tesis.ipn.mx>

$$Z_{af}^2 = R_f^2 + X_{si}^2$$

Se puede determinar, asimismo, el valor de la reactancia sincrónica, si se conoce el valor de la resistencia  $R_f$  pues:

$$X_{si} = \sqrt{Z_{si}^2 - R_o^2}$$

De la figura 56 se deduce que la reactancia disminuye cuando se aumenta la corriente de excitación; éste es un efecto de saturación magnética.

Para el cálculo de la impedancia síncrona, así como el de la reactancia síncrona, se realizará un cuadro como el de la página siguiente<sup>61</sup>:

TABLA N° 19: Datos de corriente de corto circuito.

<b>I<sub>ex</sub></b>	<b>E'₀</b>	<b>I<sub>cc</sub></b>	<b><math>Z_2 = \frac{E'}{I_{cc}}</math></b>	<b><math>X = \sqrt{Z_a^2 + R^2}</math></b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>61</sup> S. Autor (S. Fecha). Recuperado. <http://www.scribd.com>

Se tomará como  $R_f$  el valor de la resistencia determinada en caliente (ver fig.56)

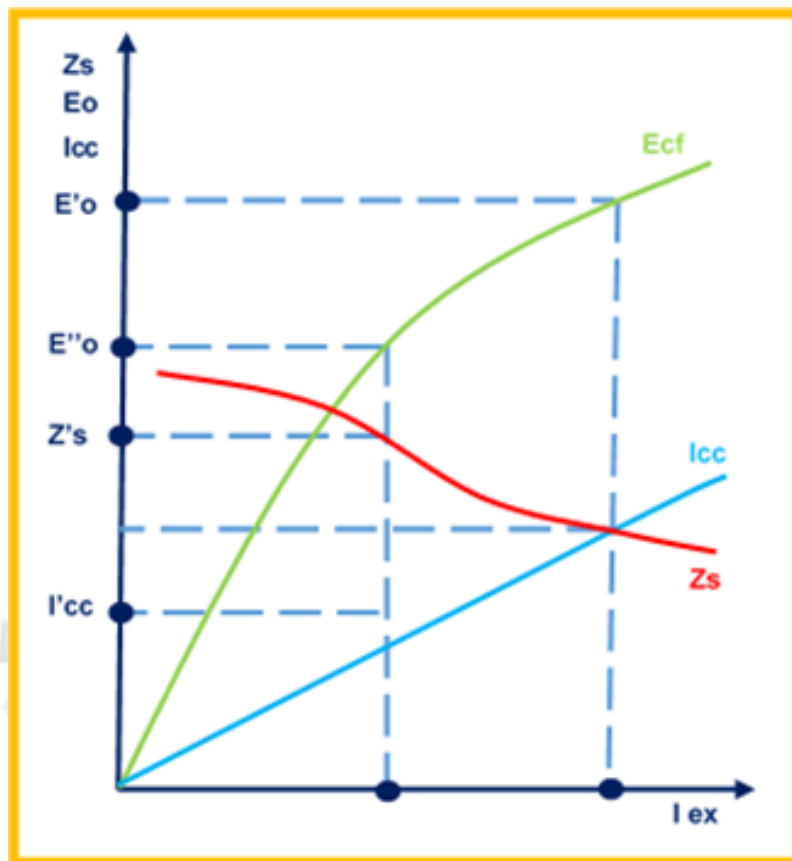


Figura N° 56: Curva Característica de los ensayos de vacío y cortocircuito<sup>62</sup>.

Fuente: Elaboración propia.

<sup>62</sup> Lazo Carlos. Prueba de vacío y cortocircuito. <https://es.scribd.com/document/333144607/PRUEBA-DE-VACIO-Y-CORTOCIRCUITO-pdf>

#### 4.5. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 3

### ENSAYO DE CARGA CON TENSIÓN CONSTANTE DEL ALTERNADOR TRIFÁSICO

#### OBJETIVO DE LA PRÁCTICA

Obtención de las características de regulación de la tensión (con tensión constante) de la máquina síncrona. Estas características permiten determinar la variación que ha de tener la corriente de excitación ( $I_{ex}$ -carga - $I_{ex}$ -vacío) para mantener la tensión de línea constante cualquiera que sea la carga y el factor de potencia<sup>63</sup>.

#### INTRODUCCIÓN

Esta curva es obtenida mediante la variación de la carga (corriente suministrada)  $I$ , y variaciones de la corriente de excitación,  $I_{ex}$ , para mantener constante la tensión en terminales de alternador; la velocidad y el factor de potencia también deben ser constantes<sup>64</sup>. Normalmente se ensaya con tres tipos carga (FP=1.0, FP=0.8 en atraso y FP=0.8 en adelanto).

---

<sup>63</sup> GÓZAR P, Christian E. (2013). Tesis.pucp.edu.pe

<sup>64</sup> S. Autor (S. Fecha). Recuperado. <http://www.scribd.com>

## **MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR**

- Amperímetro.
- Voltímetro.
- Frecuencímetro de 45-50-55 Hz.
- Tacómetro de 0-2.000 r.p.m.
- Cosfímetro (optativo)
- Carga resistiva trifásica, regulable.
- Carga capacitiva trifásica, regulable.
- Carga inductiva trifásica, regulable.
- Alternador trifásico
- Fuente de corriente continua regulable para alimentar al motor.
- Fuente de corriente continua regulable para alimentar las excitaciones de motor y alternador
- En caso necesario, dos vatímetros de factor de potencia “acortado”.

## **PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA**

Trazado de las Curvas Características en Carga.

Para la obtención de las distintas características en carga de un alternador de pequeña potencia se realizará un montaje tal como el indicado en la fig. 57.

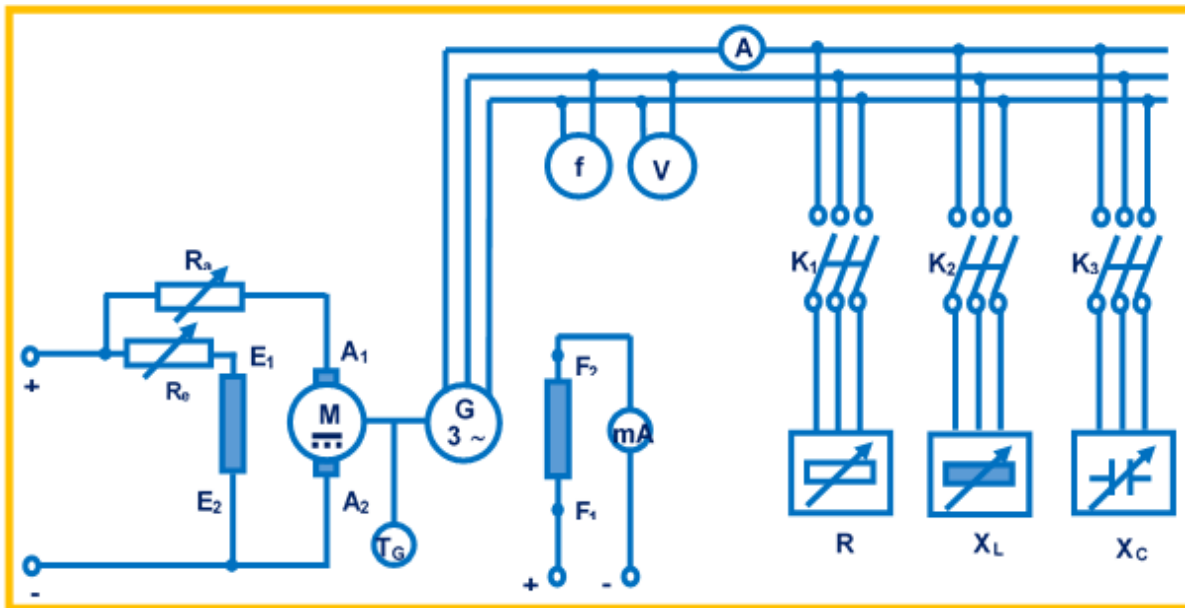


Figura N° 57: Montaje para el ensayo con carga.  
Fuente: Elaboración propia.

En este montaje R XL XC representan, respectivamente, cargas trifásicas regulables, resistivas, inductivas y capacitivas.

Como máquina motriz se utiliza un motor de corriente continua de velocidad regulable<sup>65</sup>. El circuito de excitación del alternador se alimenta mediante una fuente de corriente continua regulable, conectando un miliamperímetro para medir el valor de la intensidad de excitación.

Se puede conectar un solo amperímetro, siempre que haya seguridad de que la carga de las tres fases está equilibrada.

El valor del factor de potencia nos viene dado por la lectura directa del cosfímetro instalado, pero<sup>66</sup>, en caso de no poseer un aparato de este tipo, se puede averiguar, en cualquier momento, su valor, por medio de dos vatímetros monofásicos conectados en el

<sup>65</sup> Rojas F.-Amanzo V. (2015). Motor de corriente continua. Recuperado: <http://docslide.us/download/link/ensayo-laboratorio-de-maquinas-electricas-motores-dc>

<sup>66</sup> Flores Mauricio (2012). Corregidor del factor de potencia. Recuperado: <http://documents.mx/documents/factor-de-potencia-55b5151eae57d.html>

circuito, como puede verse en la fig. 58 (método de los dos vatímetros), al tratarse de un circuito perfectamente equilibrado se tendrá:

$$U = U_1 = U_2 = U_3^{67}$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

$$W = W_1 = W_2 = W_3$$

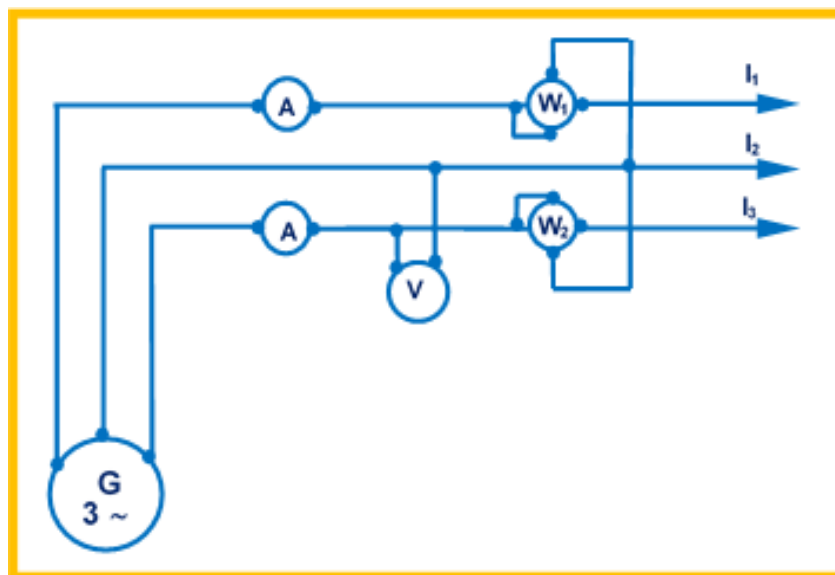


Figura N° 58: Método de los dos vatímetros.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que:

$$P_1 = VI \cos(30^\circ + \varphi) = \frac{2}{3} VI \cos\varphi - \frac{1}{2} \text{sen}\varphi$$

$$P_2 = VI \cos(30^\circ - \varphi) = \frac{2}{3} VI \cos\varphi + \frac{1}{2} \text{sen}\varphi$$

Sumando:

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} VI \cos\varphi$$

O bien:

$$\cos\varphi = \frac{P_1 + P_2}{\sqrt{3} VI}$$

<sup>67</sup>S. Autor (S. Fecha). Recuperado.

[http://www.somarconcursos.com.br/admin/\\_files/2012082202143977238300.pdf](http://www.somarconcursos.com.br/admin/_files/2012082202143977238300.pdf)

Características Regulación de Tensión (con Tensión Constante). Se obtiene mediante, este ensayo, como anteriormente se dijo, una familia de curvas de la corriente suministrada,  $I$ , en función de la corriente de excitación<sup>68</sup>,  $I_{ex}$  para una tensión en bornes de alternador constante, manteniendo, asimismo, constante los valores de la velocidad y del factor de potencia (ver en la fig.59). En dicha figura se observa tres curvas distintas: una para  $\cos \varphi = 1$ , otra para  $\cos \varphi = 0,8$  capacitivo y una tercera, para  $\cos \varphi = 0,8$ , inductivo. Y, como puede verse, se curvan e inclinan cada vez más hacia la derecha, con relación a la vertical, cuando los valores del factor de potencia inductivo son decrecientes, mientras que se inclinan hacia la izquierda para los valores de un factor una curva con un  $\cos \varphi = 1$  otra, con un  $\cos \varphi = 0,8$  inductivo y una tercera con un  $\cos \varphi = 0,8$  capacitivo. Raramente se trazan curvas con factor de potencia capacitivo, ya que, en este caso, es más cómodo hacer funcionar el alternador como motor síncrono sobreexcitado.

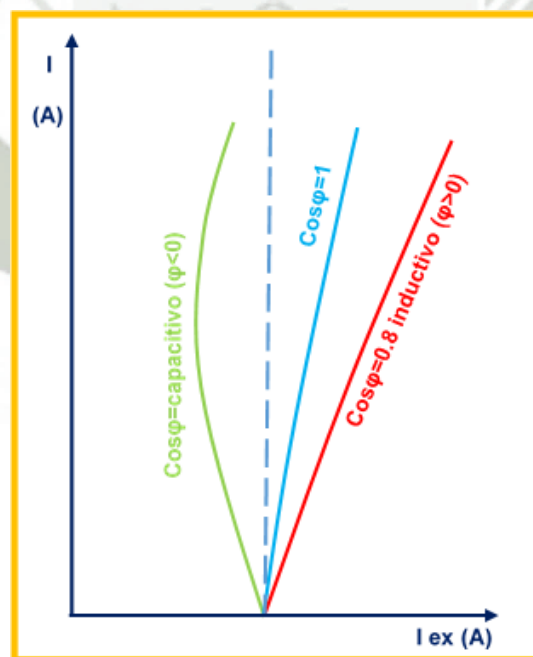


Figura N° 59: Curva Característica del ensayo con carga a tensión constante.  
Fuente: Elaboración propia.

<sup>68</sup> S. Autor (S. Fecha). Recuperado. <http://benedicto.ar.tripod.com/a%20Motores%20sincronicos.htm>

Trazado de la curva para  $\cos\varphi = 1$ . Estando el alternador en vacío se actúa sobre la excitación para llevar la tensión  $U$  a su valor nominal, anotándose el valor de  $I_{ex}$ . A continuación se cierra el interruptor  $K$ , (carga resistiva) y se hace funcionar el alternador sobre dicha carga resistiva  $\cos\varphi = 1$ ; se regula de nuevo la excitación para mantener la tensión en su valor nominal<sup>69</sup>  $U$  (permaneciendo la velocidad constante) y se anotan los valores de  $I$  de  $I_{ex}$ . Se opera de esta forma, para valores crecientes de  $I$ , hasta que alcance su valor nominal. Durante todo el ensayo deberá permanecer constante la tensión (su valor nominal). El factor de potencia (igual a la unidad) y la velocidad (nominal)<sup>70</sup>. Los resultados así obtenidos se recogerán en un cuadro como el siguiente:

TABLA N° 20: Intensidad de Corriente para  $\cos\varphi = 1$

INTENSIDADES DE CORRIENTE [A]		
	Excitación	Inducido
1		
2		
3		
4		
5		

Fuente: Elaboración propia

**INDÍQUESE: VELOCIDAD ..... (r.p.m.) TENSION ..... (v)**

Trazado para un  $\cos\varphi = 0,8$ . Inductivo. Después de haber regulado la excitación, para la tensión nominal en vacío, se cierra el interruptor  $k_1$  (carga resistiva) y se regula la carga para hacer circular una intensidad de cualquier valor. Después se cierra en interruptor  $k_2$  (carga inductiva) y se lleva el factor de potencia el valor de 0,8 actuando sobre la carga inductiva regulable. Se manipula, entonces, sobre la excitación para llevar la tensión a su valor nominal,  $U$ , anotándose los correspondientes de  $I$  y de  $I_{ex}$ .

<sup>69</sup> Echaccaya G. (2012). Generador Síncrono. Recuperado: <https://es.scribd.com/doc/103691873/GENERADOR-SINCRONO>

<sup>70</sup> Chávez J. (2010). Transformador. Recuperado: <https://es.scribd.com/doc/232994873/boleto-t>

Como anteriormente, se trazan varios puntos para valores crecientes de la entrada manteniendo constantes la tensión, el factor de potencia (0,8 inductivo) y la velocidad.

Los valores así obtenidos se reflejan en un cuadro como el siguiente:

TABLA N° 21: Intensidad de Corriente para  $\text{Cos}\varphi = 0.8$  inductivo

INTENSIDADES DE CORRIENTE [A]		
	Excitación	Inducido
1		
2		
3		
4		
5		

Fuente: Elaboración propia

**INDÍQUESE:** VELOCIDAD .....(r.p.m.) TENSION ..... (v)

Trazado con un  $\text{cos}\varphi = 0,8$  capacitivo. Se procede como para el factor de potencia inductivo, pero dejando abierto el interruptor K2 (carga inductiva) y cerrando el K1 (carga resistiva) y el K3 (carga capacitiva). Los resultados así obtenidos se reflejarán en un cuadro como el siguiente:

TABLA N° 22: Intensidad de Corriente  $\text{Cos}\varphi = 0.8$  capacitivo

INTENSIDADES DE CORRIENTE [A]		
	Excitación	Inducido
1		
2		
3		
4		
5		

Fuente: Elaboración propia

**INDÍQUESE:** VELOCIDAD .....(r.p.m.) TENSION ..... (v)

#### **4.6. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 4**

### **ENSAYO DE CARGA O DE CARACTERÍSTICAS EXTERNAS CON EXITACIÓN CONSTANTE DEL GENERADOR TRIFÁSICO**

#### **OBJETIVO**

Obtención de las características externas o de carga (con corriente de excitación constante) de la máquina síncrona. Este ensayo permiten determinar la caída de tensión en terminales del alternador a variaciones de la carga y/o variaciones de factor de potencia.

#### **INTRODUCCIÓN**

Características externas o de carga (con excitación constante). Mediante este ensayo se pretende determinar las curvas de la tensión en bornes del alternador.  $U$ , como ya se dijo anteriormente, en función de la corriente alterna suministrada por él, con una intensidad de excitación constante y para una velocidad, frecuencia, y factor de potencia también constante<sup>71</sup>.

#### **MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR**

- Amperímetro.
- Voltímetro.
- Tacómetro de 0-2.000 r.p.m.
- Cosfímetro (optativo)
- Carga resistiva trifásica, regulable.
- Carga capacitiva trifásica, regulable.
- Carga inductiva trifásica, regulable.

---

<sup>71</sup> GÓZAR P, Christian E. (2013). Tesis.pucp.edu.pe.

- Alternador trifásico
- Fuente de corriente continua regulable para alimentar las excitaciones de motor y alternador
- En caso necesario, dos vatímetros de factor de potencia “acortado”.

## PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA

Las curvas así determinadas tienen las formas de las representadas en la fig. 60. Para su obtención se utiliza el mismo circuito que para el trazado de las características a tensión constante (fig.57). Como en el caso anterior, se puede obtener una familia de curvas, en función del factor de potencia<sup>72</sup>.

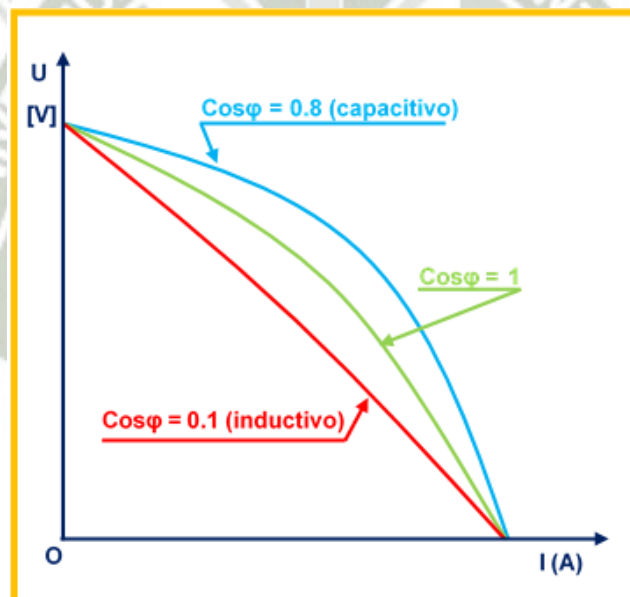


Figura N° 60: Curvas características del ensayo con carga.  
Fuente: Elaboración propia.

<sup>72</sup> Flores A. Mauricio. (2012). Corregidor del factor de potencia. <http://documents.mx/documents/factor-de-potencia-55b5151eae57d.html>

Trazado para  $\cos \phi = 1$  estando el alternador en vacío se regula la intensidad de excitación  $I_{ex}$  hasta obtener la tensión nominal,  $U$ , Se cierra entonces el interruptor K1 (carga resistiva) y se anotan los valores de la tensión y de la intensidad suministrada para los distintos valores de la carga, manteniendo constante la intensidad de excitación. la velocidad y el factor de potencia<sup>73</sup>. Los valores obtenidos se reflejan en un cuadro como el siguiente:

**TABLA N° 23: Intensidad de Corriente**

INTENSIDADES DE CORRIENTE [A]		
	Excitación	Inducido
1		
2		
3		
4		
5		

Fuente: Elaboración propia.

**INDÍQUESE: VELOCIDAD .....(r.p.m.) TENSION ..... (v)**

Trazado para  $\cos \phi = 0,8$  inductivo. Se procede como en el caso anterior, pero cerrando ahora los interruptores K1 (carga resistiva) y K2 (carga inductiva), y se regulan el factor de potencia para su valor de 0,8 manteniéndolo constante, para los distintos valores de la corriente suministrada mediante la adecuada regulación de la carga resistiva y de la inductiva. Se ha de mantener constante, asimismo, el valor de la intensidad de excitación y de la velocidad. Los valores así obtenidos se reflejan en un cuadro.

Trazado para un  $\cos \phi = 0,8$  capacitivo. Se procede como en el apartado anterior. pero dejando abierto el interruptor K2 (carga inductiva) y cerrando los interruptores K3

<sup>73</sup> Echaccaya G. (2012). Generador Síncrono. Recuperado: <https://es.scribd.com/doc/103691873/GENERADOR-SINCRONO>

(carga capacitiva) y K1 (carga resistiva). Con objeto de que, regulando convenientemente ambas cargas, se pueda fijar el valor del factor de potencia 0,8 capacitivo. Los resultados se llevarán a un cuadro.

Adviértase que para un  $\cos \varphi = 0,8$ , el  $\sin \varphi = 0,6$ ; luego, si se conecta una carga resistiva de valor R. el valor de la carga reactiva (inductiva o capacitiva) será  $X = (\frac{3}{4}) \cdot R$ . Estas curvas capacitivas prueban que la tensión en carga puede ser más elevada que la tensión de vacío, cuando funciona el alternador en un circuito capacitivo<sup>74</sup>.

Vigílese el caso de carga capacitiva para evitar una autoexcitación por reacción de inducido magnetizante. Para ello, no se deje nunca conectada la carga capacitiva sin estar en servicio la resistiva.

---

<sup>74</sup> S.A. (S.F). Recuperado: <https://repositorio.upct.es>

#### 4.7. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 5

### ENSAYO DE CARGA A FACTOR DE POTENCIA NULO Y CONSTANTE DEL GENERADOR TRIFÁSICO

#### OBJETIVO

Obtención de la curva característica de intensidad de carga y factor de potencia nulo y constante (tensión de salida en terminales en función de la corriente de excitación). Este ensayo permite el análisis no lineal de la máquina síncrona por el método de Potier.

#### INTRODUCCIÓN

Las características para la intensidad de carga constante es la curva o familia de curvas de la tensión en los bornes del alternador  $U$ , en función de la corriente de excitación  $I_{ex}$ , para una intensidad suministrada por el alternador, una frecuencia y un factor de potencia constante. Estas características son, prácticamente, la “característica en vacío” desplazándose: por debajo de ella, para corrientes desfasadas en retraso sobre la tensión y por encima de ella, para corrientes en adelanto, como puede observarse en la fig. 61.

#### MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR

- Amperímetro.
- Voltímetro.
- Tacómetro de 0-2.000 r.p.m.
- Cosfímetro (optativo)
- Carga resistiva trifásica, regulable.
- Carga capacitiva trifásica, regulable.

- Carga inductiva trifásica, regulable.
- Alternador trifásico
- Fuentes de corriente continua regulable para alimentar al motor y alternador.
- En caso necesario, dos vatímetros de factor de potencia “acortado”.

### PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA

Prácticamente sólo tiene objeto la característica llamada “devatiada”; es decir, la obtenida para un factor de potencia lo más cercano posible a 0 y desde luego, inferior a 0,1. con el mismo montaje de la fig.57 (de la Práctica N°3) se deja abierto el interruptor K1 (carga resistiva), se cierra el K2 (carga inductiva), permaneciendo abierto, asimismo, el K3 (carga capacitiva) y se hace funcionar el alternador para un valor de la intensidad suministrada constante, aumentado progresivamente, el valor de la intensidad de excitación y por tanto, la tensión en bornes del alternador, mientras se regula la carga para mantener constante el factor de potencia y la intensidad suministrada.

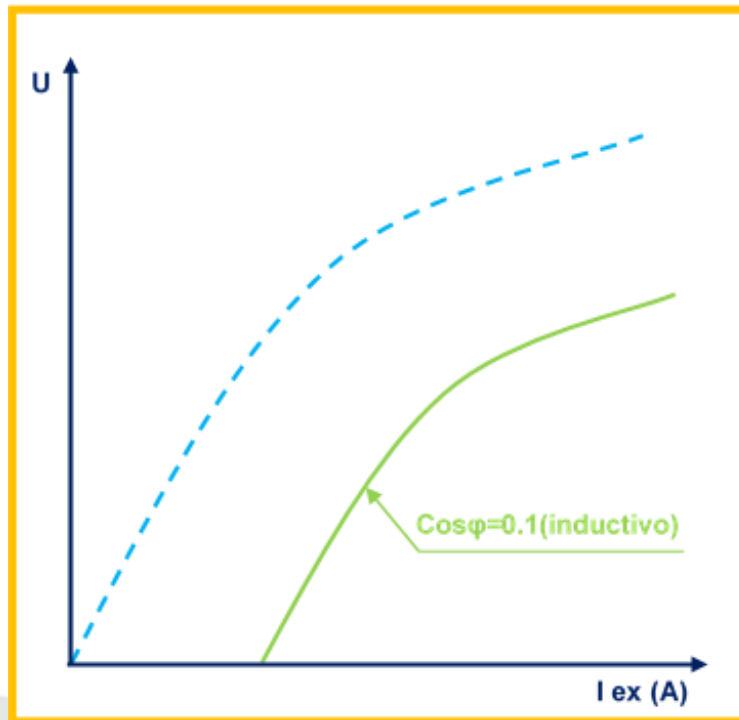


Figura N° 61: Familia de curvas características a tensión constante.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que, normalmente, los cosfímetros no registran valores tan pequeños del factor de potencia, será preciso intercalar en el circuito dos vatímetros de factor de potencia acortado (conectados según el método del doble vatímetro) para que, mediante su lectura, se pueda determinar el valor de  $\cos \phi$ .

TABLA N° 24: Curva de carga con factor de potencia nula

Voltímetro amperímetro		Velocidad
Volt	Amp	rpm

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 6

### SINCRONIZACION Y REPARTO DE CARGAS DE GENERADOR EN PARALELO

#### OBJETIVO

Conseguir la familiarización con la maniobra de sincronización de dos alternadores entre sí o a la red. Control de la entrega de potencia activa e reactiva, métodos prácticos de sincronización de alternadores. Determinación de la corriente de sincronización.

#### INTRODUCCIÓN

El funcionamiento en paralelo de alternadores no es el mismo en cuanto al reparto de la carga que para el caso del funcionamiento en paralelo de generadores de corriente continua.

Así, cuando dos generadores de corriente continua están acoplados en paralelo en una red de carga constante, si se aumenta la excitación de uno de ellos y se disminuye la del otro resulta un aumento de la potencia suministrada por la primer máquina, con lo que el par motor de la máquina que la nueve debe aumentar, pues de no ser así originaría una caída de velocidad, Pero cuando se trata de alternadores no ocurre lo mismo, porque en éstos al aumentar la excitación aumenta la fuerza electromotriz, pero generalmente no la potencia.

Se origina nada más que una caída de velocidad instantánea (desplazamiento del ángulo polar) porque el alternador es, necesariamente, arrastrado a la velocidad de sincronismo por los otros alternadores, a los que está acoplado lo que trae consigo una velocidad constante y por tanto, la no intervención del regulador para abrir la admisión

de la máquina motriz, supuesta una turbina o un motor térmico, con lo que la potencia absorbida por el alternador permanece constante.

Ahora bien, la variación de la excitación modificada, en cambio, otras características del funcionamiento.

Se puede establecer que:

**Primero:** Como todos los alternadores giran, necesariamente, a la velocidad de sincronismo, una variación en la intensidad de excitación no origina variación alguna en la velocidad de la máquina motriz. Además, la potencia activa suministrada no puede variar, al no variar la recibida de la máquina motriz.

**Segundo:** A la variación en la intensidad de excitación corresponde una variación de la potencia reactiva. Además cuando mayor sea la excitación tanto mayor será el grado de estabilidad del alternador.

### **Condiciones de Sincronización**

La sincronización de dos alternadores entre sí, o bien de un alternador y de una red trifásica de distribución, se podrá realizar como sigue:

Supóngase que se posee una línea de corriente alterna trifásica (alimentada por uno o varios alternadores), al que se desea acoplar el alternador objeto de esta práctica.

El montaje a efectuar será el que se indica en la figura 62.

La maniobra debe satisfacer dos condiciones; que no lleve consigo perturbaciones en el funcionamiento de la instalación y que se haga sin peligro de deterioro en los aparatos y máquinas. Por estas razones la maniobra debe cumplir las siguientes condiciones:

- a. El valor eficaz de la f.e.m., desarrollada por el alternador a acoplar, tiene que ser igual a la atención en barras de la línea.
- b. La frecuencia de la f.e.m., desarrollada por el nuevo alternador, tiene que ser igual a la frecuencia de la tensión en la línea.
- c. La secuencia o sucesión de fases del alternador debe ser las mismas que la de la red a la que se va acoplar.

Que exista correspondencia entre los terminales del alternador a acoplar y los de la red o alternador al que se acople. Esta condición es una consecuencia inmediata de las condiciones mencionadas.

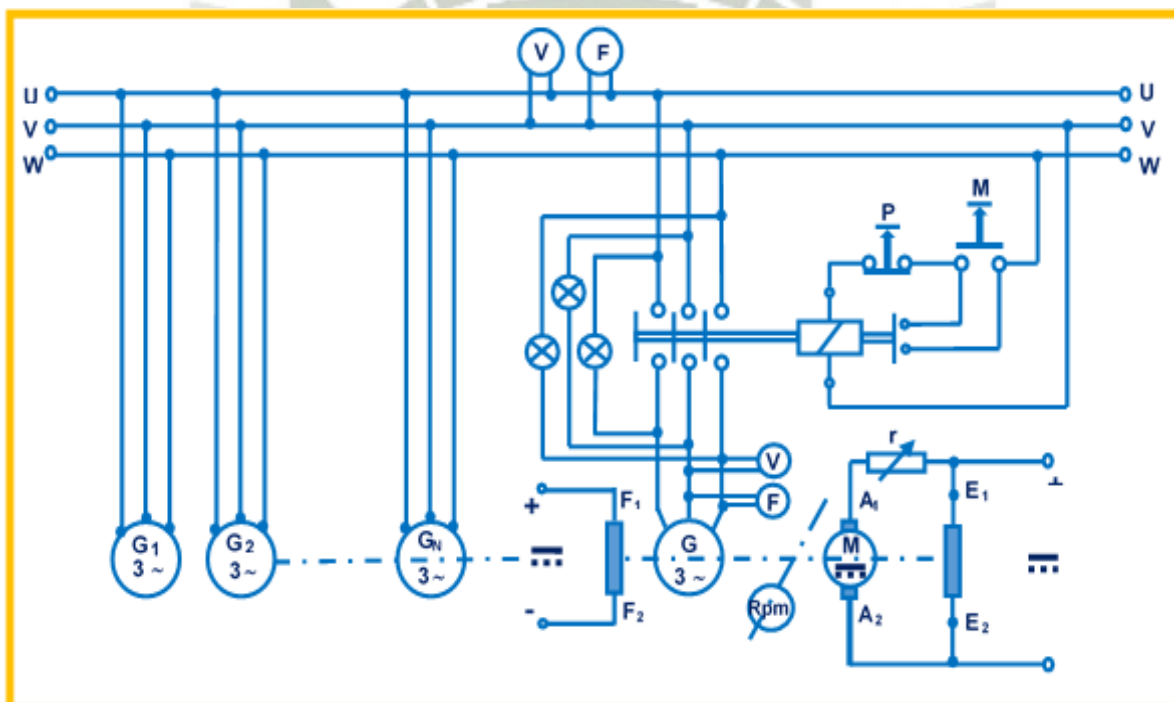


Figura N° 62: Montaje para el ensayo de sincronización.

Fuente: Elaboración propia.

## MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR

- Un motor síncrono de 5kw de potencia.
- Un reóstato de campo.

- Un alternador trifásico de 5 kw.
- Una fuente de corriente continua regulable de 0-250 V y 0-5 ó 0-25 A.  
según los casos.
- Dos voltímetros, para corriente alterna, de 0-250-400 V.
- Un voltímetro de 0-3000 V (voltímetro de cero)
- Tres lámparas de incandescencia de baja potencia o un sincronoscopio de extinción.
- Un contactor trifásico.

### PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA.

Una vez efectuado el montaje de la figura 1 se puede proceder como sigue:

**Primera condición:** Se pone en marcha el alternador que se va acoplar a la red, por medio de una máquina motriz (en el caso presente, una máquina corriente continua), y se regula su velocidad nominal para llevarlo a la velocidad nominal del alternador. Seguidamente se excita el alternador, para conseguir que su tensión, medida en el voltímetro V1' sea idéntica al de la línea, medida en el voltímetro V2.

**Segunda condición:** Se regula, más finamente aún la velocidad de la máquina motriz para que el frecuencímetro instalado en el alternador de la misma lectura que el instalado en la red. Como al variar la velocidad del rotor del alternador se varía no sólo la frecuencia de la f.e.m. inducida, sino también su valor eficaz, se debe proceder a realizar un nuevo ajuste en la intensidad de excitación, con objeto de que se siga verificando la primera condición.

**Tercera condición:** Consiste en acoplar el alternador en el momento en que, satisfecha ya las dos condiciones anteriores, la tensión en sus bornes, está en fase con la de la línea.

Realmente (antes de cerrar el interruptor de acoplamiento), si el ajuste de la frecuencia se hubiese hecho exactamente, se tendría que el desfase que pudiera existir, en el momento de conseguirlo, entre ambas tensiones perduraría siempre.

Pero, en la práctica ocurre (teniendo en cuenta la poca precisión de los frecuencímetros), que aquella exactitud nunca se consigue rigurosamente. Por otra parte, si por casualidad la coincidencia de las frecuencias se hubiese realizado exactamente, siempre podría romperse, variando ligeramente la velocidad de la máquina motriz.

Suponiendo que las frecuencias se han igualado, aunque sólo con la aproximación que permite la medida de los dos frecuencímetros.

Puede existir entre ambas una ligera diferencia, con lo que el desfase entre las dos tensiones no es constante, sino que varía cíclicamente con el tiempo (entre 0 y  $360^\circ$ ), siendo esta variación tanto más rápida cuanto mayor sea la diferencia entre las dos frecuencias.

En la figura 63 se pone claramente de manifiesto lo que se acaba de decir.

En ella se ven las curvas representativas de las dos tensiones  $V_1$  y  $V_2$  en el alternador y en la línea, respectivamente.

En la parte inferior de la misma figura se ha representado la resultante de ambas, cuya amplitud varía desde 0, cuando aquellas tensiones están en oposición de fase, hasta un máximo igual al doble de la amplitud de ellas, cuando están en fase, de tal manera que,

considerando la envolvente de los puntos representativos de las amplitudes de la oscilación resulta una senoide de período:

$$T = \frac{1}{f_1 + f_2}$$

Siendo  $f_1$  y  $f_2$  las frecuencias de las tensiones  $V_1$  y  $V_2$  respectivamente.

De donde se deduce que la variación de las fases entre dos tensiones será tanto más lenta cuando más próximas sean entre sí las frecuencias.

Pues bien, entendido esto, cuando en esta variación cíclica de las fases están las frecuencias en concordancia será el momento en que se debe cerrar el interruptor de maniobra para acoplar el alternador a la línea.

Para determinar dicho momento se emplean unos aparatos llamados sincronoscopio, de los cuales, el más sencillo es el sincronoscopio de lámpara, constituido por tres lámparas de incandescencia (realmente sólo serían necesarias dos lámparas), de tensión doble a la de la red, ya que el máximo de tensión que va a recibir coincidirá con el doble de la amplitud de las señaladas, al poner éstas en oposición.

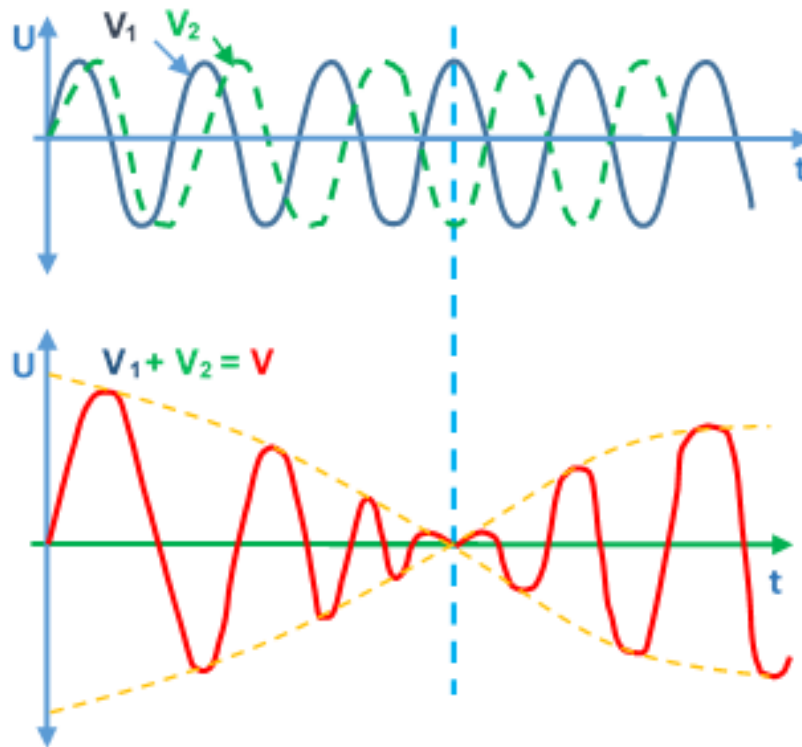


Figura N° 63: Desfase entre dos tensiones.

Fuente: Elaboración propia.

Estas lámparas están conectadas, como se indica en la figura 64, entre los contactos del interruptor de maniobra.

Si las lámparas permanecen encendidas con el mismo brillo indica que existe una gran desigualdad entre las dos frecuencias. Por tanto, se retocará la velocidad de la máquina motriz del alternador a acoplar, con lo cual las tres lámparas oscilarán con una velocidad tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia entre las frecuencias.

Se procurará (maniobrando sobre la velocidad de la máquina motriz) que estas oscilaciones sean lo más lentas posibles, con lo que se podrá apreciar, fácilmente, el momento en el que se apagan, en cuyo instante se cerrará el interruptor de maniobra, enganchándose así el alternador a la línea, a cuya frecuencia se subordinará ya su velocidad.

El sincronoscopio de lámpara que se ha considerado, y que se llama también sincronoscopio de excitación presenta el inconveniente de que el filamento de las lámparas deja brillar aun cuando exista todavía tensión en las lámparas el momento de la extinción de la luz no se corresponde exactamente con el de tensión nula, efectuándose, por tanto, la maniobra de acoplamiento cuando las dos tensiones, tal vez, no están debidamente en fase.

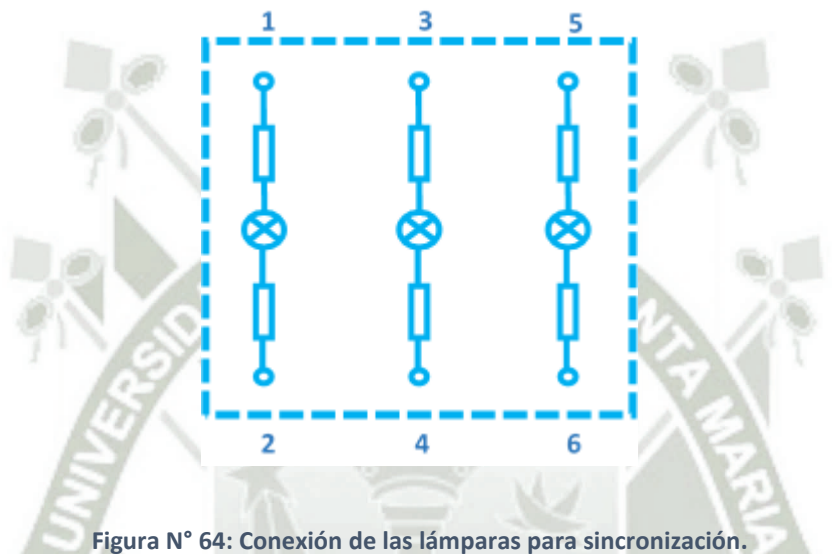


Figura N° 64: Conexión de las lámparas para sincronización.

Fuente: Elaboración propia.

Para evitar tal inconveniente se suele colocar en paralelo, con una de las lámparas, un voltímetro (llamado voltímetro de cero), cuya lectura (al pasar por cero) indicará realmente cuál debe de ser el instante en el que debe realizarse el acoplamiento.

**Cuarta condición:** En esta condición viene implícita en las tres anteriores, ya que si el orden de sucesión de las fases no fuera correcto siempre quedaría una lámpara encendida en el sincronoscopio. No se deberá realizar la maniobra de acoplamiento hasta tanto no se apaguen las tres lámparas simultáneamente.

Este error en la secuencia de fases se puede corregir, rápidamente, sin más que intercambiar, entre sí, dos de las conexiones del alternador.

#### **4.9. PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 7**

### **ENSAYO DE UN MOTOR SINCRONO Y DETERMINACIÓN DE LAS “CURVAS EN V”**

#### **OBJETIVO**

Determinar los métodos de arranque del motor síncrono, obtención de las curvas características en V, corrección del factor de potencia de la red. Funcionamiento del Compensador síncrono.

#### **INTRODUCCIÓN**

Estos motores están excitados con corriente continua y su empleo está limitado por la imposibilidad de variar su velocidad (que, por otra parte, en algunos casos, es una ventaja) y por sus dificultades de arranque. Estos motores, generalmente, no arrancan por si solos, a no ser que estén provistos de un rotor, en jaula de ardilla, con lo que arrancaría como asíncronos, y cuando están próximos a su velocidad de sincronismo se les excita convenientemente para que alcancen dicha velocidad de sincronismo.

Por otra parte, son de mayor coste, comparados con los motores asíncronos de jaula de ardilla. Otro inconveniente es la posibilidad de “péndulo”, producido por alguna acción en la carga externa, ocasionando, a veces, el desacoplamiento del motor de la red.

Pese a todos estos inconvenientes, presentan una ventaja fundamental: su posibilidad de absorber corriente de red con un desfase inductivo o capacitivo, según sea el valor de su intensidad de excitación. Este desfase se determinará en la presente práctica, para las distintas cargas del motor, mediante la obtención de las llamadas “curvas en V”.

Su funcionamiento normal como condensadores síncronos se obtiene haciéndoles funcionar en vacío y sobreexcitados. Inversamente pueden absorber corriente reactiva inductiva al estar subexcitados.

### **Condiciones de Arranque.**

Para arrancar un motor síncrono hay que llevar el rotor a la velocidad de sincronismo, para después acoplarse a la red. Para efectuar este acoplamiento se procede como si, en realidad, lo que se tratara de realizar fuese el acoplamiento de un alternador a la red. Por tanto, se hace trabajar al motor síncrono como alternador y se procede a su acoplamiento con la red para lo que se precisó satisfacer las condiciones siguientes:

- Que las dos tensiones sean iguales.
- Que las dos frecuencias sean iguales.
- Que estén en concordancia de fases.
- Que exista sincronismo entre las fases.

Una vez satisfecha las condiciones anteriores se procede a su acoplamiento cerrando el interruptor de maniobra.

Si en estas condiciones (funcionando la máquina como alternador) se procede a desacoplar su máquina motriz, automáticamente dejará la máquina de funcionar como alternador para pasar a funcionar como motor síncrono.

Para proceder al arranque del motor síncrono se efectuará el montaje de la fig. 65 y conforme a lo anteriormente expuesto se ejecutarán las siguientes maniobras:

**Primero:** Mediante el motor de corriente continua se hace girar el alternador hasta que su rotor alcance una velocidad próxima a la de sincronismo (véase práctica N<sup>o</sup>.6).

**Segundo:** Se excitará el alternador para que genere una f.e.m. idéntica a la de la línea.

**Tercero:** Regulando la velocidad del motor se ajustará la velocidad del alternador para obtener una excitación prolongada en el sincronoscopio de lámpara, momento en el que, se cerrará el contactor de acoplamiento.

**Cuarto:** Una vez acoplado se abre el conmutador de alimentación del motor, con lo que el alternador pasa a funcionar como motor síncrono en vacío (realmente está moviendo a las máquinas, que ahora funcionará como dínamo en vacío). Para poner en carga al motor síncrono se cerrará el conmutador H de la dínamo sobre un reóstato de carga y variando el valor de la resistencia de éste conseguirá aumentar, progresivamente, la carga del motor síncrono. El reóstato deberá tener, en un principio, la máxima resistencias, y para más seguridad conviene que la intensidad de la corriente de excitación de la máquina tenga un valor mínimo. Recuérdese que cuando vaya a trabajar como motor deberá, por el contrario tener una suficiente excitación.

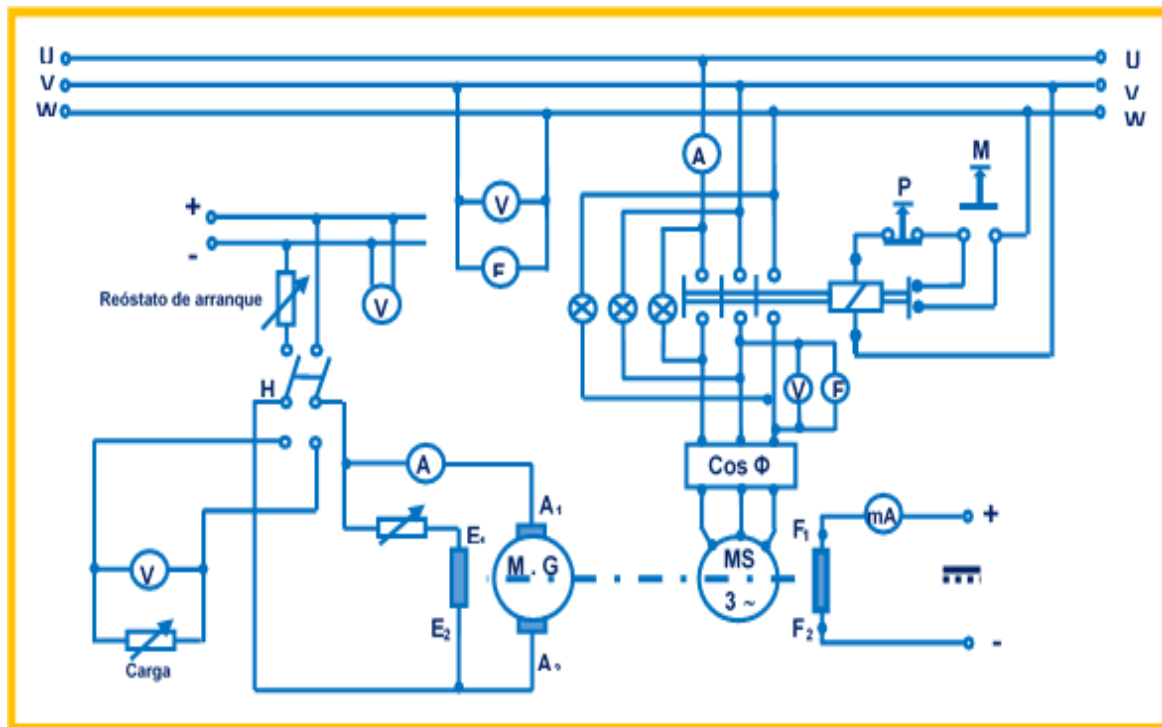


Figura N° 65: Montaje para el ensayo de curvas características.

Fuente: Elaboración propia.

**Quinto:** Para parar el motor se suprimirá, primeramente, la carga, para que funcione en vacío, abriendo, después, el interruptor de red.

#### Determinación de las Curvas en V.

Las curvas en V de un motor síncrono alimentado a tensión constante y frecuencia también constante, refleja la variación de la intensidad de corriente absorbida en función de la intensidad de excitación, para una potencia suministrada por el motor constante.

Es posible obtener toda la familia de curvas sin más que realizar distintos ensayos, para las distintas potencias suministradas.

Es fácil trabajar un motor síncrono, a potencia suministrada constante, mediante la utilización como carga en su eje una dínamo. En efecto, como el motor síncrono gira a una velocidad constante, también la velocidad de la dínamo será constante. Si se consigue

que la potencia suministrada por la dínamo sea constante, la potencia suministrada por el motor síncrono también lo será.

En el montaje de la fig. 65 se puede reemplazar el cosfímetro (caso de no poseerlo) por dos vatímetros, conectándose según el procedimiento del doble vatímetro, para, de esta forma, ver la variación del factor de potencia de la máquina en función de la corriente absorbida.

### **MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR**

- Un motor síncrono (alternador), de 5 kw.
- Tres lámparas de fase.
- Dos voltímetros de  $-0-250-400V$ .
- Un cosfímetro (en su defecto dos vatímetros monofásicos) de  $0-520-400V$  y  $0-2-5 A$ .
- Un amperímetro de  $-05 A$ .
- Un miliamperímetro de  $0-500 -1.000mA$ .
- Una resistencia de carga regulable.
- Un contactor.
- Interruptor de dos posiciones.

### **PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA**

Motor trabajando en vacío. Con el montaje de la fig. 65, y teniendo el motor de carga funcionando en vacío, se procederá a variar la corriente de excitación con lo que se obtendrá una variación de la corriente absorbida de la red. La variación de la excitación se realizará, primeramente, disminuyéndola para que el motor trabaje subexcitado;

después se procederá, paulatinamente, a elevarla hasta conseguir que el motor síncrono trabaje sobreexcitado.

Cuando la corriente de excitación es débil, la corriente absorbida de la línea está desfasada en retraso con respecto a la tensión, mientras que la línea está retrasada con respecto a la tensión del alternador, si la corriente de excitación es intensa. En este caso, el motor síncrono esta funcionando como condensador síncrono, compensado por tanto, el factor de potencia de la línea.

En el primer caso (subexcitación), el motor se comporta como una reactancia, absorbiendo energía reactiva, mientras que, en el segundo, cede energía reactiva.

Los valores así obtenidos se registrarán en un cuadro como el siguiente:

**TABLA N° 25: Corriente de Excitación y Absorbida**

Puntos	I excitación A	I absorbida A
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Fuente: Elaboración propia.

Motor trabajando a  $1/4$  de su potencial nominal. Se procede a continuación, a cerrar el interruptor del motor sobre la resistencia de carga, y se varía ésta de forma que la potencia suministrada por la máquina síncrona sea  $1/4$  de su potencia nominal y se procede, seguidamente, como en el caso anterior.

Los resultados así obtenidos se reflejan en un cuadro como el caso anterior.

Motor trabajando a  $1/2$  de su potencia nominal. Se procede como en el caso de  $1/4$  de carga, pero regulando antes la carga de la dínamo hasta conseguir que el motor síncrono suministre la mitad de su potencia nominal. Los resultados obtenidos se reflejan en un cuadro como el caso de vacío.

Motor trabajando a su potencia nominal. Se regula la carga de la dínamo para conseguir que el motor suministre una potencia igual a la nominal, y se procede como en los ensayos anteriores, reflejando los resultados así obtenidos en un cuadro como el del caso de vacío.

Con los resultados obtenidos anteriormente para las distintas potencias se construye las respectivas gráficas, cuya forma será aproximadamente la que se indica en la fig. 66. En dicha figura podemos observar que:

Las curvas son tanto más puntiagudas cuando más pequeña es la potencia mecánica suministrada por el motor.

Los puntos de mínima intensidad de corriente absorbida se aproximan al eje de ordenadas cuando el motor cede una potencia pequeña. Esto es lógico, ya que la reacción del inducido es más pequeña. Y por lo tanto, hace faltar menor intensidad de excitación para compensarla.

El margen de variación de la excitación del motor, sin que se desacople, es tanto mayor cuanto menor es su carga. Por, esto, para mejorar el factor de potencia de las grandes instalaciones eléctricas se tiende a hacer funcionar estos motores síncronos en vacío.

La curva de trazos que une distintas potencias, es decir, los puntos correspondientes a la intensidad mínima para una carga determinada, se llama de factor “de potencia unidad”, lo que permite deducir las corrientes de excitación necesarias en diferentes cargas para mantener el factor de potencia igual a la unidad.

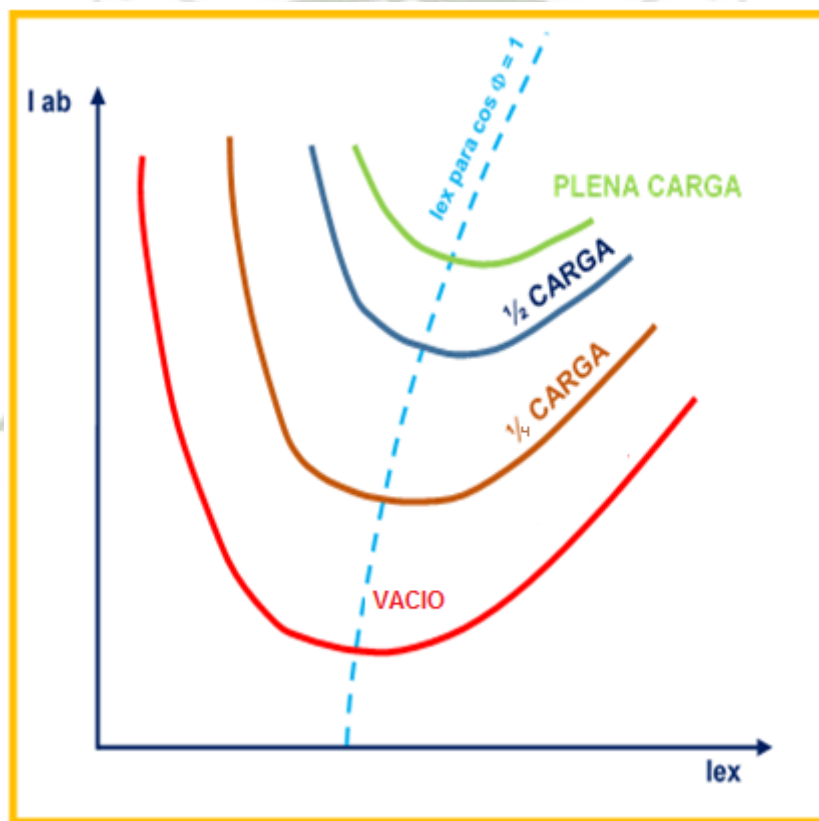


Figura N° 66: Curvas en “V”

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

### CONCLUSIONES

1. En el caso del motor síncrono por contar con el inconveniente en el arranque se debe utilizar un dispositivo adicional hasta que el rotor llegue a la velocidad de sincronismo y progresivamente incrementar corriente de excitación.
2. En el caso de generador, se acciona el rotor de la máquina síncrona mientras que se alimenta el devanado del rotor con corriente continua. El entrehierro variable en caso de rotor de polos salientes contribuyen a crear un campo más o menos senoidal en el entrehierro.
3. Las máquinas síncronas son más usadas como generadores de corriente alterna ya que no presentan par de arranque y se emplean varios métodos de aceleración y arranque hasta la velocidad de sincronismo así también se usan para el control de la potencia reactiva de la red, manteniendo la potencia activa constante se puede variar la potencia reactiva que entra a la red.
4. Para mejorar o corregir el factor de potencia y se realiza mediante la conexión a través de conmutadores, en general automáticos, de bancos de condensadores o de inductores. En determinadas ocasiones pueden instalarse motores síncronos con los que se puede inyectar potencia capacitiva o reactiva con tan solo variar la corriente de excitación del motor.

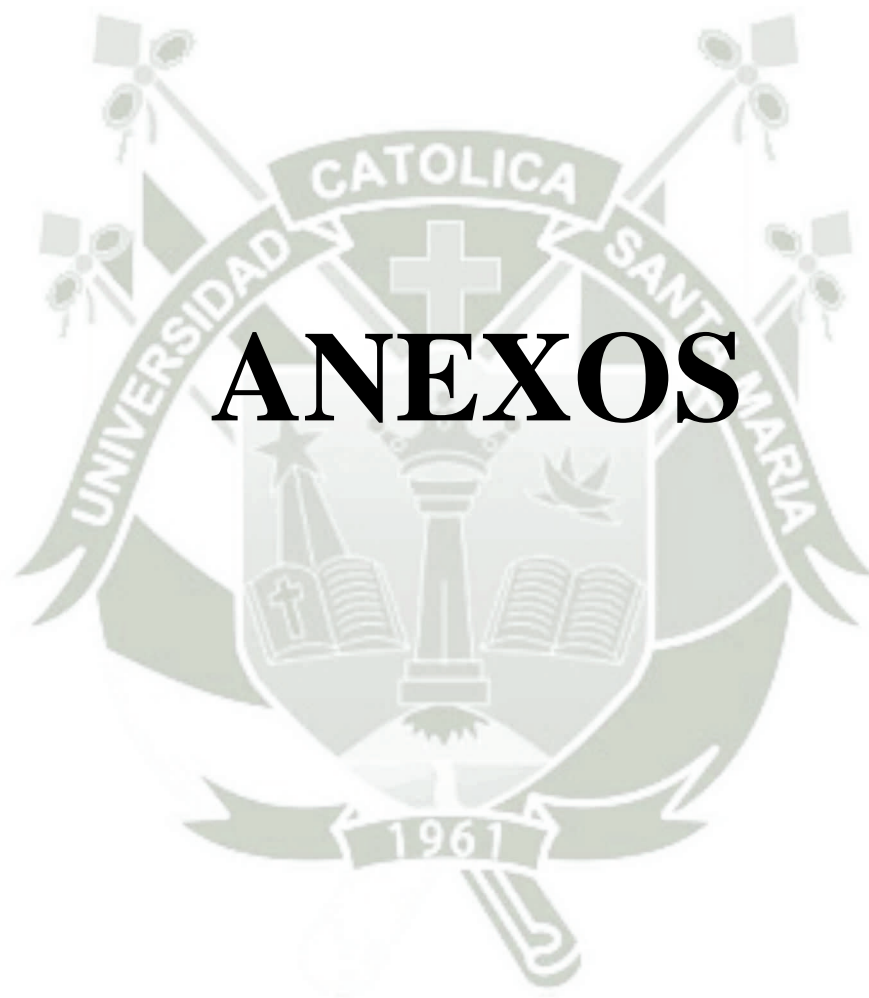
## OBSERVACIONES

1. Para el arranque correcto del motor síncrono se hizo como motor jaula de ardilla debido a que no se cuenta con un mecanismo de arranque extra para lo cual se cortocircuitó la entrada de c.c. al rotor por tres segundos antes de inyectarle c.c.
2. Para éstas pruebas hay que tener cuidado en el momento de registrar valores, ya que la corriente y voltaje que se usa, puede causar accidentes por lo tanto hay que tener bastante cuidado al manipular éstas magnitudes.
3. Cuando el motor está en posición estrella a medida de que corriente de excitación aumentaba también variaba el factor de potencia hasta llegar a 1 y donde se dedujo que es netamente resistivo.
4. Considerar un buen alineamiento del motor – generador ya sea con el acople que tiene de eje a eje y con la base estructural que tiene debido a esto puede ocurrir un desgaste prematuro de los componentes, recalentamiento o falla de los mismos.
5. De acuerdo al sonido se pudo escuchar el momento en que el motor entra en sincronismo para ello se le aplicó el voltaje excitatriz al rotor en intervalos de tiempo adecuados.

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS

1. Bhag, S. Gurú. (2003). Máquinas eléctricas y transformadores. México, Mexico: Editorial Reverté.
2. Chapman, Stephen J. (2012). Máquinas eléctricas. México, Mexico: Editorial Mc Graw Hill.
3. Harper Enríquez, Gilberto. (2004). El libro practico de los generadores y transformadores y motores eléctricos. México, Mexico: Editorial Limunsa.
4. Irving L. Kosow. (2004). Máquinas eléctricas y transformadores. México, Mexico: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
5. Nasar, Syed A. (1997). Máquinas Eléctricas y Electromecánicas. México, Mexico: Editorial Limusa.
6. Wildi, Theodore. (2007). Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. México, Mexico: Editorial Pearson Educación.



# ANEXOS

## INTERRUPTOR AUTOMÁTICO O TERMOMAGNÉTICO



### eB Mini Interruptor automático

#### 1. Información general

- 1.1 Homologaciones: CE, SEMKO.
- 1.2 Especificaciones eléctricas: AC 50/60 Hz, 230V/1P, 400V/2,3P, 60 A.
- 1.3 Número de polos: 1, 2, 3P.
- 1.4 Curvas de disparo: C.
- 1.5 Tensión nominal soportada al impulso V: 5.000.
- 1.6 En conformidad con la norma IEC/EN 60898.




#### 2. Características

##### 2.1 Descripción técnica:

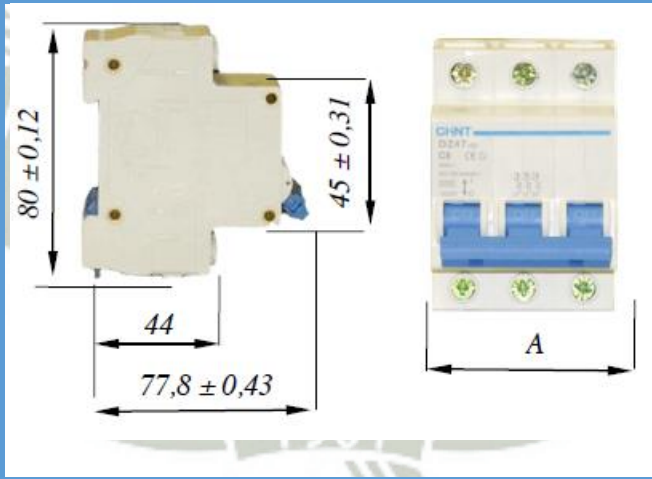
Interruptor termomagnético de 1, 2 y 3 Polos para corriente alterna. Para protección de circuitos eléctricos hasta 25 Amperios, con una tensión igual o menor a 400 Voltios.

##### 2.2 Descripción comercial:

Aparatos para seccionamiento, protección, conexión o empalme de circuitos eléctricos, trifásicos, tales como: bombas de agua, ventiladores, máquinas industriales, iluminación en general, transformadores. Se utiliza para protección de motores pequeños.

Modelo	eB / 1P	eB / 2P	eB / 3P
			
Corriente nominal (A)	1,3,6,10,16,20,25,32,40,50,63		
Tensión nominal (V)	400	400	400
Número de polos	1P	2P	3P
Curvas de disparo	C	C	C
Poder nominal de corto circuito (A)	4500	4500	4500
Vida útil (ciclos)	Vida eléctrica	4000	4000
	Vida mecánica	10000	10000

### 1. Dimensiones

	
Número de polos	A (mm)
1	18
2	36
3	54






### Nb1 Mini Interruptor automático

#### 1. Información general

- 1.1 Homologaciones: UL, KEMA, ASTA, CE, ESC, SEMKO, VDE, UKREST, PCT, RCC.
- 1.2 Especificaciones eléctricas: AC 50/60 Hz, 230V/400V, hasta 63 A.
- 1.3 Número de polos: 1, 2, 3P.
- 1.4 Curvas de disparo: C.
- 1.5 En conformidad con la norma IEC/EN 60898.
- 1.6 Limite de clasificación: 3

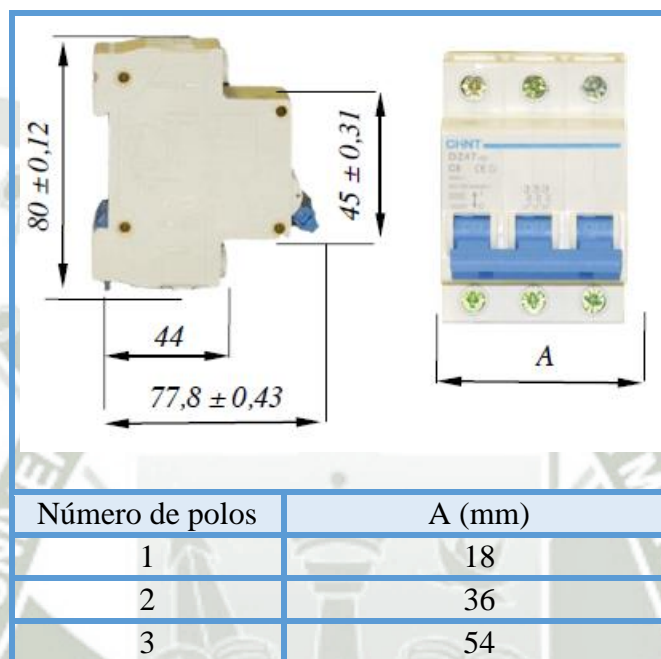
#### 2. Características

- 2.1 Elevado poder de corte, hasta 5 KA.
- 2.2 Conexiones para barras busbar o cables.
- 2.4 Larga vida útil debido al mecanismo de almacenamiento de energía.
- 2.5 Bloques auxiliares modulares aseguran instalaciones rápidas y fáciles.
- 2.3 Terminales especialmente diseñados que garantizan una operación segura.
- 2.6 Cajas funcionales fabricadas en plástico especial, resistente al calor y retardante de la llama, de alta resistencia al impacto.
- 2.7 Elevada capacidad de limitación de corriente, convirtiendo el NB1 un producto de calidad y bajo costo.

Modelo	eB / 1P	eB / 2P	eB / 3P
			
Corriente nominal (A)	1,3,6,10,16,20,25,32,40,50,63		
Tensión nominal (V)	480	480	480
Número de polos	1P	2P	3P

Curvas de disparo		C	C	C
Poder nominal de corto circuito (A)		5000	5000	5000
Vida útil (ciclos)	Vida eléctrica	4000	4000	4000
	Vida mecánica	20000	20000	20000


### 3. Dimensiones (mm)



### INTERRUPTORES NA/NC

#### Unidades de Control y Señalización Ø 22.5mm Metal

Actuadores de pulsadores con elemento portador y de contacto			
	Retorno de resorte de botón pulsador con 1 bloque NA	Blanco	RCB2-BA11
		Negro	RCB2-BA21
		Verde	RCB2-BA31
		Rojo	RCB2-BA41
		Amarillo	RCB2-BA51
		Azul	RCB2-BA61
	Pulsador con 1 bloque NC	Rojo	RCB2-BA42
	Proyección del botón principal con 1 bloque NA	Blanco	RCB2-BL11
		Negro	RCB2-BL21
		Verde	RCB2-BL31
		Amarillo	RCB2-BL51

		Azul	RCB2-BL61
	Proyección del botón pulsador con 1 bloque NC	Rojo	RCB2-BL42
	Botón de la cabeza 40mm manténgase puesto (presione para bloquear, gire a la liberación del 60mm) con el bloque 1 NC	Rojo	RCB2-BS542
		Rojo	RCB2-BS642

<http://www.promelsa.com.pe/pdf/1009178.pdf>

### TEMPORIZADOR ANALOGICO T48N



Modelo	Código sufijo	Información
		Timer analógico
Dimensión	T38N	T38N timer (40 x 50 mm)
	T48N	T48N timer (48 x 48 mm)
	T57N	T57N timer (58 x 84 mm)
	TF62N	TF62N timer gemelo (58 x 84 mm)
	TF62D	TF62D timer dual (40 x 50 mm)
Tipo de instalación	E	Tipo de exposición (Seleccione con el tipo de panel T48N)
	P	Tipo de panel (el adaptador de panel T48N se vende por separado)
Rango (Selección de Deep switch )	01	1 seg / 1 min / 1 hora
	03	3 seg / 3 min / 3 hora
	06	6 seg / 6 min / 6 hora
	10	10 seg / 10 min / 10 hora
	30	30 seg / 30 min / 30 hora
	60	60 seg / 60 min / 60 hora

	12 H		12 hora, 24 hora, 48 hora (* Pero excluir el modelo TF62N y TF62D)
<b>Salida de control</b>	A		Tiempo límite : 1c contacto, Instantáneo : 1a contacto
	B		Tiempo límite : 1c contacto, momento : 1c contacto
	C		Tiempo límite: 2 x 1c
	D		TF62N Código de fijación de dos temporizadores
	F		TF62D Código de fijación de doble temporizador
<b>Tensión de alimentación</b>			24 - 240 V AC / DC 50 - 60 Hz (doble uso)

## CONTACTORES



### Concepto

El contactor es un componente electromecánico de mando, encargado de conectar o interrumpir el paso de corriente en sus contactos, que se abren o cierran gracias al accionamiento de una bobina eléctrica.

Cuando esta bobina recibe la alimentación de la corriente eléctrica se comporta como un electroimán, lo cual hace que jale los contactos abriendo o cerrando los mismos.

Estos contactor funcionan como interruptores, y que pueden ser gobernados a distancia. Se puede decir que se encuentra en dos estados de funcionamiento, una estable o de reposo cuando la bobina no recibe acción alguna del circuito de mando, y la otra inestable, cuando actúa dicha acción.

Dentro de su simbología, se representa mediante un KM seguidas de números.



### ¿Qué es un Contactor?


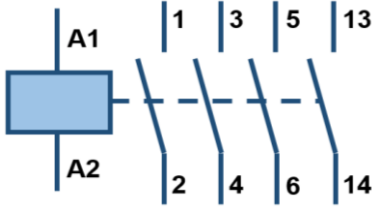
El contactor es un aparato eléctrico de mando a distancia, que puede cerrar o abrir circuitos, ya sea en vacío o en carga. Es la pieza clave del automatismo en el motor eléctrico.

Su principal aplicación es la de efectuar maniobras de apertura y cierre de circuitos relacionados con instalaciones de motores. Excepto los pequeños motores individuales, que son accionados manualmente o por relés, el resto de motores se accionan por contactores.

Un contactor está formado por una bobina y unos contactos, que pueden estar abiertos o cerrados, y que hacen de interruptores de apertura y cierre de la corriente en el circuito.

La bobina es un electroimán que acciona los contactos, abriendo los cerrados y cerrando los contactos abiertos. Cuando le deja de llegar corriente a la bobina los contactos vuelven a su estado de reposo.

Aquí vemos un contactor real y el símbolo que se utiliza para los circuitos:

CONTACTOR	SÍMBOLO
	

### Partes del Contactor

Podemos identificar tres partes principales.

#### 1) La Carcasa

Es la parte externa o soporte fabricado con material no conductor, a la carcasa se fijan todos los componentes conductores. La carcasa generalmente se divide en dos partes, la superior donde se encuentran los contactos que generalmente son abiertos representado como NO (Normal Open) que significa Normalmente Abierto.

#### 2) El electroimán

Es el elemento principal del contactor, se encarga de transformar la energía eléctrica en magnetismo, provocando mediante un movimiento mecánico la apertura o cierre de los contacto.

El electroimán está compuesto por los siguientes elementos: (Fig. 2)

a) **La bobina:** es un arrollamiento de alambre de cobre muy delgado con gran número de espiras, que al aplicársele electricidad genera un campo electromagnético y que vence

la resistencia del resorte de retorno y que atrae fuertemente la armadura móvil (martillo) y por consiguiente uniendo o separando los contactos.

- b) **El núcleo:** parte de material ferromagnético sólido, que va fijo en la carcasa y tiene una forma de “E”. Su función principal es concentrar y aumentar el flujo magnético que genera la bobina para atraer con más eficiencia la Armadura móvil.
- c) **Armadura:** es un elemento muy similar al núcleo, con la diferencia que la armadura es móvil y el núcleo es fija, y que es separada inicialmente por el resorte de retorno.

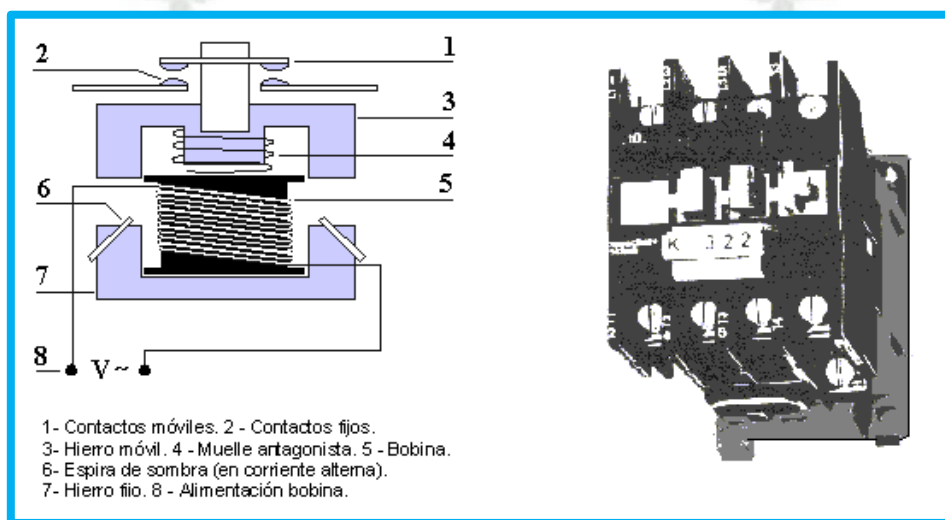
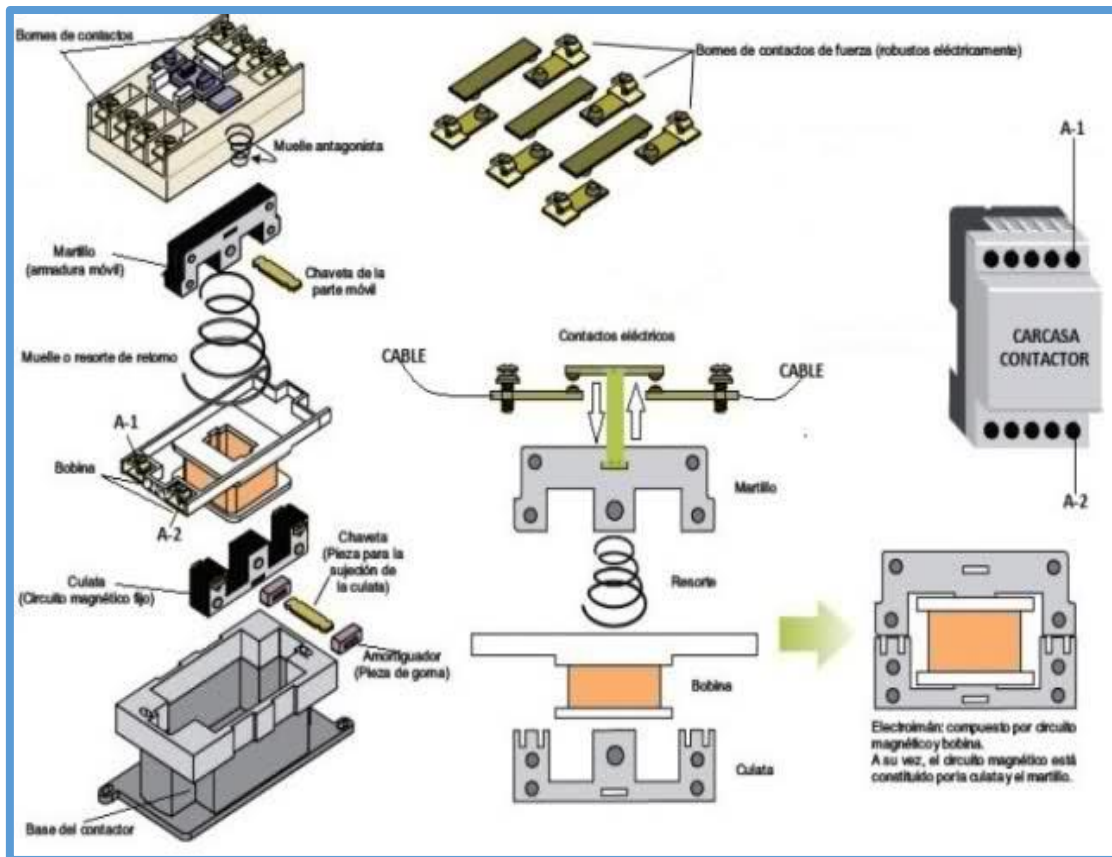


Fig.2 Electroimán del Contactor

### 3) Los Contactos

Son elementos conductores de material muy especial, resistentes a la corrosión y al sulfatado, tienen por finalidad, establecer o interrumpir el paso de la corriente cuando esté o no energizado la bobina.

Existen los **contactos fijos** que están unidos a la carcasa superior del contactor, y los otros contactos unidos a la armadura **móvil** y chocan o se separan según cuando se energice la bobina del contactor.



### Ventajas del Uso del Contactador

- Seguridad del personal dado que realiza las maniobras en lugares alejados del operador. El motor y el contactor pueden estar lejos del operador, solo es necesario que el operador este cerca del interruptor de arranque para accionar el motor, y como vimos esta parte trabaja a tensiones menores que las de fuerza (donde está el motor y/o el contactor).
- Imagina que tenemos el interruptor de arranque separado del motor 1Km y el contactor está sobre el propio motor o muy cerca de él. El circuito desde el interruptor hasta el motor es el circuito auxiliar, a poca tensión, con poca intensidad y por lo tanto con cables muy finos o de poca sección. Los cables de más sección son los que van del contactor al motor, y esto solo tendrán la longitud desde el contactor al motor, es decir serán muy cortos. ¿Qué ventaja tiene esto? Pues que es un gran ahorro en el gasto de

los cables o conductores. Imagina que tuviéramos que arrancar el motor directamente sin contactor, desde el interruptor, que por cierto tendría que ser mucho mayor y más caro, hasta el motor, todos los cables serían de fuerza y medirían 1Km de largos, con lo cual sería mucho mayor el coste en conductores.

- Ahorro de tiempo al realizar maniobras largas.
- Posibilidad de controlar el arranque de un motor desde puntos diferentes.
- Automatización del arranque de motores.
- Automatización y control de numerosas aplicaciones, con ayuda de los aparatos auxiliares del contactor. Ejemplos: llenado automático de un pozo de agua, control de la temperatura en hornos, etc.

### **Elección del Contactor**

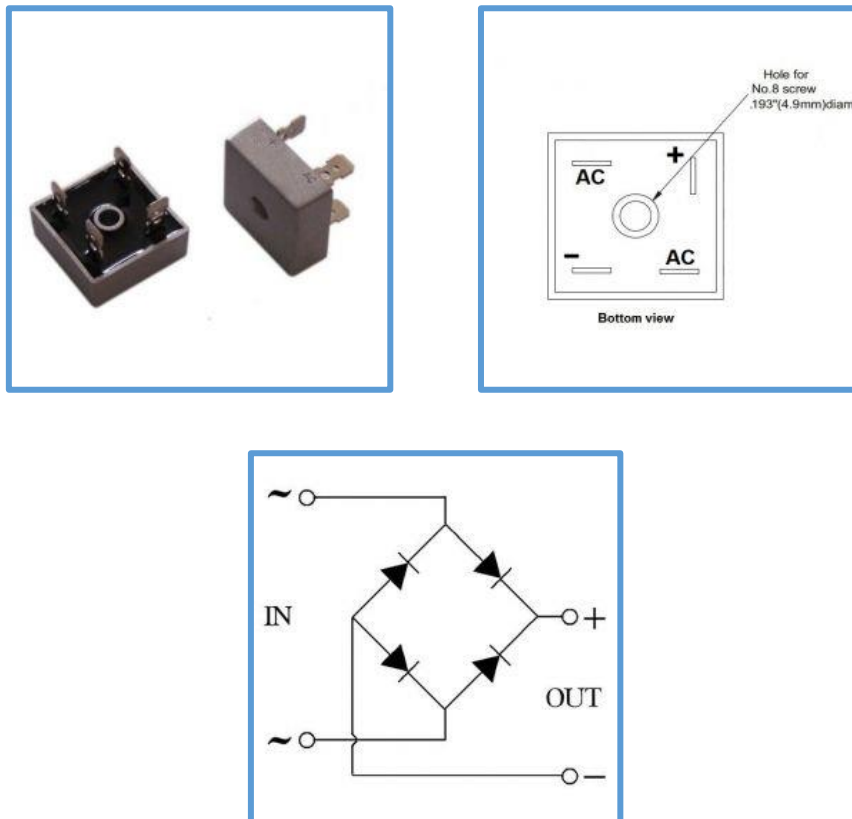
A la hora de elegir un contactor de maniobra de motores hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Tensión y potencia nominales de la carga, o sea del motor.
- Tensión y frecuencia reales de alimentación de la bobina y de los elementos del circuito auxiliar.
- Clase de arranque del motor: directo, estrella-triángulo, etc.
- Número aproximado de conexiones-hora.
- Condiciones de trabajo: normales, duros o extremas. Podrían ser calefacción eléctrica, ascensores, grúas, máquinas de imprimir etc.

<http://www.areatecnologia.com/electricidad/contactor.html>

<http://mejoreslinks.masdelaweb.com/el-contactor-partes-y-funcionamiento/>

## PUENTE DE DIODOS



### ¿Qué es un puente de diodos?

Los diodos rectificadores de puente son rectificadores que se utilizan para convertir la corriente alterna (AC) de señales a la de la corriente directa (DC). También son conocidos como los rectificadores de puente de onda completa, ya que son capaces de rectificar tanto las partes positivas y negativas de la señal de entrada. El puente de diodos se hace comúnmente de cuatro diodos rectificadores dispuestos en una estructura de puente.

### Características

El puente de diodos se compra en paquetes o módulos que tienen cuatro pistas. Dos de los cables son redes de entrada, y dos son para las salidas de CC. Pueden ser utilizados para corrientes como 0,5 amperios o tan altas como 8 amperios o más.

### **Características especiales**

La mayoría de los diodos de puente están hechos con una carcasa de epoxi moldeada que incluye a veces disipadores metálicos integrados de calor. Pueden ser de cristal pasivado, lo que significa que su parte media o la unión PN se recubre con vidrio que tiene pequeñas partículas en el interior.

### **Tipos**

Algunas clases están envueltas en paquetes de tipo transistor. Se utiliza en los circuitos impresos la superficie de puentes de montaje. Los estilos de metal Epoxy TO-5 tienen cables muy largos. Los puentes en línea son rectangulares con una inclinación en uno de sus lados superiores, y tienen agujeros en el medio para los disipadores de calor.

### **Diodos puente de alta corriente**

Los diodos puente de alta corrientes están hechos para corrientes elevadas, tales como 25 a 50 amperios. Ellos pueden ser envasados en cajas metálicas o de plástico cuadrados y en los casos de metal con agujeros para disipadores de calor. Una de las esquinas está generalmente inclinada en la parte superior.

### **Usos**

Los puentes rectificadores se utilizan como dobladores de voltaje, que son básicos en fuentes de alimentación. Se incluyen los internos, tales como los utilizados en ordenadores de sobremesa, y los externos, tales como los adaptadores.

<http://www.electronicoscaldas.com/diodos-y-puentes/73-puente-de-diodos-kbpc3506.html>

## MOTOR - GENERADOR SÍNCRONO



Voltaje	380 V
Corriente nominal	9.5 A
$\text{Cos } \varphi$	0.8
Frecuencia	60
Potencia	5 Kw
Velocidad de giro	1800
Voltaje de excitación	82 V
Corriente de excitación	3.6 A
Numero de polos	4
Protección / aislamiento	IP 21



## CONDUCTOR DE COBRE ( TW )

### **NORMAS DE FABRICACIÓN**

:N.T.P. 370.252(Calibre mm<sup>2</sup>)

:UL-83 (Calibres AWG)

:VDE 0250 (Calibres AWG)

Tensión del servicio :750 voltios

Temperatura de operación :70°C

### **DESCRIPCIÓN**

Conductores de cobre electrolítico recocido, sólido o cableado. Aislamiento de PVC

### **USOS**

Aplicación general en instalaciones fijas; edificaciones, interior de locales con ambiente seco o húmedo, etc. Generalmente se instalan en tubos conduit.

### **CARACTERÍSTICAS**

Alta resistencia dieléctrica, resistencia a la humedad, productos químicos y grasas, al calor hasta la temperatura de servicio, retardante a la llama.

### **EMBALAJE**

De 0,5 a 35 mm<sup>2</sup>: en rollos estándar de 100 metros.  
De 10 a 500mm<sup>2</sup> : en carretes de madera.

### **COLORES**

De 0,50 a 4mm<sup>2</sup>: Blanco, negro, rojo, azul, verde y amarillo.

Mayores a 4mm<sup>2</sup>: Solo en color negro.

### **CALIBRE**

0,5 - 500 mm<sup>2</sup>

18 AWG -500MCM



## ESPECIFICACIONES CONDUCTORES TW - mm<sup>2</sup>

CALIBRE CONDUCTOR	N° HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETR O CONDUCT TOR	ESPEJOR AISLAMIE NTO	DIAMETR O EXTERIO R	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
<b>ALAMBRES</b>								
0,75	1	1,0	1,0	0,75	2,5	12	9	7
1	1	1,1	1,1	0,75	2,6	15	11	9
1,5	1	1,4	1,4	0,75	2,9	20	16	13
2,5	1	1,8	1,8	0,75	3,3	31	27	22
4	1	2,3	2,3	0,75	3,8	45	32	28
6	1	2,8	2,8	0,75	4,3	65	45	35
10	1	3,6	3,6	1,15	5,9	113	67	46
<b>CABLES</b>								
2,5	7	0,67	2,0	0,75	3,5	32	27	22
4	7	0,85	2,6	0,75	4,1	48	32	28
6	7	1,04	3,1	0,75	4,6	69	45	35
10	7	1,35	4,1	1,50	6,4	121	67	46
16	7	1,70	5,1	1,50	7,1	193	90	62
25	7	2,14	6,4	1,50	8,4	290	120	80
35	7	2,52	7,6	1,50	9,6	390	150	100
50	19	1,78	8,9	1,50	12,9	535	185	125
70	19	2,14	10,7	2,00	14,7	745	230	150
95	19	2,52	12,6	2,00	16,6	1005	275	180
120	37	2,03	14,2	2,40	19,0	1280	320	210
150	37	2,25	15,8	2,40	20,6	1546	375	240
185	37	2,52	17,6	2,40	22,4	1911	430	275
240	61	2,25	20,3	2,40	25,1	2464	480	320
300	61	2,52	22,7	2,80	28,3	3106	575	355
400	61	2,85	25,7	2,80	31,3	3922	670	410
500	61	3,20	28,8	2,80	34,4	4891	780	460

(\*) - NO MAS DE TRES CONDUCTORES POR DUCTO

- TEMPERATURA AMBIENTE 30°C

## ESPECIFICACIONES CONDUCTORES TW - AWG / MCM

CALIBRE CONDUCTOR	SECCION NOMINAL	NUMERO DE HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	AMPERAJE (*)		
							PESO	AIRE	DUCTO
AWG/MCM	mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
<b>ALAMBRES</b>									
18	0,8	1	1,0	1,0	0,6	2,2	12	10	8
16	1,3	1	1,3	1,3	0,6	2,5	17	15	12
14	2,1	1	1,6	1,6	0,7	3,0	25	25	20
12	3,3	1	2,1	2,1	0,8	3,7	39	30	25
10	5,3	1	2,6	2,6	0,8	4,2	58	40	30
<b>CABLES</b>									
14	2,1	7	0,61	1,8	0,7	3,2	27	25	20
12	3,3	7	0,78	2,3	0,8	3,9	41	30	25
10	5,3	7	0,98	2,9	0,8	4,5	62	40	30
8	8,4	7	1,23	3,7	1,0	5,7	97	60	40
6	13,3	7	1,55	4,7	1,0	6,7	147	80	55
4	21,1	7	1,96	5,9	1,2	8,3	232	105	70
2	33,6	7	2,47	7,4	1,2	9,8	356	140	95
1	42,4	19	1,69	8,4	1,4	11,2	450	165	110
1/0	53,4	19	1,90	9,5	1,4	12,3	555	195	125
2/0	67,4	19	2,13	10,6	1,4	13,4	690	225	145
3/0	85,1	19	2,39	11,9	1,6	15,1	873	260	165
4/0	107,2	19	2,68	13,4	1,6	16,6	1086	300	195
250	126,7	37	2,09	14,6	1,8	18,2	1288	340	215
300	151,9	37	2,29	16,0	2,0	20,0	1530	375	240
350	177,5	37	2,47	17,3	2,0	21,3	1795	420	260
400	202,8	37	2,64	18,5	2,2	22,9	2055	455	280
500	253,1	37	2,95	20,7	2,4	25,5	2561	515	320

(\*) - NO MAS DE TRES CONDUCTORES POR DUCTO

- TEMPERATURA AMBIENTE 30°C

CALIBRE CONDUCTOR	SECCI ON NOMIN AL	NUME RO HILOS	DIAMET RO HILO	DIAMET RO CONDUCT OR	ESPESO R AISLAMI ENTO	DIAMETR O EXTERIO R	AMPERAJE (*)		
							PESO	AIRE	DUCTO
AWG/MC M	mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
<b>ALAMBRES</b>									
18.00	0,8	1.00	1,0	1,0	0,6	2,2	12.00	10.00	8.00
16.00	1,3	1.00	1,3	1,3	0,6	2,5	17.00	15.00	12.00
14.00	2,1	1.00	1,6	1,6	0,7	3,0	25.00	25.00	20.00
12.00	3,3	1.00	2,1	2,1	0,8	3,7	39.00	30.00	25.00
10.00	5,3	1.00	2,6	2,6	0,8	4,2	58.00	40.00	30.00
<b>CABLES</b>									
14.00	2,1	7.00	0,61	1,8	0,7	3,2	27.00	25.00	20.00
12.00	3,3	7.00	0,78	2,3	0,8	3,9	41.00	30.00	25.00
10.00	5,3	7.00	0,98	2,9	0,8	4,5	62.00	40.00	30.00
8.00	8,4	7.00	1,23	3,7	1,0	5,7	97.00	60.00	40.00
6.00	13,3	7.00	1,55	4,7	1,0	6,7	147.00	80.00	55.00
4.00	21,1	7.00	1,96	5,9	1,2	8,3	232.00	105.00	70.00
2.00	33,6	7.00	2,47	7,4	1,2	9,8	356.00	140.00	95.00
1.00	42,4	19.00	1,69	8,4	1,4	11,2	450.00	165.00	110.00
1/0	53,4	19.00	1,90	9,5	1,4	12,3	555.00	195.00	125.00
2/0	67,4	19.00	2,13	10,6	1,4	13,4	690.00	225.00	145.00
3/0	85,1	19.00	2,39	11,9	1,6	15,1	873.00	260.00	165.00
4/0	107,2	19.00	2,68	13,4	1,6	16,6	1086.00	300.00	195.00
250.00	126,7	37.00	2,09	14,6	1,8	18,2	1288.00	340.00	215.00
300.00	151,9	37.00	2,29	16,0	2,0	20,0	1530.00	375.00	240.00
350.00	177,5	37.00	2,47	17,3	2,0	21,3	1795.00	420.00	260.00
400.00	202,8	37.00	2,64	18,5	2,2	22,9	2055.00	455.00	280.00
500.00	253,1	37.00	2,95	20,7	2,4	25,5	2561.00	515.00	320.00



## CONDUCTOR DE COBRE (GPT)

### **NORMAS DE FABRICACIÓN**

: SAE J1128, SAE J2031  
 : UL - 62  
 Tensión de Servicio : GPT y SGT (BA) : 300 V A.C.  
 : HTT(I): 15 KV  
 Temperatura de operación : 75°C

### **DESCRIPCIÓN**

Conductores de cobre electrolítico blando, flexibles cableados en haz. Aislado con cloruro de polivinilo (PVC especial).

### **USOS**

**GPT** (cordón automotriz). Alumbrado señales, tableros de instrumentos de control de vehículos en general.

**SGT(BA)** (Cable para batería) Se usa para batería de vehículos equipos o bancos de baterías estacionarios.

**HTT(I)** (Cable para Bujía) Se usa para conexiones entre bujías, el distribuidor y la bobina.

### **CARACTERÍSTICAS**

Diseñado para soportar vibraciones, ataque de combustibles, lubricantes y solución electrolítica del acumulador, resistente a la abrasión, dobleces, etc. No propagan la llama.

### **EMBALAJE**

GPT : En rollos estándar de 100 metros.

BA : En rollos estándar de 50 metros.

I : En rollos estándar de 50 metros.

### **COLORES**

GPT : Amarillo, azul, blanco, negro, rojo y verde

BA : Negro

I : Aislamiento : Blanco.

Cubierta : Negro.

### **CALIBRE**

GPT : 20 - 8 AWG

BA : 6 - 4/0 AWG

I : 17 AWG



### ESPECIFICACIONES CONDUCTORES TIPO GPT

CALIBRE CONDUCTOR	SECCION NOMINAL	NUMERO HILOS	DIÁMETRO HILO	ESPESOR AISLAMIENTO	DIÁMETRO NOMINAL	PESO NOMINAL
AWG	mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	Kg/Km
20	0,52	7	0,320	0,58	2,2	10
18	0,82	16	0,254	0,58	2,5	12
16	1,31	19	0,287	0,58	2,7	16
14	2,08	19	0,361	0,58	3,1	25
12	3,31	19	0,455	0,66	3,7	38
10	5,26	19	0,574	0,79	4,5	57
8	8,37	19	0,724	0,94	6,0	90
<b>TIPO SGT(BA)-CABLES PARA BATERIA</b>						
6	13,30	49	0,588	1,35	8,0	165
4	21,15	49	0,741	1,45	9,7	250
2	33,63	133	0,574	1,66	11,9	394
1	42,41	133	0,643	1,66	13,0	485
1/0	53,48	133	0,724	1,66	14,2	601
2/0	67,43	133	0,803	1,66	15,3	740

## BANANAS Y BORNERAS



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
<b>PL-BAN01</b>	Plug Banana Standard <b>Disponible en rojo, negro y verde</b>
<b>PL-BAN05</b>	Plug Banana C/deriv. C/tornillo <b>Disponible en rojo, negro y verde</b>
<b>JK-BAN01</b>	Jack Banana P/Chasis <b>Disponible en rojo, negro y verde</b>
<b>BORBAF-01</b>	Bornera Binding Post 5A 250V <b>Disponible en rojo, negro y verde</b>
<b>BORBAF-05</b>	Bornera Binding Post 5A 250V <b>Disponible en Rojo y Negro</b>
<b>BORBAF-10</b>	Bornera Binding Post 7A 250V <b>Disponible en Rojo y Negro</b>
<b>BORBAF-15</b>	Bornera Binding Post 10A 250V <b>Disponible en Rojo y Negro</b>
<b>BORBAF-18</b>	Bornera para Bafle (21 x 56mm) STEREO 2P
<b>BORBAF-20</b>	Bornera para Bafle (23 x 56mm) STEREO 2P
<b>BORBAF-30</b>	Bornera para Bafle (23 x 76mm) X2 STEREO 4P
<b>BORBAF-40</b>	Bornera para Bafle (56 x 56mm) STEREO 2P
<b>BORBAF-80</b>	Bornera para Bafle (90 x 80mm) STEREO 2P
<b>BORBAF-90G</b>	Bornera para Bafle (90 x 80mm) STEREO 2P GOLD
ETB5006116	Bornera 16 POLOS 15A 300VAC Pitch 9.5mm

## BORNERAS PARA ELECTRICIDAD

### Terminal hembra tipo banana



### Información de producto

#### Detalles técnicos

<b>Marca</b>	Sourcingmap
<b>Modelo</b>	a12101600ux0317
<b>Peso del producto</b>	9 g
<b>Dimensiones del producto</b>	11,9 x 7,4 x 1,3 cm
<b>Número de modelo del producto</b>	a12101600ux0317
<b>Número de producto</b>	a12101600ux0317

## PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 1

### ENSAYO DE CIRCUITO ABIERTO O VACÍO DEL GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO

#### OBJETIVO

Realizar el ensayo directo sobre el alternador con los terminales en circuito abierto (vacío) y corto circuito; A través de ello se podrá estimar los parámetros principales del circuito equivalente, trazar las curvas características de la máquina síncrona y cálculo de la impedancia sincrónica.

#### MARCO TEÓRICO

Cuando en el estator de un generador se dispone el arrollamiento inducido formado por tres parejas de bobinas independientes (o un número de bobinas múltiplo de tres, conectadas en tres grupos independientes) de modo que las tensiones producidas sean iguales y los ángulos de desfase de las tensiones, generales estén entre sí a  $120^\circ$ , la máquina recibe el nombre de alternador trifásico. El rotor de la máquinas está compuesto por un conjunto de arrollamientos que forman el inductor y que, al ser alimentados por una corriente continua, dan origen a un flujo de valor constante pero giratorio al ser arrastrado el rotor por un motor primario mecánicamente acoplado a su eje. La alimentación al rotor con corriente continua se hace mediante anillos rozantes.

Se suelen unir generalmente, los tres conductores de cada arrollamiento a fase en un punto, que se denomina neutro, dado que, normalmente, se le conecta a tierra y, por tanto está a su mismo potencial. Este tipo de conexión se le conoce con el nombre de “estrella” en la que existen, por tanto, cuatro hilos a tres de los cuales se les denomina “conductores de fase” y, al otro, el hilo o “conductor neutro”.

Otro método para conectar los tres arrollamientos de la máquina trifásica es conectar en serie cerrada, con el terminal de salida de una fase unido al de entrada de la fase siguiente. Este montaje se le denomina “triángulo” y da origen a tres conductores activos, que también reciben el nombre de “conductores de fase”, sin posibilidad de que exista punto neutro. En la fig. 46 puede observarse en: a) la conexión Estrella, y en b) conexión triángulo.

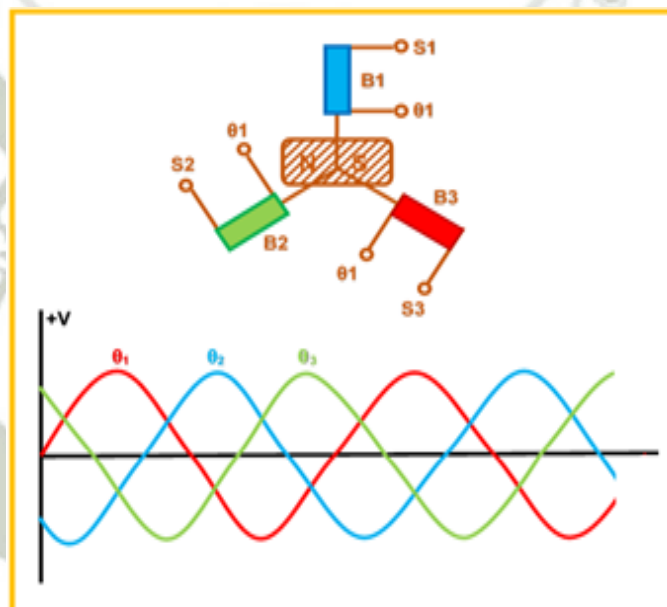


Figura 1. Principio de un alternador trifásico.

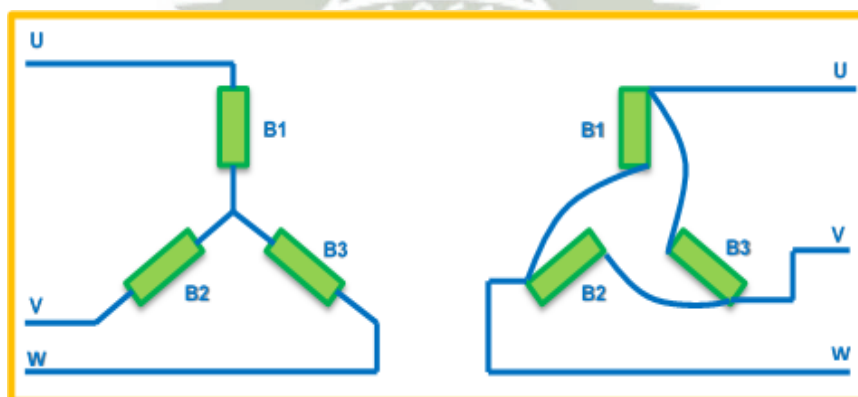


Figura 2. (a) Conexión estrella. (b) Conexión delta.

El ensayo directo de un alternador se efectúa igual que en los generadores de corriente continua. Primero se mide la resistencia de los arrollamientos y después, se determina sus características de vacío, como si se tratase de un dinamo con excitación independiente.

Para una excitación determinada y constante, existen infinitas características de carga, aunque la más fácil de obtener, como se verá a continuación, es la que corresponde a un  $\cos \varphi = 1$ .

El alternador objeto de este ensayo, es un pequeño alternador trifásico de inductor móvil, bipolar y sin excitatriz, por lo que la corriente continua de excitación deberá ser suministrada por una fuente independiente. Como la frecuencia de la f.e.m. inducida es función de la velocidad del motor primario de arrastre, conviene mover al alternador mediante un motor eléctrico de velocidad variable, para ajustarle a la que se desee.

### **MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR**

- Alternador trifásico de 5 kVA
- Un motor de corriente alterna de 5 kW, para regular las velocidades del alternador.
- Dos fuentes de corriente continua regulable de 0-250 V/0-2 A, para la excitación del rotor tanto del alternador y motor síncronos.
- Reóstato de campo para el rotor de c.c.
- Un voltímetro de 0-250/400V.
- Un voltímetro de 0-30 V.
- Un amperímetro de 0-5 A.
- Un miliamperímetro de 0-500-1.000 mA
- Un tacómetro de 0-2.000 r.p.m.

## PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA

Medida de la resistencia del estator y del rotor.

Para determinar la resistencia del estator (inducido) se debe medir la resistencia por separado de cada una de sus bobinas. Aplicando corriente continua por cada uno de los terminales trifásicos (L1, L2, L3, N) y neutro es decir, inyectar corriente continua de forma que la intensidad máxima que circule en este ensayo sea, aproximadamente, la nominal  $I_a$  midiendo seguidamente, mediante un voltímetro y un amperímetro, la tensión aplicada y la intensidad que circula.

Caso de ser conectada las fases en triángulo la resistencia  $r$ , entre los puntos 1 y 2, tendrán por valor  $(2/3) r'$ , como puede observarse en la fig. 47. Para medir la resistencia del rotor, se aplicará tensión en corriente continua a sus anillos colectores, o bornes correspondientes. Se efectuarán tres medidas con voltímetro y amperímetro, para después tomar la media aritmética.

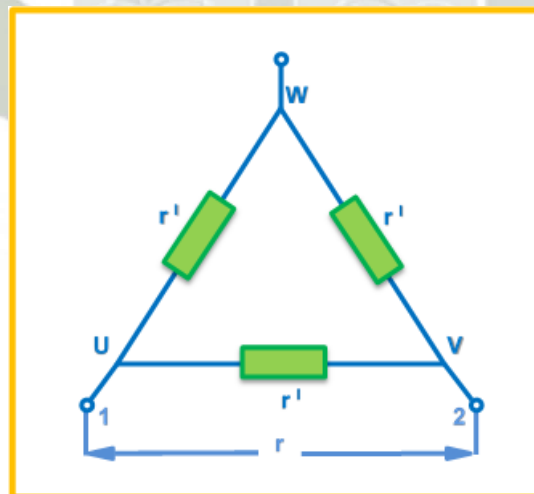


Figura 3. Conexión en triángulo de las resistencias.

Tanto para el rotor como para el estator se realizarán dos ensayos uno al comenzar la práctica (en frío) y otro al finalizarla (en caliente). Los datos así obtenidos, se reflejan en unos cuadros como los siguientes:

Medición de la resistencia de los devanados U, V y W en el motor síncrono trifásico:

	<b>Ohmímetro (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Puente Wheatstone (<math>\Omega</math>)</b>
<b>Devanado U-V</b>	2.1	2
<b>Devanado V-W</b>	2.2	2.1
<b>Devanado U-W</b>	2.3	2.1
<b>Devanado V-N</b>	1.2	1.1
<b>Rotor</b>	18.8	18.6

Prueba de Aislamiento de un devanado a masa o tierra para el generador síncrono:  
Determinación de la característica de vacío.

	<b>Megómetro (<math>M\Omega</math>)</b>
<b>U – masa</b>	<b>60</b>
<b>V – masa</b>	<b>60.2</b>
<b>W – masa</b>	<b>60.1</b>

	Item	I <sub>ex</sub> (A)	V <sub>o</sub> (V)	V <sub>ex</sub> (V)	N (RPM)
<b>Magnetización</b>	1	0.01	10	20	138.2
	2	0.05	28	25	276.3
	3	0.08	46	30	414.5
	4	0.11	64	35	552.6
	5	0.14	82	40	690.8
	6	0.17	100	45	828.9
	7	0.2	120	50	967.1
	8	0.23	139	55	1105.2
	9	0.26	158	60	1243.4
	10	0.3	180	65	1381.5
	11	0.35	200	70	1519.7
	12	0.42	220	75	1657.8
	13	0.55	350	80	1796.0
<b>Desmagnetización</b>	1	0.01	145	20	138.2
	2	0.05	188	25	276.3
	3	0.08	222	30	414.5
	4	0.11	251	35	552.6
	5	0.14	271	40	690.8
	6	0.17	291	45	828.9
	7	0.20	306	50	967.1
	8	0.23	318	55	1105.2
	9	0.26	327	60	1243.4
	10	0.30	334	65	1381.5
	11	0.35	339	70	1519.7
	12	0.42	344	75	1657.8
	13	0.55	350	80	1796.0

En la fig. 48 se representa la forma de la característica a obtener. En ella se observan dos tramos: el que corresponde a los valores crecientes y el que corresponde a los valores decrecientes, siendo este último más elevado a causa de la histéresis del circuito magnético.

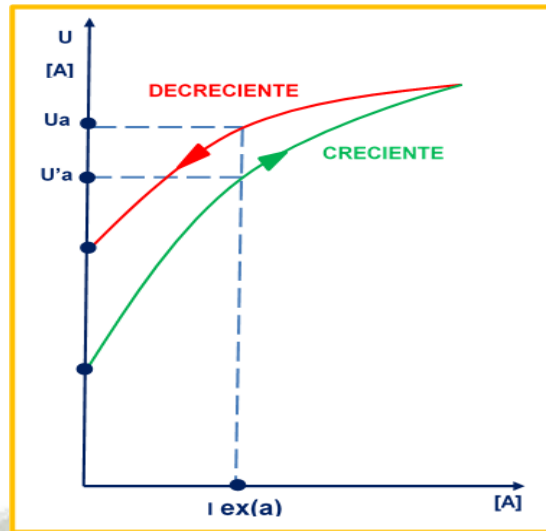


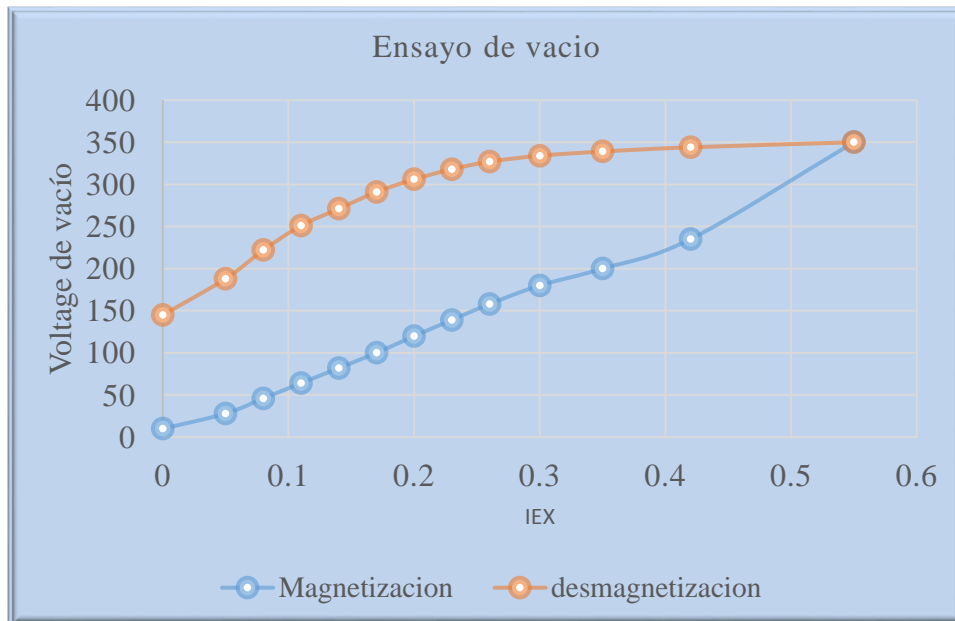
Figura 4. Curva de Saturación Magnética.

Como se puede observar, la característica tiene la misma forma que la de un generador de corriente continua. La representación de la saturación magnética no es muy marcada, dado que no se ha llegado a la saturación total del entrehierro.

En algunas ocasiones, se suele tomar, para representarse la curva de vacío, la media aritmética de las curvas crecientes y decrecientes.

<b>I<sub>ex</sub> (A)</b>	<b>V. magnetización</b>	<b>V. desmagnetización</b>
0	10	145
0.05	28	188
0.08	46	222
0.11	64	251
0.14	82	271
0.17	100	291
0.2	120	306
0.23	139	318
0.26	158	327
0.3	180	334
0.35	200	339
0.42	235	344
0.55	350	350

En definitiva, el ensayo desarrollado nos permite apreciar la remanencia que crea el material magnético de la máquina.



## PRACTICA DE LABORATORIO N° 2

### ENSAYO DE CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO

#### OBJETIVO

Realizar el ensayo directo sobre el alternador con los terminales en corto circuito; a través de ello se podrá estimar los parámetros principales del circuito equivalente, trazar la curva característica corto circuito de la máquina síncrona y cálculo de la impedancia síncrona.

## MARCO TEÓRICO

Curvas Características de cortocircuito. El generador se accionará a la velocidad correspondiente a su frecuencia nominal y sus tres fases correspondientes estarán puestas en cortocircuitado mediante tres amperímetros, como se indica en la fig. 49.

## MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR

- Alternador trifásico de 5 kVA.
- Un motor de corriente continua de 5 kW, para regular las velocidades del alternador.
- Una fuente de corriente continua regulable de 0-250 V/0-2 A, para la excitación del alternador.
- Reóstato de campo para el motor de c.c.
- Un voltímetro de 0-250/400V.
- Un voltímetro de 0-30 V.
- Un amperímetro de 0-5 A.
- Un miliamperímetro de 0-500-1.000 mA
- Un tacómetro de 0-2.000 r.p.m.

## PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA.

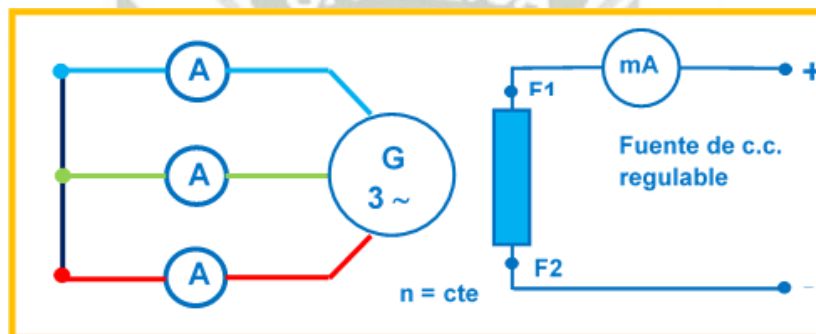
Para este ensayo se realizará un montaje como el de la fig. 49, semejante al ensayo de vacío a excepción de cerrar el circuito de los terminales con uno o tres amperímetros, ver figura.

Si se traza un diagrama con las corrientes de cortocircuito en función de los distintos valores de la corriente de excitación, se obtendrá una línea recta que pasará por el origen, como puede observarse en la fig. 50.

Se tomará diversos valores de  $I_{ex}$  de forma que la intensidad de cortocircuitado no sobrepase 1,5 veces la intensidad nominal del alternador, ya que, si no, el alternador se

sobrecalienta. No obstante, dado que la gráfica es una línea recta, puede prologarse para determinar otros puntos de funcionamiento.

No será totalmente necesario conectar los tres amperímetros, ya que si el alternador está equilibrado, los tres amperímetros marcarían lo mismo, por lo que con uno de ellos solamente sería suficiente para poder realizar el ensayo. Se puede comprobar que el alternador está perfectamente, en cuanto a carga, en sus tres fases. Cambiando el amperímetro a cada una de ellas. Si existe el equilibrio, las lecturas deberán ser idénticas en los tres casos.



**Figura 5. Conexión de los terminales para el ensayo de cortocircuito.**

Los datos obtenidos en este ensayo en cortocircuitos se reflejarán en un cuadro de valores como el que a continuación se señala. Se ha cortocircuitado el alternador con tres amperímetros iguales las tres corrientes, sólo es necesario medir una de ellas suprimiendo los otros dos amperímetros.

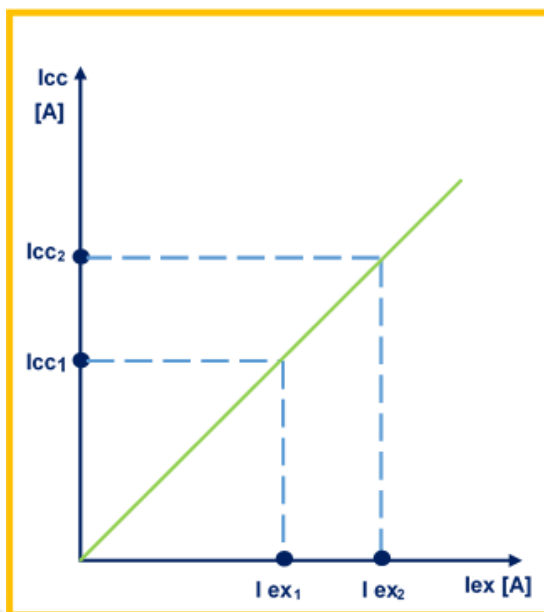
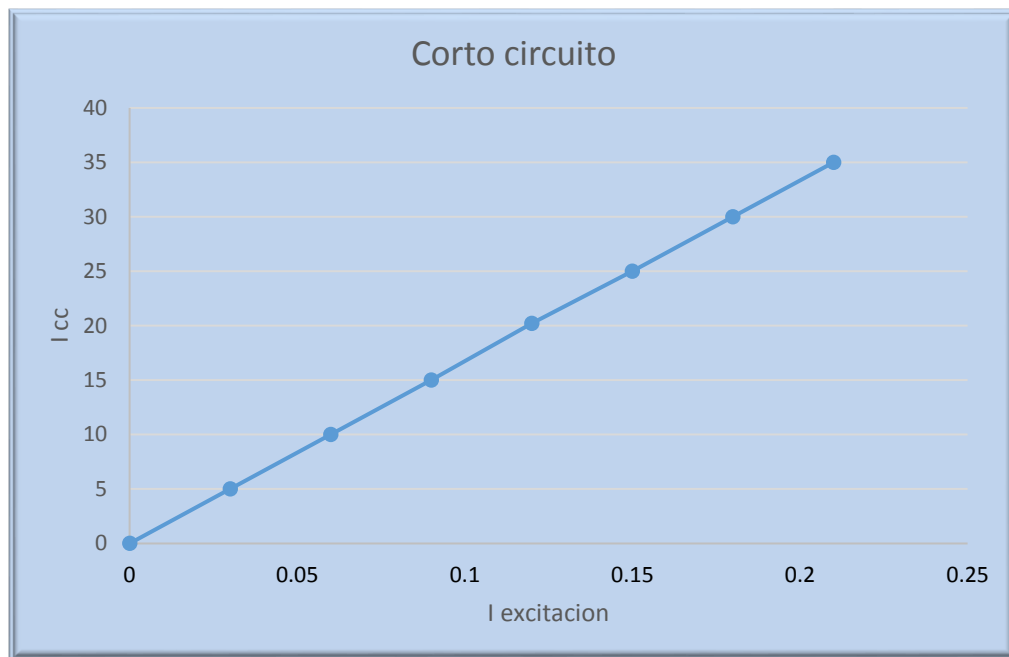


Figura 6. Curva característica del ensayo de cortocircuito.

Si el alternador estuviera conectado en triángulo, la intensidad medida no corresponde con la de una fase y habría que dividirla por  $\sqrt{3}$ , o sea:  $I_f = \frac{I}{\sqrt{3}}$

N	$I_{ex}$ [A]	$I_{arm}$ [A]	n [RPM]	f [Hz]
1	0	0	690.8	55.10
2	0.03	5	828.9	63.40
3	0.06	9.5	967.1	56.10
4	0.09	15	1105.2	64.40
5	0.12	20.2	1243.4	57.10
6	0.15	25	1381.5	65.40
7	0.18	30	1519.7	58.10
8	0.21	35	1657.8	66.40



Impedancia síncrona: Se denomina impedancia síncrona a la relación entre la tensión de vacío y la intensidad de cortocircuito, para un valor determinado de la intensidad de excitación. Es decir (por fase):

$$Z = \frac{E_{fo}}{I_{ccf}}$$

A partir de las dos curvas anteriormente determinadas, tensión de vacío y corriente de cortocircuitado, para un valor dado de la intensidad de excitación, se puede determinar la variación de la impedancia síncrona, por fase, del alternador.

Si se repite esta medida con un número suficiente de los valores de I<sub>ex</sub> hallados anteriormente se obtendrá una curva como la representada en la fig. 51 como:

$$Z_{af}^2 = R_f^2 + X_{si}^2$$

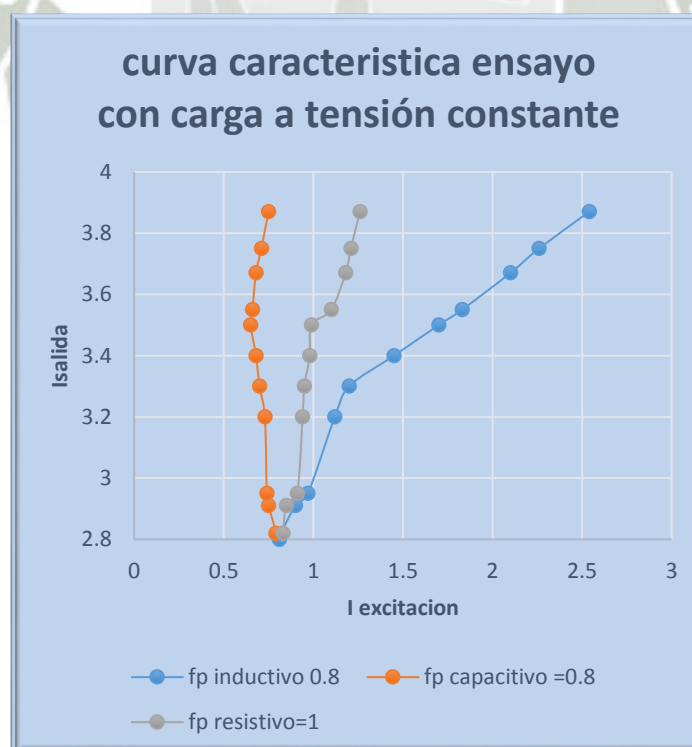
Se puede determinar, asimismo, el valor de la reactancia síncrona, si se conoce el valor de la resistencia R<sub>f</sub> pues:

$$X_{si} = \sqrt{Z_{af}^2 - R_f^2}$$

De la figura 51 se deduce que la reactancia disminuye cuando se aumenta la corriente de excitación; éste es un efecto de saturación magnética.

Para el cálculo de la impedancia síncrona, así como el de la reactancia síncrona, se realizará un cuadro como el de la página siguiente:

$V_{\text{Vacio}} \text{ (v)}$	$I_{\text{Excitación}} \text{ (A)}$	$I_{\text{Corto circuito}} \text{ (A)}$	$Z_2 = \frac{V_0}{I_{cc}}$	R	$X = \sqrt{Z_2^2 + R^2}$
28	0.05	5	5.60	2.20	6.02
46	0.29	10	4.60	2.20	5.10
64	0.43	15	4.27	2.20	4.80
82	1.05	20.2	4.06	2.10	4.57
100	1.29	25	4.00	2.10	4.52
120	1.43	30	4.00	2.10	4.52
139	2.05	35	3.97	2.20	4.54
153	2.29	40	3.83	2.20	4.41
159	2.43	45	3.53	2.20	4.16
162	3.05	50	3.24	2.10	3.86
163	3.29	55	2.96	2.10	3.63
164	3.43	60	2.73	2.20	3.51



Se tomará como  $R_f$  el valor de la resistencia determinada en caliente (ver fig.51)

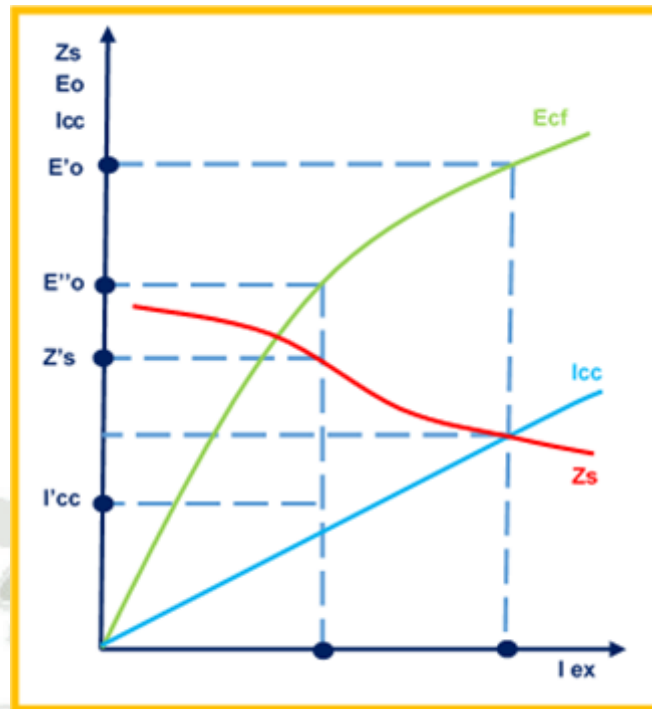


Figura 7. Curva Característica de los ensayos de vacío y cortocircuito.

### PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 3

## ENSAYO DE CARGA CON TENSIÓN CONSTANTE DEL ALTERNADOR TRIFÁSICO

### OBJETIVO DE LA PRÁCTICA

Obtención de las características de regulación de la tensión (con tensión constante) de la máquina síncrona. Estas características permiten determinar la variación que ha de tener la corriente de excitación ( $I_{ex}$ -carga - $I_{ex}$ -vacío) para mantener la tensión de línea constante cualquiera que sea la carga y el factor de potencia.

## INTRODUCCIÓN

Esta curva es obtenida mediante la variación de la carga (corriente suministrada)  $I$ , y variaciones de la corriente de excitación,  $I_{ex}$ , para mantener constante la tensión en terminales de alternador; la velocidad y el factor de potencia también deben ser constantes. Normalmente se ensaya con tres tipos carga (FP=1.0, FP=0.8 en atraso y FP=0.8 en adelanto).

## MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR

- Amperímetro.
- Voltímetro.
- Frecuencímetro de 45-50-55 Hz.
- Tacómetro de 0-2.000 r.p.m.
- Cosfímetro (optativo)
- Carga resistiva trifásica, regulable.
- Carga capacitiva trifásica, regulable.
- Carga inductiva trifásica, regulable.
- Alternador trifásico
- Fuente de corriente continua regulable para alimentar al motor.
- Fuente de corriente continua regulable para alimentar las excitaciones de motor y alternador
- En caso necesario, dos vatímetros de factor de potencia “acortado”.

## PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA

Trazado de las Curvas Características en Carga.

Para la obtención de las distintas características en carga de un alternador de pequeña potencia se realizará un montaje tal como el indicado en la fig. 52.

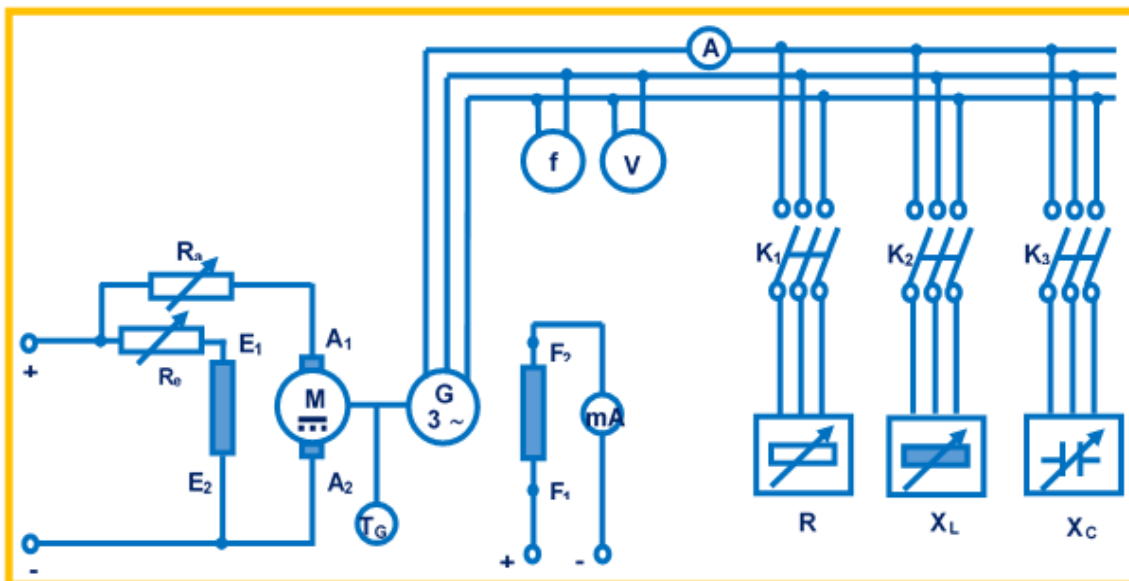


Figura 8. Montaje para el ensayo con carga.

En este montaje R XL XC representan, respectivamente, cargas trifásicas regulables, resistivas, inductivas y capacitivas.

Como máquina motriz se utiliza un motor de corriente continua de velocidad regulable. El circuito de excitación del alternador se alimenta mediante una fuente de corriente continua regulable, conectando un miliamperímetro para medir el valor de la intensidad de excitación.

Se puede conectar un solo amperímetro, siempre que haya seguridad de que la carga de las tres fases está equilibrada.

El valor del factor de potencia nos viene dado por la lectura directa del cosfímetro instalado, pero, en caso de no poseer un aparato de este tipo, se puede averiguar, en cualquier momento, su valor, por medio de dos vatímetros monofásicos conectados en el

circuito, como puede verse en la fig. 53 (método de los dos vatímetros), al tratarse de un circuito perfectamente equilibrado se tendrá:

$$\begin{aligned} U &= U_1 = U_2 = U_3 \\ I &= I_1 = I_2 = I_3 \\ W &= W_1 = W_2 = W_3 \end{aligned}$$

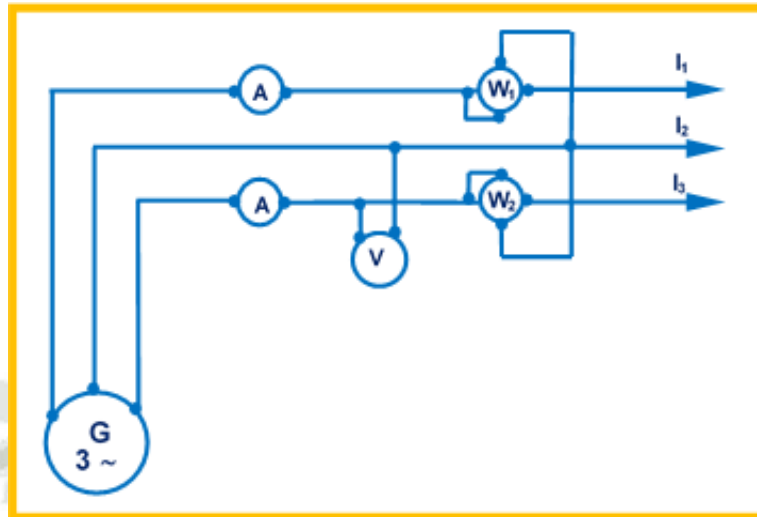


Figura 9. Método de los dos vatímetros.

Por lo que:

$$P_1 = VI \cos(30^\circ + \varphi) = \frac{2}{3} VI \cos \varphi - \frac{1}{2} VI \sin \varphi$$

$$P_2 = VI \cos(30^\circ - \varphi) = \frac{2}{3} VI \cos \varphi + \frac{1}{2} VI \sin \varphi$$

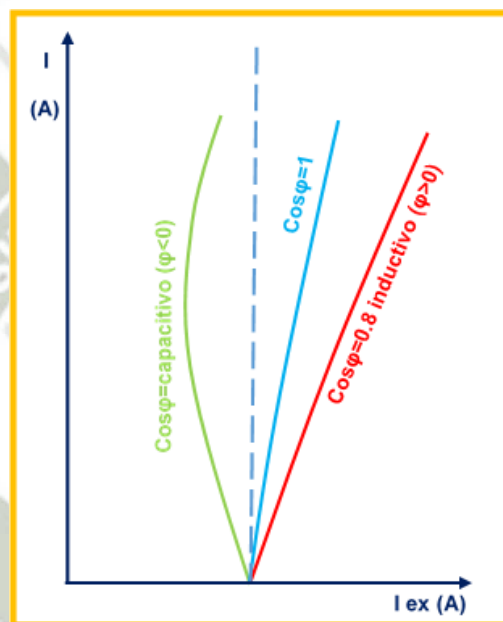
Sumando:

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} VI \cos \varphi$$

O bien: 
$$\cos \varphi = \frac{P_1 + P_2}{\sqrt{3} VI}$$

Características Regulación de Tensión (con Tensión Constante). Se obtiene mediante, este ensayo, como anteriormente se dijo, una familia de curvas de la corriente suministrada,  $I$ , en función de la corriente de excitación,  $I_{ex}$  para una tensión en bornes de alternador constante, manteniendo, asimismo, constante los valores de la velocidad y del factor de potencia (ver en la fig.54). En dicha figura se observa tres curvas distintas:

una para  $\cos \varphi = 1$ , otra para  $\cos \varphi = 0,8$  capacitivo y una tercera, para  $\cos \varphi = 0,8$ , inductivo. Y, como puede verse, se curvan e inclinan cada vez más hacia la derecha, con relación a la vertical, cuando los valores del factor de potencia inductivo son decrecientes, mientras que se inclinan hacia la izquierda para los valores de un factor una curva con un  $\cos \varphi = 1$  otra, con un  $\cos \varphi = 0,8$  inductivo y una tercera con un  $\cos \varphi = 0,8$  capacitivo. Raramente se trazan curvas con factor de potencia capacitivo, ya que, en este caso, es más cómodo hacer funcionar el alternador como motor síncrono sobreexcitado.



**Figura 10.** Curva Característica del ensayo con carga a tensión constante.

Trazado de la curva para  $\cos \varphi = 1$ . Estando el alternador en vacío se actúa sobre la excitación para llevar la tensión  $U$  a su valor nominal, anotándose el valor de  $I_{ex}$ . A continuación se cierra el interruptor  $K$ , (carga resistiva) y se hace funcionar el alternador sobre dicha carga resistiva  $\cos \varphi = 1$ ; se regula de nuevo la excitación para mantener la tensión en su valor nominal  $U$  (permaneciendo la velocidad constante) y se anotan los valores de  $I$  de  $I_{ex}$ . Se opera de esta forma, para valores crecientes de  $I$ , hasta que alcance su valor nominal. Durante todo el ensayo deberá permanecer constante la tensión (su valor

nominal). El factor de potencia (igual a la unidad) y la velocidad (nominal). Los resultados así obtenidos se recogerán en un cuadro como el siguiente:

Trazado para un  $\cos \varphi = 0,8$ . Inductivo. Después de haber regulado la excitación, para la tensión nominal en vacío, se cierra el interruptor k1 (carga resistiva) y se regula la carga para hacer circular una intensidad de cualquier valor. Después se cierra en interruptor k2 (carga inductiva) y se lleva el factor de potencia el valor de 0,8 actuando sobre la carga inductiva regulable. Se manipula, entonces, sobre la excitación para llevar la tensión a su valor nominal, U, anotándose los correspondientes de I y de I<sub>ex</sub>.

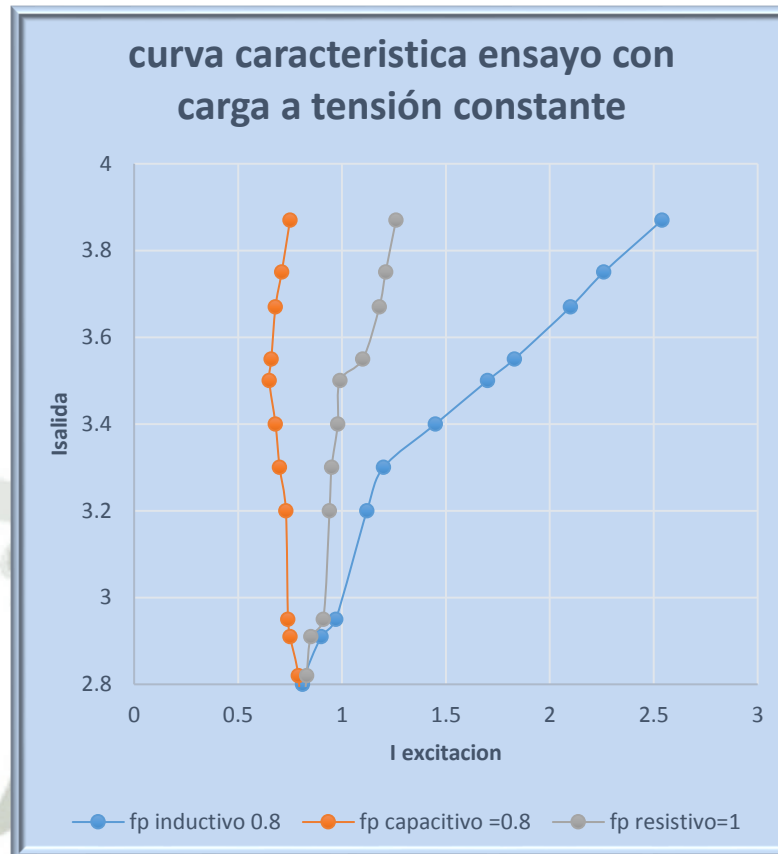
Como anteriormente, se trazan varios puntos para valores crecientes de la entrada manteniendo constantes la tensión, el factor de potencia (0,8 inductivo) y la velocidad.

Los valores así obtenidos se reflejan en un cuadro como el siguiente:

Trazado con un  $\cos \varphi = 0,8$  capacitivo. Se procede como para el factor de potencia inductivo, pero dejando abierto el interruptor K2 (carga inductiva) y cerrando el K1 (carga resistiva) y el K3 (carga capacitiva). Los resultados así obtenidos se reflejarán en un cuadro como el siguiente:

I <sub>ex</sub> .	C. resistiva	I <sub>ex</sub>	C. inductiva	I <sub>ex</sub>	C. capacitiva
0.8	2.7	0.8	2.71	0.81	2.71
0.81	2.8	0.79	2.82	0.83	2.82
0.9	2.91	0.75	2.91	0.85	2.91
0.97	2.95	0.74	2.95	0.91	2.95
1.12	3.2	0.73	3.2	0.94	3.2
1.2	3.3	0.7	3.3	0.95	3.3
1.45	3.4	0.68	3.4	0.98	3.4
1.7	3.5	0.65	3.5	0.99	3.5
1.83	3.55	0.66	3.55	1.1	3.55
2.1	3.67	0.68	3.67	1.18	3.67

2.26	3.75	0.71	3.75	1.21	3.75
2.54	3.87	0.75	3.87	1.26	3.87



## PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 4

### ENSAYO DE CARGA O DE CARACTERÍSTICAS EXTERNAS CON EXITACIÓN CONSTANTE DEL GENERADOR TRIFÁSICO

#### OBJETIVO

Obtención de las características externas o de carga (con corriente de excitación constante) de la máquina síncrona. Este ensayo permite determinar la caída de tensión en terminales del alternador a variaciones de la carga y/o variaciones de factor de potencia.

#### INTRODUCCIÓN

Características externas o de carga (con excitación constante). Mediante este ensayo se pretende determinar las curvas de la tensión en bornes del alternador.  $U$ , como ya se dijo anteriormente, en función de la corriente alterna suministrada por él, con una intensidad de excitación constante y para una velocidad, frecuencia, y factor de potencia también constante.

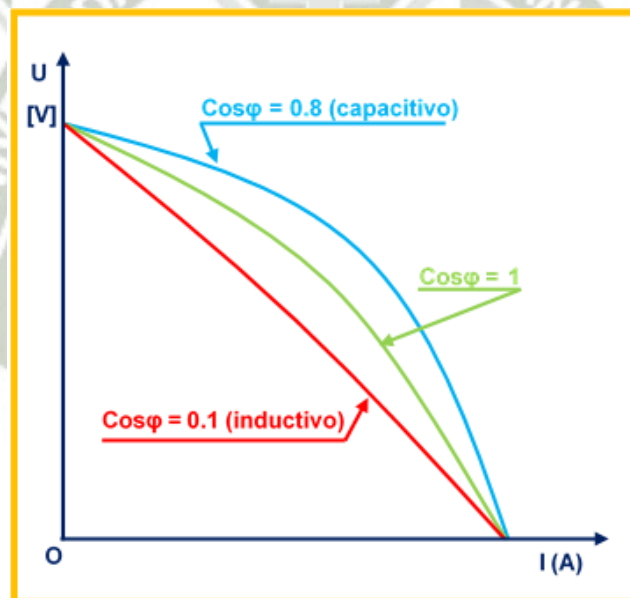
#### MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR

- Amperímetro.
- Voltímetro.
- Tacómetro de 0-2.000 r.p.m.
- Cosfímetro (optativo)
- Carga resistiva trifásica, regulable.
- Carga capacitiva trifásica, regulable.
- Carga inductiva trifásica, regulable.
- Alternador trifásico

- Fuente de corriente continua regulable para alimentar las excitaciones de motor y alternador
- En caso necesario, dos vatímetros de factor de potencia “acortado”.

## PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA

Las curvas así determinadas tienen las formas de las representadas en la fig. 55. Para su obtención se utiliza el mismo circuito que para el trazado de las características a tensión constante (fig.55). Como en el caso anterior, se puede obtener una familia de curvas, en función del factor de potencia.

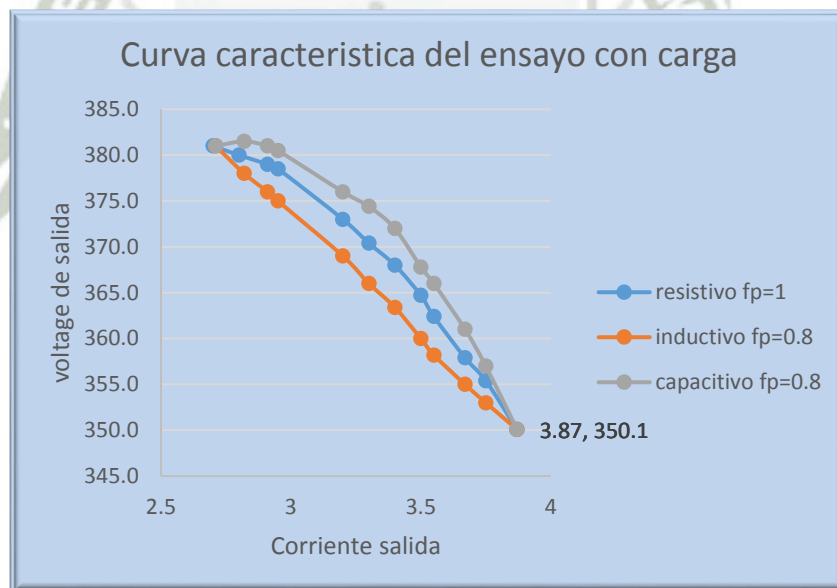


**Figura 11. Curvas características del ensayo con carga.**

Trazado para  $\cos \phi = 1$  estando el alternador en vacío se regula la intensidad de excitación  $I_{ex}$  hasta obtener la tensión nominal,  $U$ , Se cierra entonces el interruptor  $K1$  (carga resistiva) y se anotan los valores de la tensión y de la intensidad suministrada para los distintos valores de la carga, manteniendo constante la intensidad de excitación. la

velocidad y el factor de potencia. Los valores obtenidos se reflejan en un cuadro como el siguiente:

V salida	C. resistiva	V salida	C. inductiva	V salida	C. capacitiva
381.0	2.7	381.0	2.71	381.0	2.71
380.0	2.8	378	2.82	381.5	2.82
379.0	2.91	376	2.91	381	2.91
378.5	2.95	375	2.95	380.5	2.95
373.0	3.2	369	3.2	376	3.2
370.4	3.3	366	3.3	374.4	3.3
368.0	3.4	363.4	3.4	372	3.4
364.7	3.5	360	3.5	367.8	3.5
362.4	3.55	358.2	3.55	366	3.55
357.9	3.67	355	3.67	361	3.67
355.4	3.75	353	3.75	357	3.75
350.1	3.87	350.1	3.87	350.1	3.87



VELOCIDAD 1797 (r.p.m.) (r.p.m.)

Trazado para  $\cos \varphi = 0,8$  inductivo. Se procede como en el caso anterior, pero cerrando ahora los interruptores K1 (carga resistiva) y K2 (carga inductiva), y se regulan el factor de potencia para su valor de 0,8 manteniéndolo constante, para los distintos

valores de la corriente suministrada mediante la adecuada regulación de la carga resistiva y de la inductiva. Se ha de mantener constante, asimismo, el valor de la intensidad de excitación y de la velocidad. Los valores así obtenidos se reflejan en un cuadro.

Trazado para un  $\cos \varphi = 0,8$  capacitivo. Se procede como en el apartado anterior, pero dejando abierto el interruptor K2 (carga inductiva) y cerrando los interruptores K3 (carga capacitiva) y K1 (carga resistiva). Con objeto de que, regulando convenientemente ambas cargas, se pueda fijar el valor del factor de potencia 0,8 capacitivo. Los resultados se llevarán a un cuadro.

Adviértase que para un  $\cos \varphi = 0,8$ , el  $\sin \varphi = 0,6$ ; luego, si se conecta una carga resistiva de valor R, el valor de la carga reactiva (inductiva o capacitiva) será  $X = (\frac{3}{4}) \cdot R$ . Estas curvas capacitivas prueban que la tensión en carga puede ser más elevada que la tensión de vacío, cuando funciona el alternador en un circuito capacitivo.

Vigílese el caso de carga capacitiva para evitar una autoexcitación por reacción de inducido magnetizante. Para ello, no se deje nunca conectada la carga capacitiva sin estar en servicio la resistiva.

## PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 5

### ENSAYO DE CARGA A FACTOR DE POTENCIA NULO Y CONSTANTE DEL GENERADOR TRIFÁSICO

#### OBJETIVO

Obtención de la curva característica de intensidad de carga y factor de potencia nulo y constante (tensión de salida en terminales en función de la corriente de excitación). Este ensayo permite el análisis no lineal de la máquina síncrona por el método de Potier.

#### INTRODUCCIÓN

Las características para la intensidad de carga constante es la curva o familia de curvas de la tensión en los bornes del alternador  $U$ , en función de la corriente de excitación  $I_{ex}$ , para una intensidad suministrada por el alternador, una frecuencia y un factor de potencia constante. Estas características son, prácticamente, la “característica en vacío” desplazándose: por debajo de ella, para corrientes desfasadas en retraso sobre la tensión y por encima de ella, para corrientes en adelanto, como puede observarse en la fig. 56.

#### MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR

- Amperímetro.
- Voltímetro.
- Tacómetro de 0-2.000 r.p.m.
- Cosfímetro (optativo)
- Carga resistiva trifásica, regulable.
- Carga capacitiva trifásica, regulable.
- Carga inductiva trifásica, regulable.
- Alternador trifásico
- Fuentes de corriente continua regulable para alimentar al motor y alternador.
- En caso necesario, dos vatímetros de factor de potencia “acortado”.

## PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA

Prácticamente sólo tiene objeto la característica llamada “devatiada”; es decir, la obtenida para un factor de potencia lo más cercano posible a 0 y desde luego, inferior a 0,1. con el mismo montaje de la fig.52 (de la Práctica N°3) se deja abierto el interruptor K1 (carga resistiva), se cierra el K2 (carga inductiva), permaneciendo abierto, asimismo, el K3 (carga capacitiva) y se hace funcionar el alternador para un valor de la intensidad suministrada constante, aumentado progresivamente, el valor de la intensidad de excitación y por tanto, la tensión en bornes del alternador, mientras se regula la carga para mantener constante el factor de potencia y la intensidad suministrada.

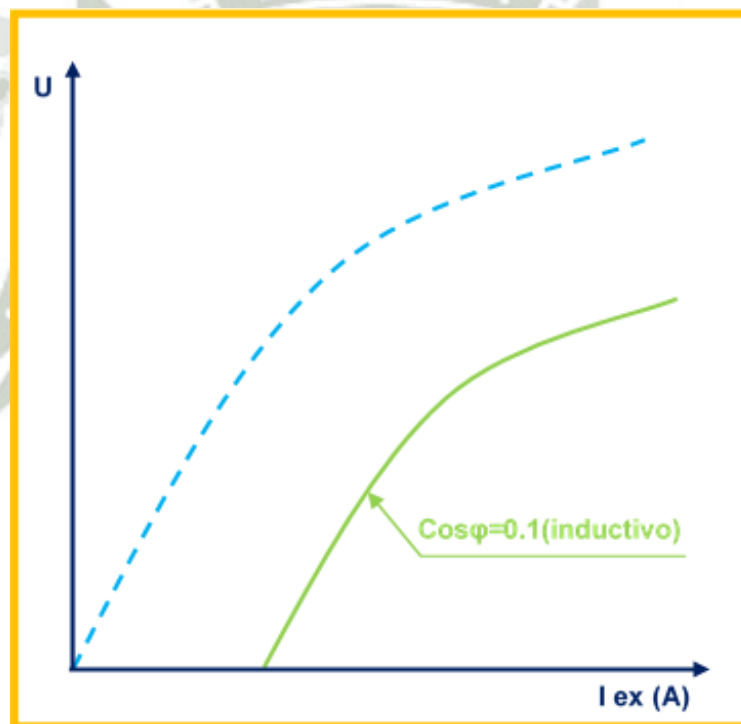


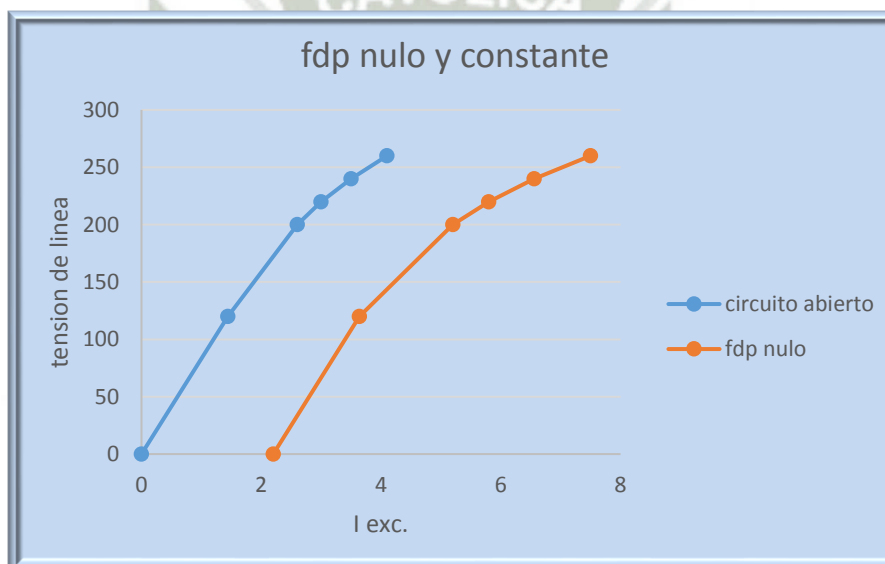
Figura 12. Familia de curvas características a tensión constante.

Dado que, normalmente, los cosfímetros no registran valores tan pequeños del factor de potencia, será preciso intercalar en el circuito dos vatímetros de factor de

potencia acortado (conectados según el método del doble vatímetro) para que, mediante su lectura, se pueda determinar el valor de  $\cos \varphi$ .

### CURVA DE CARGA CON FACTOR DE POTENCIA NULA

tensión de línea	I exc. En circuito abierto	I exc. Con fdp cero y corriente asignada
0	0	2.2
120	1.44	3.64
200	2.6	5.2
220	3	5.8
240	3.5	6.56
260	4.1	7.5



## PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 6

### SINCRONIZACION Y REPARTO DE CARGAS DE GENERADOR EN PARALELO

#### OBJETIVO

Conseguir la familiarización con la maniobra de sincronización de dos alternadores entre sí o a la red. Control de la entrega de potencia activa e reactiva, métodos prácticos de sincronización de alternadores. Determinación de la corriente de sincronización.

#### INTRODUCCIÓN

El funcionamiento en paralelo de alternadores no es el mismo en cuanto al reparto de la carga que para el caso del funcionamiento en paralelo de generadores de corriente continua.

Así, cuando dos generadores de corriente continua están acoplados en paralelo en una red de carga constante, si se aumenta la excitación de uno de ellos y se disminuye la del otro resulta un aumento de la potencia suministrada por la primer máquina, con lo que el par motor de la máquina que la mueve debe aumentar, pues de no ser así originaría una caída de velocidad, Pero cuando se trata de alternadores no ocurre lo mismo, porque en éstos al aumentar la excitación aumenta la fuerza electromotriz, pero generalmente no la potencia.

Se origina nada más que una caída de velocidad instantánea (desplazamiento del ángulo polar) porque el alternador es, necesariamente, arrastrado a la velocidad de sincronismo por los otros alternadores, a los que está acoplado lo que trae consigo una velocidad constante y por tanto, la no intervención del regulador para abrir la admisión

de la máquina motriz, supuesta una turbina o un motor térmico, con lo que la potencia absorbida por el alternador permanece constante.

Ahora bien, la variación de la excitación modificada, en cambio, otras características del funcionamiento.

Se puede establecer que:

**Primero:** Como todos los alternadores giran, necesariamente, a la velocidad de sincronismo, una variación en la intensidad de excitación no origina variación alguna en la velocidad de la máquina motriz. Además, la potencia activa suministrada no puede variar, al no variar la recibida de la máquina motriz.

**Segundo:** A la variación en la intensidad de excitación corresponde una variación de la potencia reactiva. Además cuando mayor sea la excitación tanto mayor será el grado de estabilidad del alternador.

### **Condiciones de Sincronización**

La sincronización de dos alternadores entre sí, o bien de un alternador y de una red trifásica de distribución, se podrá realizar como sigue:

Supóngase que se posee una línea de corriente alterna trifásica (alimentada por uno o varios alternadores), al que se desea acoplar el alternador objeto de esta práctica.

El montaje a efectuar será el que se indica en la figura 57.

La maniobra debe satisfacer dos condiciones; que no lleve consigo perturbaciones en el funcionamiento de la instalación y que se haga sin peligro de deterioro en los aparatos y máquinas. Por estas razones la maniobra debe cumplir las siguientes condiciones:

- a. El valor eficaz de la f.e.m., desarrollada por el alternador a acoplar, tiene que ser igual a la atención en barras de la línea.
- b. La frecuencia de la f.e.m., desarrollada por el nuevo alternador, tiene que ser igual a la frecuencia de la tensión en la línea.
- c. La secuencia o sucesión de fases del alternador debe ser las mismas que la de la red a la que se va acoplar.

Que exista correspondencia entre los terminales del alternador a acoplar y los de la red o alternador al que se acople. Esta condición es una consecuencia inmediata de las condiciones mencionadas.

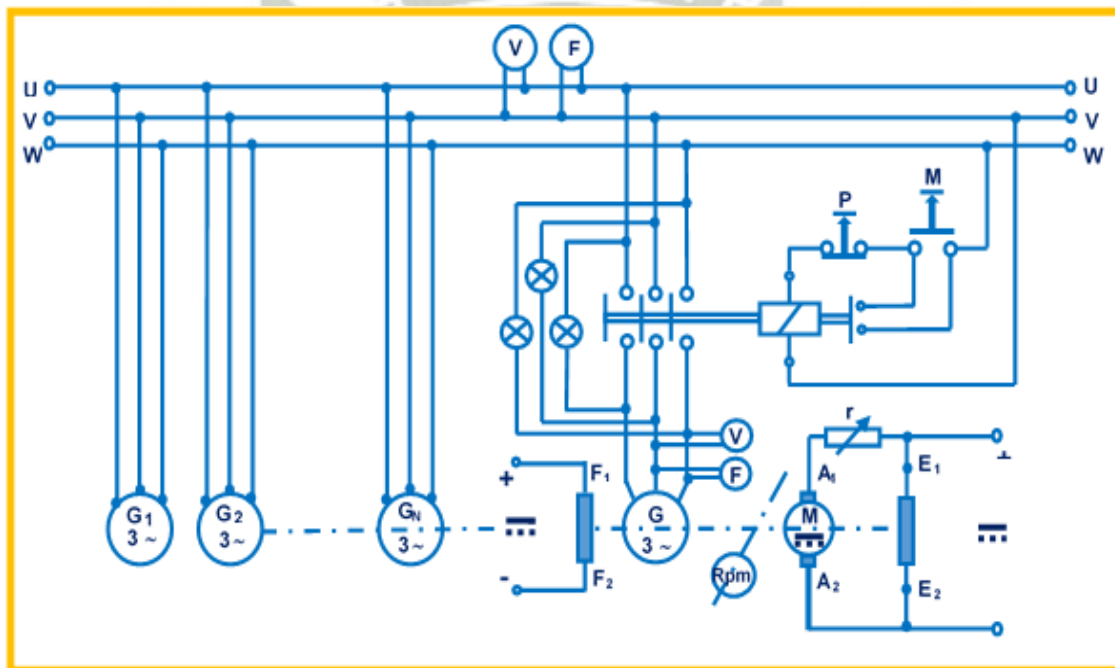
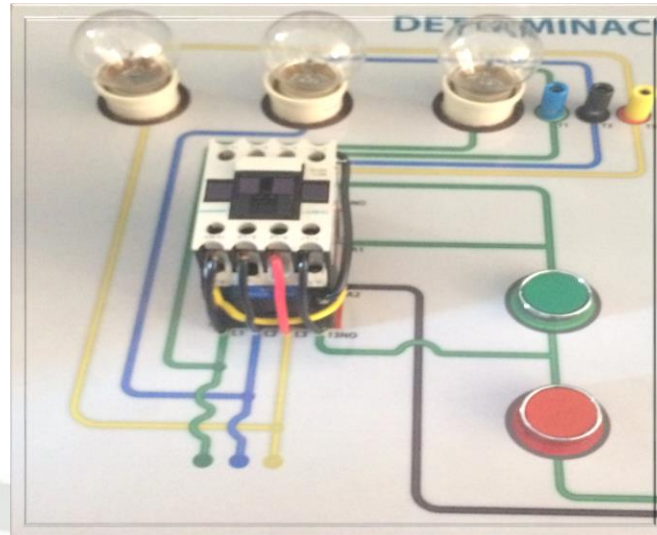


Figura 13. Montaje para el ensayo de sincronización.



### MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR

- Un motor síncrono de 5kw de potencia.
- Un reóstato de campo.
- Un alternador trifásico de 5 kw.
- Una fuente de corriente continua regulable de 0-250 V y 0-5 ó 0-25 A. según los casos.
- Dos voltímetros, para corriente alterna, de 0-250-400 V.
- Un voltímetro de 0-3000 V (voltímetro de cero)
- Tres lámparas de incandescencia de baja potencia o un sincronoscopio de extinción.
- Un contactor trifásico.

### PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA.

Una vez efectuado el montaje de la figura 1 se puede proceder como sigue:

**Primera condición:** Se pone en marcha el alternador que se va acoplar a la red, por medio de una máquina motriz (en el caso presente, una máquina corriente continua),

y se regula su velocidad nominal para llevarlo a la velocidad nominal del alternador. Seguidamente se excita el alternador, para conseguir que su tensión, medida en el voltímetro V1´ sea idéntica al de la línea, medida en el voltímetro V2.

**Segunda condición:** Se regula, más finamente aún la velocidad de la máquina motriz para que el frecuencímetro instalado en el alternador de la misma lectura que el instalado en la red. Como al variar la velocidad del rotor del alternador se varía no sólo la frecuencia de la f.e.m. inducida, sino también su valor eficaz, se debe proceder a realizar un nuevo ajuste en la intensidad de excitación, con objeto de que se siga verificando la primera condición.

**Tercera condición:** Consiste en acoplar el alternador en el momento en que, satisfecha ya las dos condiciones anteriores, la tensión en sus bornes, está en fase con la de la línea.

Realmente (antes de cerrar el interruptor de acoplamiento), si el ajuste de la frecuencia se hubiese hecho exactamente, se tendría que el desfase que pudiera existir, en el momento de conseguirlo, entre ambas tensiones perduraría siempre.

Pero, en la práctica ocurre (teniendo en cuenta la poca precisión de los frecuencímetros), que aquella exactitud nunca se consigue rigurosamente. Por otra parte, si por casualidad la coincidencia de las frecuencias se hubiese realizado exactamente, siempre podría romperse, variando ligeramente la velocidad de la máquina motriz.

Suponiendo que las frecuencias se han igualado, aunque sólo con la aproximación que permite la medida de los dos frecuencímetros.

Puede existir entre ambas una ligera diferencia, con lo que el desfase entre las dos tensiones no es constante, sino que varía cíclicamente con el tiempo (entre 0 y 360°), siendo esta variación tanto más rápida cuanto mayor sea la diferencia entre las dos frecuencias.

En la figura 58 se pone claramente de manifiesto lo que se acaba de decir.

En ella se ven las curvas representativas de las dos tensiones V1 y V2 en el alternador y en la línea, respectivamente.

En la parte inferior de la misma figura se ha representado la resultante de ambas, cuya amplitud varía desde 0, cuando aquellas tensiones están en oposición de fase, hasta un máximo igual al doble de la amplitud de ellas, cuando están en fase, de tal manera que, considerando la envolvente de los puntos representativos de las amplitudes de la oscilación resulta una senoide de período:

$$T = \frac{1}{f_1 + f_2}$$

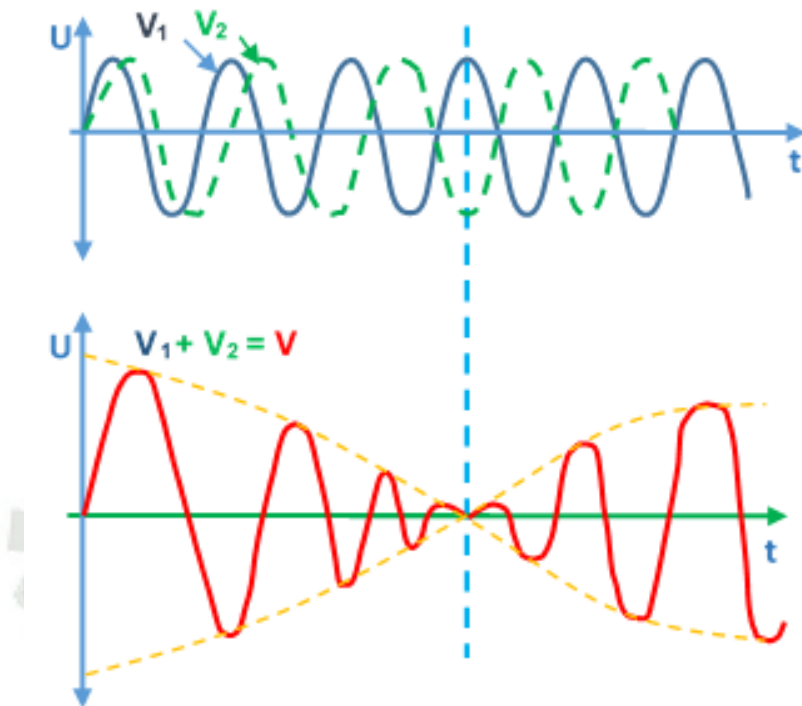
Siendo f1 y f2 las frecuencias de las tensiones V1 y V2 respectivamente.

De donde se deduce que la variación de las fases entre dos tensiones será tanto más lenta cuando más próximas sean entre sí las frecuencias.

Pues bien, entendido esto, cuando en esta variación cíclica de las fases están las frecuencias en concordancia será el momento en que se debe cerrar el interruptor de maniobra para acoplar el alternador a la línea.

Para determinar dicho momento se emplean unos aparatos llamados sincroscoPIO, de los cuales, el más sencillo es el sincroscoPIO de lámpara, constituido por tres lámparas de incandescencia (realmente sólo serían necesarias dos lámparas), de

tensión doble a la de la red, ya que el máximo de tensión que va a recibir coincidirá con el doble de la amplitud de las señaladas, al poner éstas en oposición.



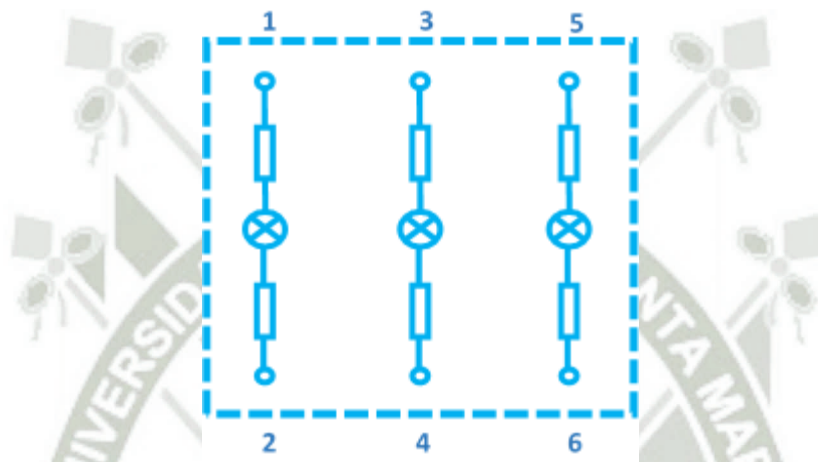
**Figura 14. Desfase entre dos tensiones.**

Estas lámparas están conectadas, como se indica en la figura 59, entre los contactos del interruptor de maniobra.

Si las lámparas permanecen encendidas con el mismo brillo indica que existe una gran desigualdad entre las dos frecuencias. Por tanto, se retocará la velocidad de la máquina motriz del alternador a acoplar, con lo cual las tres lámparas oscilarán con una velocidad tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia entre las frecuencias.

Se procurará (maniobrando sobre la velocidad de la máquina motriz) que estas oscilaciones sean lo más lentas posibles, con lo que se podrá apreciar, fácilmente, el momento en el que se apagan, en cuyo instante se cerrará el interruptor de maniobra, enganchándose así el alternador a la línea, a cuya frecuencia se subordinará ya su velocidad.

El sincronoscopio de lámpara que se ha considerado, y que se llama también sincronoscopio de excitación presenta el inconveniente de que el filamento de las lámparas deja brillar aun cuando exista todavía tensión en las lámparas el momento de la extinción de la luz no se corresponde exactamente con el de tensión nula, efectuándose, por tanto, la maniobra de acoplamiento cuando las dos tensiones, tal vez, no están debidamente en fase.



**Figura 15. Conexión de las lámparas para sincronización.**

Para evitar tal inconveniente se suele colocar en paralelo, con una de las lámparas, un voltímetro (llamado voltímetro de cero), cuya lectura (al pasar por cero) indicará realmente cuál debe de ser el instante en el que debe realizarse el acoplamiento.

**Cuarta condición:** En esta condición viene implícita en las tres anteriores, ya que si el orden de sucesión de las fases no fuera correcto siempre quedaría una lámpara encendida en el sincronoscopio. No se deberá realizar la maniobra de acoplamiento hasta tanto no se apaguen las tres lámparas simultáneas.

Este error en la secuencia de fases se puede corregir, rápidamente, sin más que intercambiar, entre sí, dos de las conexiones del alternador.

## PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 7

### ENSAYO DE UN MOTOR SINCRONO Y DETERMINACIÓN DE LAS “CURVAS EN V”

#### OBJETIVO

Determinar los métodos de arranque del motor síncrono, obtención de las curvas características en V, corrección del factor de potencia de la red. Funcionamiento del Compensador síncrono.

#### INTRODUCCIÓN

Estos motores están excitados con corriente continua y su empleo está limitado por la imposibilidad de variar su velocidad (que, por otra parte, en algunos casos, es una ventaja) y por sus dificultades de arranque. Estos motores, generalmente, no arrancan por si solos, a no ser que estén provistos de un rotor, en jaula de ardilla, con lo que arrancaría como asíncronos, y cuando están próximos a su velocidad de sincronismo se les excita convenientemente para que alcancen dicha velocidad de sincronismo.

Por otra parte, son de mayor coste, comparados con los motores asíncronos de jaula de ardilla. Otro inconveniente es la posibilidad de “péndulo”, producido por alguna acción en la carga externa, ocasionando, a veces, el desacoplamiento del motor de la red.

Pese a todos estos inconvenientes, presentan una ventaja fundamental: su posibilidad de absorber corriente de red con un desfase inductivo o capacitivo, según sea el valor de su intensidad de excitación. Este desfase se determinará en la presente práctica, para las distintas cargas del motor, mediante la obtención de las llamadas “curvas en V”. Su funcionamiento normal como condensadores síncronos se obtiene haciéndoles funcionar en vacío y sobreexcitados. Inversamente pueden absorber corriente reactiva inductiva al estar subexcitados.

### Condiciones de Arranque.

Para arrancar un motor síncrono hay que llevar el rotor a la velocidad de sincronismo, para después acoplarse a la red. Para efectuar este acoplamiento se procede como si, en realidad, lo que se tratara de realizar fuese el acoplamiento de un alternador a la red. Por tanto, se hace trabajar al motor síncrono como alternador y se procede a su acoplamiento con la red para lo que se precisó satisfacer las condiciones siguientes:

- Que las dos tensiones sean iguales.
- Que las dos frecuencias sean iguales.
- Que estén en concordancia de fases.
- Que exista sincronismo entre las fases.

Una vez satisfecha las condiciones anteriores se procede a su acoplamiento cerrando el interruptor de maniobra.

Si en estas condiciones (funcionando la máquina como alternador) se procede a desacoplar su máquina motriz, automáticamente dejará la máquina de funcionar como alternador para pasar a funcionar como motor síncrono.

Para proceder al arranque del motor síncrono se efectuará el montaje de la fig. 60 y conforme a lo anteriormente expuesto se ejecutarán las siguientes maniobras:

**Primero:** Mediante el motor de corriente continua se hace girar el alternador hasta que su rotor alcance una velocidad próxima a la de sincronismo (véase práctica No.6).

**Segundo:** Se excitará el alternador para que genere una f.e.m. idéntica a la de la línea.

**Tercero:** Regulando la velocidad del motor se ajustará la velocidad del alternador para obtener una excitación prolongada en el sincronoscopio de lámpara, momento en el que, se cerrará el contactor de acoplamiento.

**Cuarto:** Una vez acoplado se abre el conmutador de alimentación del motor, con lo que el alternador pasa a funcionar como motor síncrono en vacío (realmente está moviendo a las máquinas, que ahora funcionará como dínamo en vacío). Para poner en carga al motor síncrono se cerrará el conmutador H de la dínamo sobre un reóstato de carga y variando el valor de la resistencia de éste conseguirá aumentar, progresivamente, la carga del motor síncrono. El reóstato deberá tener, en un principio, la máxima resistencias, y para más seguridad conviene que la intensidad de la corriente de excitación de la máquina tenga un valor mínimo. Recuérdese que cuando vaya a trabajar como motor deberá, por el contrario tener una suficiente excitación.

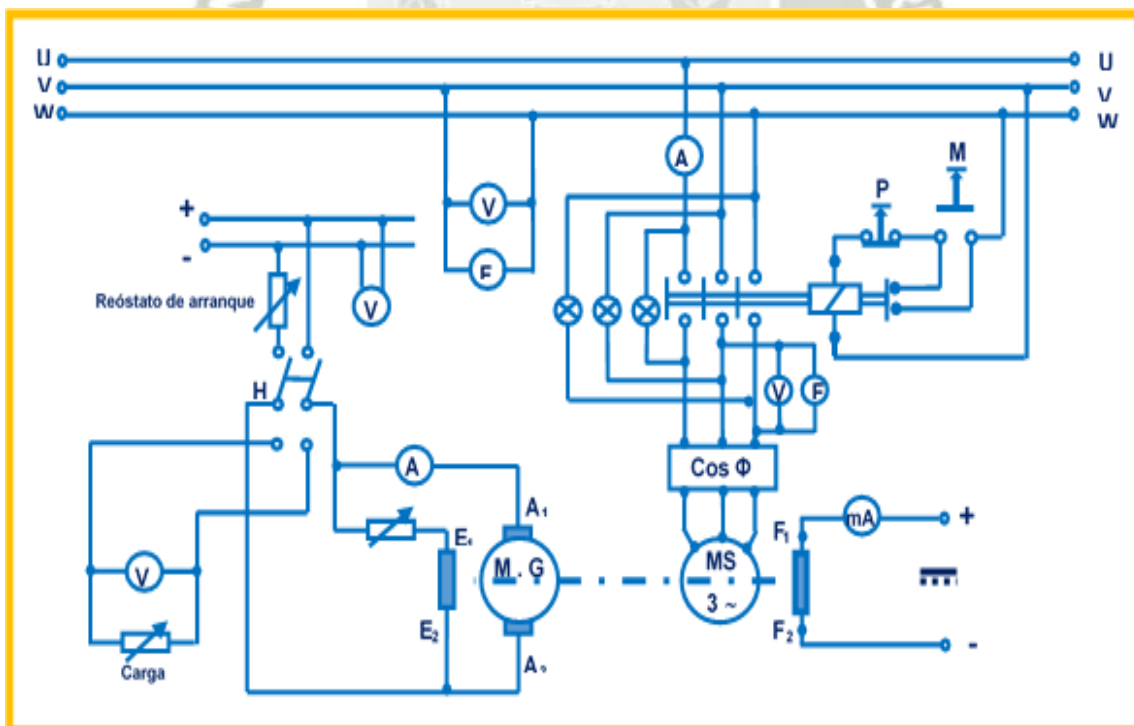


Figura 16. Montaje para el ensayo de curvas características.

**Quinto:** Para parar el motor se suprimirá, primeramente, la carga, para que funcione en vacío, abriendo, después, el interruptor de red.

### **Determinación de las Curvas en V.**

Las curvas en V de un motor síncrono alimentado a tensión constante y frecuencia también constante, refleja la variación de la intensidad de corriente absorbida en función de la intensidad de excitación, para una potencia suministrada por el motor constante.

Es posible obtener toda la familia de curvas sin más que realizar distintos ensayos, para las distintas potencias suministradas.

Es fácil trabajar un motor síncrono, a potencia suministrada constante, mediante la utilización como carga en su eje una dínamo. En efecto, como el motor síncrono gira a una velocidad constante, también la velocidad de la dínamo será constante. Si se consigue que la potencia suministrada por la dínamo sea constante, la potencia suministrada por el motor síncrono también lo será.

En el montaje de la fig. 60 se puede reemplazar el cosfímetro (caso de no poseerlo) por dos vatímetros, conectándose según el procedimiento del doble vatímetro, para, de esta forma, ver la variación del factor de potencia de la máquina en función de la corriente absorbida.

### **MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS A UTILIZAR**

- Un motor síncrono (alternador), de 5 kw.
- Tres lámparas de fase.
- Dos voltímetros de  $-0-250-400V$ .
- Un cosfímetro (en su defecto dos vatímetros monofásicos) de  $0-520-400V$  y  $0-2-5 A$ .
- Un amperímetro de  $-05 A$ .

- Un miliamperímetro de 0-500 –1.000mA.
- Una resistencia de carga regulable.
- Un contactor.
- Interruptor de dos posiciones.

## PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA

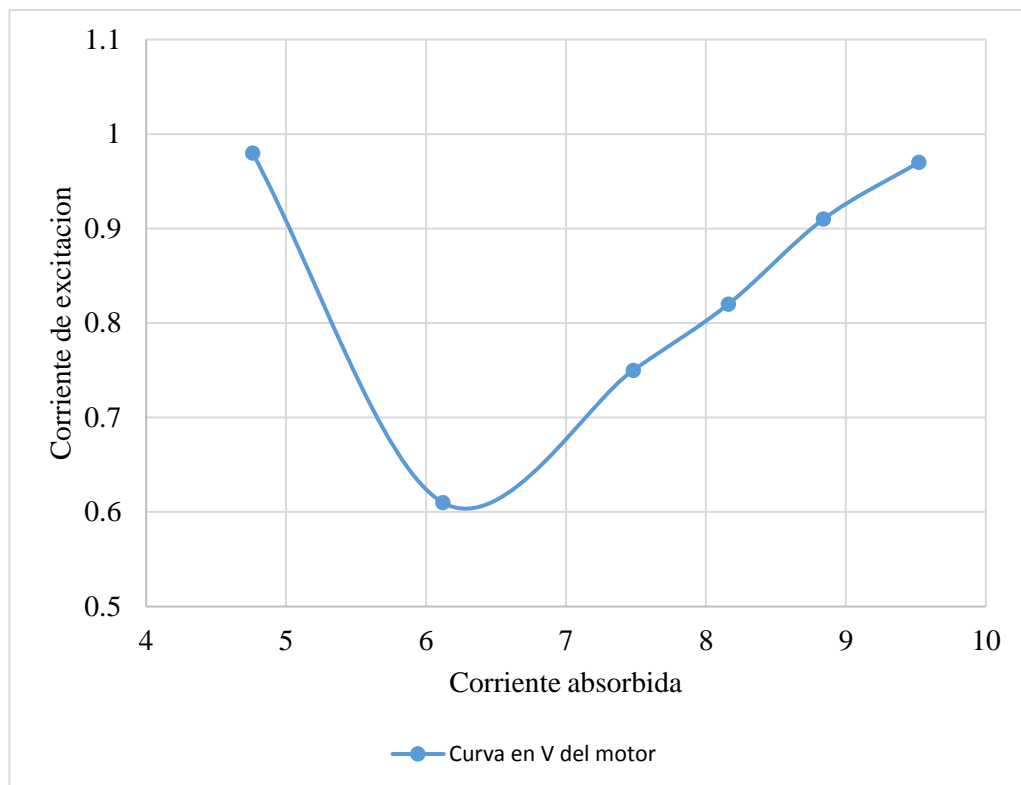
Motor trabajando en vacío. Con el montaje de la fig. 60, y teniendo el motor de carga funcionado en vacío, se procederá a variar la corriente de excitación con lo que se obtendrá una variación de la corriente absorbida de la red. La variación de la excitación se realizará, primeramente, disminuyéndola para que el motor trabaje subexcitado; después se procederá, paulatinamente, a elevarla hasta conseguir que el motor síncrono trabaje sobreexcitado.

Cuando la corriente de excitación es débil, la corriente absorbida de la línea está desfasada en retraso con respecto a la tensión, mientras que la línea está retrasada con respecto a la tensión del alternador, si la corriente de excitación es intensa. En este caso, el motor síncrono esta funcionado como condensador síncrono, compensado por tanto, el factor de potencia de la línea.

En el primer caso (subexcitación), el motor se comporta como una reactancia, absorbiendo energía reactiva, mientras que, en el segundo, cede energía reactiva.

Los valores así obtenidos se registrarán en un cuadro como el siguiente:

I ab	I ex.
9.52	0.97
8.84	0.91
8.16	0.82
7.48	0.75
6.12	0.61
4.76	0.98



Motor trabajando a 1/4 de su potencial nominal. Se procede a continuación, a cerrar el interruptor del motor sobre la resistencia de carga, y se varía ésta de forma que la potencia suministrada por la máquina síncrona sea 1/4 de su potencia nominal y se procede, seguidamente, como en el caso anterior.

Los resultados así obtenidos se reflejan en un cuadro como el caso anterior.

Motor trabajando a 1/2 de su potencia nominal. Se procede como en el caso de 1/4 de carga, pero regulando antes la carga de la dínamo hasta conseguir que el motor

síncrono suministre la mitad de su potencia nominal. Los resultados obtenidos se reflejan en un cuadro como el caso de vacío.

Motor trabajando a su potencia nominal. Se regula la carga de la dínamo para conseguir que el motor suministre una potencia igual a la nominal, y se procede como en los ensayos anteriores, reflejando los resultados así obtenidos en un cuadro como el del caso de vacío.

Con los resultados obtenidos anteriormente para las distintas potencias se construye las respectivas gráficas, cuya forma será aproximadamente la que se indica en la fig. 61. En dicha figura podemos observar que:

Las curvas son tanto más puntiagudas cuando más pequeña es la potencia mecánica suministrada por el motor.

Los puntos de mínima intensidad de corriente absorbida se aproximan al eje de ordenadas cuando el motor cede una potencia pequeña. Esto es lógico, ya que la reacción del inducido es más pequeña. Y por lo tanto, hace faltar menor intensidad de excitación para compensarla.

El margen de variación de la excitación del motor, sin que se desacople, es tanto mayor cuanto menor es su carga. Por, esto, para mejorar el factor de potencia de las grandes instalaciones eléctricas se tiende a hacer funcionar estos motores síncronos en vacío.

La curva de trazos que une distintas potencias, es decir, los puntos correspondientes a la intensidad mínima para una carga determinada, se llama de factor “de potencia unidad”, lo que permite deducir las corrientes de excitación necesarias en diferentes cargas para mantener el factor de potencia igual a la unidad.

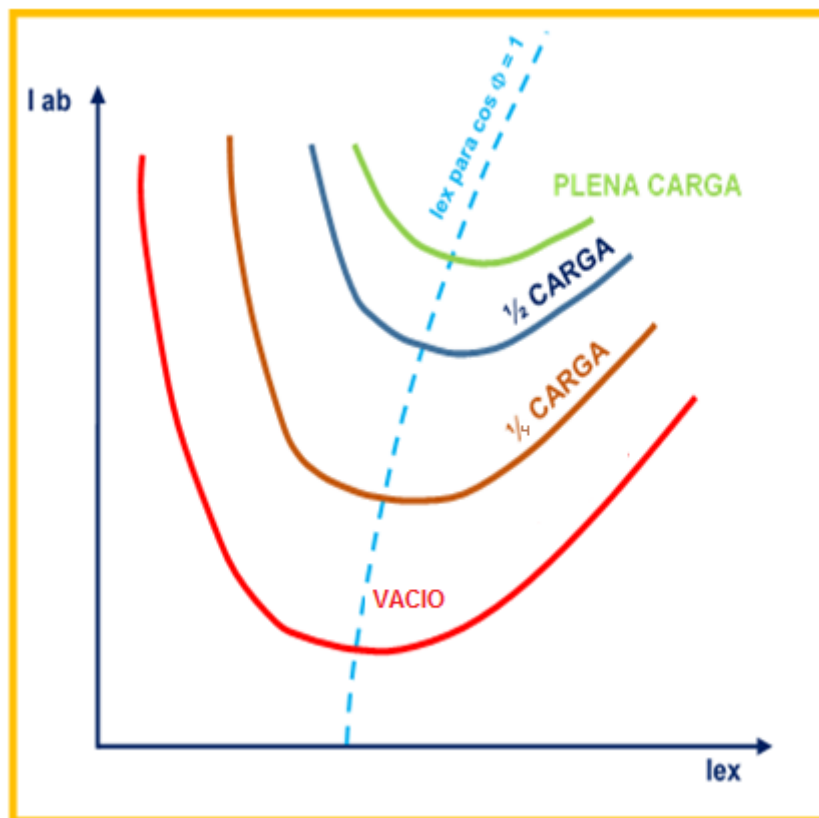
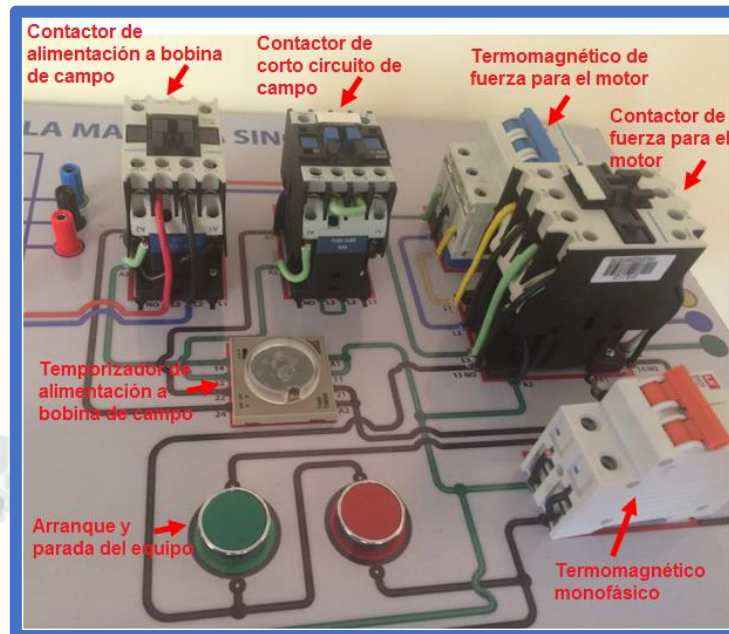


Figura 17. Curvas en “V”

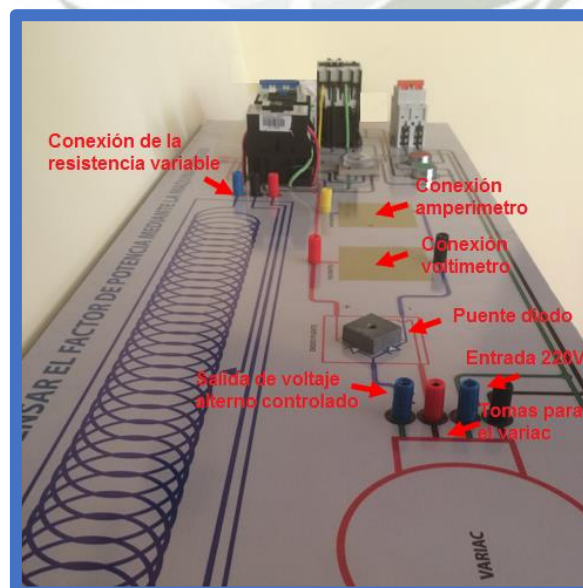


## CONTROL DE ARRANQUE DEL MOTOR SÍNCRONO

Antes de proceder con el arranque se tendrá que conectar a la fuente de alimentación los terminales trifásicos del termomagnético trifásico, como también los terminales de la termomagnético monofásico, de esta manera estará listo el suministro de corriente.



En cuanto a los instrumentos de medición ya se cuenta con los puntos integrados de conexión, también se cuenta con los puntos de conexión para el variac, la resistencia variable, y desde ya de cuenta integrado en el módulo el diodo rectificador de corriente, deberá prestar atención a la simbología de los puntos a conectar el variac, con el fin de evitar inconvenientes de daño al equipo por sobre corriente o crear cortocircuitos.



En la siguiente figura se muestra los componentes para realizar la práctica de conexión de despacho de carga a la red, se muestra los pulsadores para el control del momento exacto a realizar la conexión, el contacto principal de conexión, las lámparas que servirán de sincronoscopio para determinar el momento exacto a realizar la conexión.

